1er Trimestre de 1993

COMUNICACIONES ELÉCTRICAS

Tema básico: Comunicaciones en el transporte

ALCATEL

Comunicaciones Eléctricas, revista técnica trimestral de Alcatel NV, presenta las investigaciones conseguidas por las compañías Alcatel en todo el mundo. *Comunicaciones Eléctricas* se edita actualmente en cinco idiomas y su distribución es universal.

COMUNICACIONES ELÉCTRICAS

1er trimestre de 1993

Comité editorial

Peter Radley
Presidente

Dominique Brouard
Alcatel Cable

Bernard Culot
Alcatel Radio, Space & Defense

Rossella Daverio
Relaciones Corporativas y Publicidad

Denis Derville
Alcatel Business Systems

Renzo Ravaglia
Network Engineering & Installation

Werner Schmidt
Patentes

Renaat Van Malderen
Alcatel Network Systems

Editores

Rod Hazell
Editor-Jefe internacional y
Editor, Electrical Communication, París

Catherine Camus
Adjunto al Editor-Jefe internacional y
Editor, Revue des Télécommunications, París

Andreas Ortelt
Editor, Elektrisches Nachrichtenwesen, Stuttgart

Gustavo Arroyo
Editor, Comunicaciones Eléctricas, Madrid

Dino Callegari
Editor, Prospettive di Telecomunicazioni, Milán

Las direcciones de los editores se dan en la última página de este número.

Directora de la Publicación : Rossella Daverio
Revista técnica trimestral, editada por Alcatel Alsthom Publications S.A., con un capital de 250 000 Francos franceses
Domicilio social : 12, rue de la Baume, 75008 París, Francia
Depósito Legal : RCS París B 349 910 521
Accionista principal : Samag : 99,76%
Registro Legal : 1er trimestre de 1993
ISSN : en curso
Imprime : IMB Imprimeur,
19-21, place Pierre-Renet, 70000 Vesoul, Francia
Tirada : 5 500 ejemplares
© Alcatel Alsthom Publications

Contenido

2 **Editorial - Una ojeada hacia atrás, un vistazo hacia delante**
P. Radley

5 **Visión general de las comunicaciones en el transporte**
J.-N. Sanders

7 **Sistemas de gestión ferroviaria**
R. Petersen, G. Faderbauer

17 **Ingeniería de centros de control ferroviarios (CTCS)**
M. Gaum

27 **Sistema integrado de comunicaciones ferroviarias SIREL**
A. Guilabert, M. Olalla, S. Perrela

33 **Gestión de flotillas para tráfico por carretera y ferrocarril**
R. Berger, A. Ziehensack

41 **Cuarenta años de sistemas de aterrizaje por instrumentos**
Chr. Pfuhl, G. Greving, G. Mandelka

51 **Sistema de control y guía del movimiento en tierra**
F.-G. Monzel, A. Bories

60 **Euteltracs: Servicio de satélite europeo para vehiculos terrestres**
J.-N. Colcy, R. Steinhäuser, K. Mock

66 **Herramientas de simulación de una MAN Alcatel: Resultados del funcionamiento de una red real**
L. Vivoli, S. Pimazzoni

76 **Componentes basados en Arseniuro de Galio para la industria de telecomunicaciones**
G. Donzelli, F. Vidimari

84 **GLOBALSTAR: Un sistema transparente**
D. Rouffet

91 **Comunicaciones rurales: Análisis comparativo de las tecnologías de radio**
A. Díaz-Hernández

97 **Notas de investigación**

99 **Últimas patentes**

107 **Abreviaturas en este número**

En este número

En esta publicación no se hace ninguna mención a derechos relativos a marcas o nombres comerciales que puedan afectar a algunos de los términos ó símbolos utilizados. La ausencia de dicha mención no implica, sin embargo, la falta de protección sobre esos términos ó símbolos.

ALCATEL

Una ojeada hacia atrás, un vistazo hacia delante

Peter Radley

Trabajamos en una industria que cambia muy rápidamente. Echando una ojeada hacia atrás se puede ver que el cambio ha sido siempre un factor clave desde los comienzos de la industria, incluso cuando la idea de que el teléfono podía reemplazar al telégrafo era ridiculizada por algunos. Recientemente encontré un informe de un discurso pronunciado por Alexander Graham Bell en 1878, a los accionistas de la naciente ATT, en el que destacaba el cambio potencial y la oportunidad. Decía:

Es concebible que los cables telefónicos puedan ser enterrados o tendidos en el aire, comunicando, mediante líneas ramificadas, domicilios privados, construcciones rurales, tiendas, fábricas, etc. y unidos a través del cable principal a una central, donde los hilos puedan ser conectados a voluntad, estableciéndose comunicación directa entre dos lugares cualesquiera de la ciudad. Un plan de este tipo, aunque impracticable en el momento actual, será, lo creo firmemente, el resultado de la introducción del teléfono al público. No sólo esto, sino que creo que, en el futuro los hilos unirán las centrales principales de diferentes ciudades, y un hombre en un punto del país podrá comunicarse por medio de la palabra con otro situado en un punto distante.

Soy consciente de que estas ideas puedan parecerles utópicas y fuera de lugar, ya que estamos reunidos para discutir, no el futuro de la telefonía, sino su presente.

He encontrado también una ponencia escrita en 1968 por Alec Reeves, el inglés que inventó la MIC cuando trabajaba en París a finales de 1930, invención que revolucionó las telecomunicaciones. Este es el resumen:

Esta conferencia describe los posibles desarrollos de las telecomunicaciones. Las principales vías de información terrestre y submarina constarán de fibras ópticas de banda ancha con ley cuadrática y repetidores de tipo láser. La distribución en áreas locales se basará en fibras de vidrio de banda más estrecha con una velocidad de información por fibra del orden de 300 megabits/seg en oposición a los 10 a 20 gigabits/seg por fibra de las vías principales. La conmutación utilizará conmutadores espaciales y temporales, empleando técnicas ópticas avanzadas. El conjunto de la red utilizará técnicas digitales y láseres en todas partes. En los puntos estratégicos se situarán almacenes de cristal holográfico que utilizarán láseres para lectura y escritura. El equipo normal de abonado incluirá receptores y cámaras de video, almacenes de cristal, dispositivos de reproducción y terminales para comunicación con ordenadores, bancos, centros comerciales, etc. Los servicios de telefonía móvil serán de uso universal y emplearán técnicas revolucionarias. La radio de espacio libre será restringida casi enteramente a los servicios móviles. Los teléfonos de bolsillo y los números telefónicos personales globales serán cosa común. Los centros de obtención de información reemplazarán a las bibliotecas centrales. Los aviones y barcos emplearán ampliamente satélites terrenos para comunicación y navegación, mientras que se desarrollarán fuertemente servicios similares para vehículos espaciales en el sistema solar.

Ambos ejemplos ilustran las percepciones de estos dos grandes hombres de nuestra industria, en los que anticipan y estimulan las innovaciones tecnológicas posteriores.

Figura 1 - Coste de VLSI por puerta

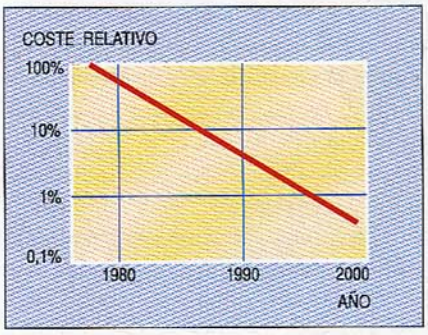
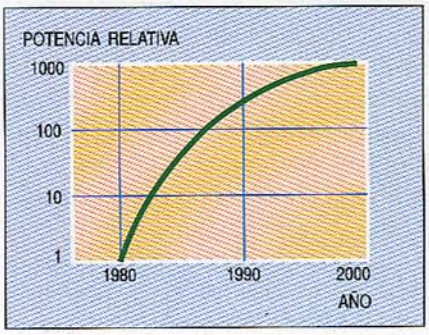


Figura 2 - Potencia de proceso por pastilla



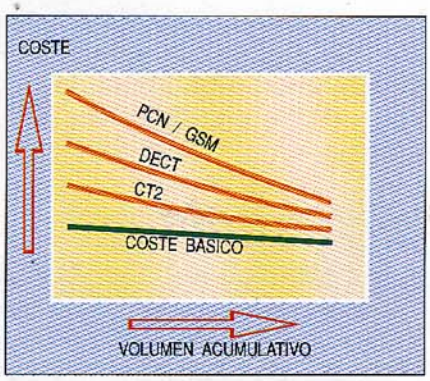


Figura 3 - Tendencia de coste de los aparatos portátiles

Hoy día, cuando echamos un vistazo hacia adelante, es más fácil para nosotros reconocer las tendencias tecnológicas claves que son el fundamento de las telecomunicaciones, y predecir su evolución basándose en lo que ha ocurrido en el pasado. Quiero considerar brevemente dos tecnologías claves en el contexto de su evolución durante los 80 y sus tendencias probables en los 90.

La primera de dichas tecnologías que me gustaría identificar es la de VLSI, gracias a la cual el coste de la potencia de proceso está disminuyendo continuamente al tiempo que la potencia de proceso por pastilla continúa aumentando. Las Figuras 1 y 2 muestran las tendencias durante los 80 y su probable continuación durante los 90. Normalmente, el tamaño de los dispositivos se reduce en un factor de dos cada tres o cuatro años, incrementándose por consiguiente el número de dispositivos por unidad de área en un factor de cuatro; al mismo tiempo la velocidad crece debido al pequeño tamaño del dispositivo en un factor comprendido entre dos y tres. Todos estos factores conducen a un aumento de la potencia de proceso, por unidad de área de silicio de cerca de diez veces cada tres o cuatro años, ¡un factor de un millón cada veinte años!. Sin embargo, durante los 90 esta velocidad puede disminuir ya que es más difícil conseguir reducciones en el tamaño de los dispositivos; por otra parte, ¡los ingenieros parecen capaces de superar cualquier obstáculo aparente!.

Hay dos ejemplos de las implicaciones de estas tendencias que deseo destacar. El primero es que la tecnología subyaciente que ha permitido el crecimiento del software como la tecnología más importante para la realización de nuestros productos y sistemas. Sin embargo, siendo estas dos tecnologías tan interdependientes parece extraño que las disciplinas, fuera de duda, del diseño estructurado en VLSI no hayan fluido a través del soporte lógico al mismo nivel. En la Figura 3 se muestra un segundo ejemplo que describe las tendencias probables en costes de aparatos manuales de radio móvil. La línea inferior denominada coste básico, representa los costes para un teléfono básico de hilos; las curvas superiores muestran el coste comparativo para teléfonos inalámbricos (por ejemplo, CT2 y DECT) y aparatos digitales portátiles(por ejemplo, PCN, GSM). La similitud entre todos estos aparatos es que todos tienen teclados, transductores, plástico, circuitos electrónicos y, frecuentemente, pantallas. La diferencia principal es que los aparatos manuales para sistemas más complejos contienen mucha más circuitería, lo que produce hoy un coste superior. Sin embargo, como muestran las curvas de tendencia para VLSI, el coste de esta funcionalidad electrónica adicional decrecerá sustancialmente, aproximándose a dos veces en el año 2000, lo que significa que el coste de los aparatos portátiles se acercará cada vez más al de un teléfono ordinario. La consecuencia de esto será no sólo función del tiempo sino también del volumen acumulativo, necesitándose inversiones en nuevos productos para obtener los beneficios de la nueva tecnología.

La segunda tendencia tecnológica que ha establecido la velocidad de cambio en las telecomunicaciones es la óptica. El coste de los componentes básicos, fibra y dispositivos, ha descendido sustancialmente en los 80, como se muestra en la Figura 4. Durante los 90, el coste de los dispositivos optoelectrónicos continuará cayendo significativamente, mientras que el de la fibra sufrirá una disminución menor, reflejando la madurez y relativa estabilidad de su fabricación. Sin embargo, la tendencia más importante es la anchura de banda que puede transportarse mediante sistemas ópticos (Figura 5). Durante los 80 estos incrementos se debieron a velocidades cada vez mayores; durante los 90, el incremento será debido a la velocidad, al uso de longitudes de onda múltiples y a técnicas nuevas como el solitón. Por consiguiente se puede extrapolar un incremento de capacidad de cinco veces en los próximos veinte años. Si a esto se une la reducción de coste de la fibra, se alcanza otro factor de un millón, durante veinte años, para el coste por unidad de anchura de banda y unidad de distancia en la fabricación de cable subterráneo.

Figura 4 - Coste de los dispositivos ópticos

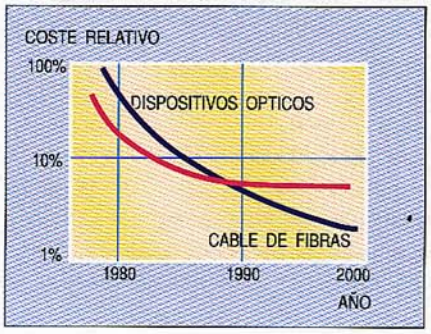


Figura 5 - Máxima anchura de banda de la fibra

Me ha tomado tiempo el describir estas tendencias tecnológicas debido a su importancia significativa. Ellas son, desde mi punto de vista, las causas de muchos de los cambios que hoy día vemos en nuestra industria.

La tarea de las telecomunicaciones es básicamente tomar información (p. ej., datos, voz, video), transportarla, y encaminarla al lugar adecuado. Las tendencias tecnológicas descritas realizan dicho transporte de forma cada vez más barata, bien por fibra, radio o hilo de cobre, y permiten también un abaratamiento del encaminamiento y de la gestión inteligente, así como su distribución por toda la red.

Esto conduce a la disponibilidad de más opciones de resolución de problemas en la construcción de redes de telecomunicación. Los nuevos operadores que se establecen de forma automática en mercados ya existentes no adoptan necesariamente arquitecturas de red tradicionalmente usadas por los operadores de telecomunicaciones públicas más antiguos, sino que utilizan nuevas posibilidades tecnológicas para desarrollar redes basadas en la transmisión, con inteligencia distribuida y conmutación más centralizada. Otro ejemplo es el precoz desarrollo de la fibra en el bucle en redes de Alemania Oriental debido a la inexistencia de un alto nivel de inversión en las antiguas fábricas de cable de cobre. Ejemplo adicional es lo atractivo de la tecnología celular de radio para desarrollar redes en Sudamérica y Europa Oriental, que da la oportunidad de conexión rápida de nuevos abonados. Además de esto, las opciones para el equipo terminal se amplían cada vez más, no sólo a través de la radio, sino también por convergencia con la industria de tecnología de información por un lado y la de productos de consumo por otro.

La tendencia creciente para las redes es su "federación" futura con diferentes redes definidas bien geográficamente o, más particularmente, por función y la necesidad de asegurar que este enfoque federal servirá satisfactoriamente, sin embargo, al consumidor final. Además el mundo político se ha beneficiado de la diversidad de opciones tecnológicas para crear nuevos modelos de operadores de telecomunicación. En muchos países la concesión de licencias para sistemas celulares a diferentes nuevos operadores puede relacionarse directamente con la oportunidad proporcionada por el rápido desarrollo de la tecnología de radio. El bajo coste y la transparencia de servicios de los sistemas de fibra ha dado origen a nuevas operaciones de largo alcance. Además, la creación de una nueva plataforma por un operador tradicional de red, por ejemplo Minitel de France Telecom, puede dar lugar a un nuevo segmento global de negocios satisfactorios que proporcionen información y servicios.

Un punto final a reconocer es la creciente convergencia (¿ó colisión ?) entre los mundos de la telecomunicación y la tecnología de la información. Aquí el asunto solía ser la interconexión en los límites de dos dominios razonablemente bien definidos. Actualmente necesitamos reconocer que es la telecomunicación la que convierte redes de área local en redes de área amplia; el resultado ha sido la transparencia a través de la red de telecomunicación, con los cambios de enfoque que esto supone. Además, deberíamos darnos cuenta de que los principios de funcionamiento conjunto en telecomunicaciones están fijados desde hace tiempo y de que no todos los principios adoptados para la industria de tecnología de información son relevantes para las telecomunicaciones que, en cualquier caso, son un mercado significativamente diferente.

El cuadro que he tratado de pintar muestra una creciente diversidad de opciones en la industria, siendo esencial para nosotros reconocer las tensiones que esto causa y hallar las soluciones adecuadas para nuestros clientes finales.

Sin embargo, a pesar de todos estos avances tecnológicos, debemos reconocer que era más fácil (no más barato) realizar una llamada telefónica hace setenta años que actualmente. El teléfono tenía sólo un botón, el gancho conmutador, y la operación era intuitiva. Se disponía de una amplia gama de servicios, con buenos interfaces hombre-máquina basados en la voz incluyendo información local, directorios, rellamada cuando el abonado estuviera libre, etc; proporcionado todo ello, por supuesto, por un operador que formaba parte de la red. Hoy en día, los teléfonos con los que tenemos que enfrentarnos tienen tantos botones, que pueden ser utilizados en tantas combinaciones, que hace necesario un manual de instrucciones, !raramente fácil de entender y frecuentemente extraviado¡.

La conclusión es que, mientras la tecnología está creando más sofisticación dentro de las redes de telecomunicación, la complejidad creciente está haciendo la vida más difícil a los usuarios. Uno de nuestros retos, cuando nos acercamos a un nuevo milenio, es utilizar estos avances tecnológicos, que representan un incremento de cien veces en la potencia de proceso disponible y en las velocidades de transporte de información, en la creación de una red de telecomunicaciones y una gama de servicios que realmente mejoren la vida de la gente y lleven a la industria a una nueva fase de crecimiento.

Pete Radley

Dr Peter Radley
Vicepresidente del Grupo de Defensa y Radiocomunicación Espacial de Alcatel
Presidente del Consejo Editorial de *Electrical Communication*

Visión general de las comunicaciones en el transporte

El desarrollo de la sociedad moderna es impensable sin sistemas de transporte de funcionamiento armónico, tanto técnica como organizativamente. Por transporte se entiende la conducción de personas o mercancías de una forma tal que el operador de dicho transporte, sea sobre tierra, agua, o en el aire, se adapte a sus necesidades.

La indispensable necesidad de seguridad en los sistemas de transporte requiere acciones de control y dirección del flujo de tráfico para evitar accidentes ó situaciones de conflicto. Además, el incremento en el volumen de tráfico requiere medidas para elevar la eficacia del operador de transporte; convirtiéndose ahora el antiguo control de tráfico en gestión de tráfico. Las técnicas de localización y las comunicaciones móviles, adaptándose a diferentes aplicaciones, forman la columna vertebral de la moderna gestión de tráfico. Las múltiples ventajas de las ondas electromagnéticas para la transmisión de información a vehículos ha llevado a una situación en la que los procedimientos inductivos y de radio están firmemente establecidos.

La competencia de Alcatel en el campo de las comunicaciones y técnicas de localización ha tenido un impacto sobre diversos operadores de transporte, y goza de un firme base en varias naciones europeas (p. ej., Alemania, Francia, España e Italia). Las aplicaciones en ferrocarriles y líneas aéreas, como compromisos de larga duración, juegan aquí un papel predominante. El primer sistema instrumental de aterrizaje, basado en principios actuales, se instaló en Berlín en una fecha tan temprana como 1932. Su adopción global y posteriores mejoras condujeron a los modelos internacionales actuales. Como contribución a tan impresionante logro se introducen, en este número, las mejoras significativas que se están introduciendo.

No menos satisfactorio ha sido el proceso de desarrollo de las técnicas de seguridad y control para los ferrocarriles. Como sucesor de los comprobados sistemas de enclavamiento mediante relés, existe el sistema de enclavamiento electrónico para control de ruta, construido con moderna tecnología de ordenadores. Su desarrollo era una tarea muy solicitada, ya que la específica filosofía de seguridad de los ferrocarriles exige que el fallo arbitrario de un elemento den-

tro del sistema nunca debe conducir a una situación peligrosa. La moderna solución, generalmente aceptada, es equipar tres procesadores en paralelo, de los que al menos dos señales simultáneas deben ser idénticas. Para el control de trenes se requiere la misma seguridad técnica en señalización. La transmisión de la información necesaria puede ser realizada o en puntos separados o de forma lineal a lo largo de la vía. La ventaja de las formas de transmisión lineal, utilizadas en el sistema Continuo de Control de Trenes (CTCS) en Alemania, España y Austria, reside en la conexión permanente y continua entre los trenes y la infraestructura. La transmisión actual, aún a medida, en la banda de los kiloherzios será sustituida, en el futuro, por procedimientos de radio. En los actuales proyectos nacionales y europeos de investigación (p. ej., DIBMOF, EURET) se está desarrollando un trabajo intenso en este campo. Con ello se consigue el objetivo de alcanzar soluciones económicas completas mediante la integración de redes y servicios.

Una consecuencia de los continuamente crecientes flujos de tráfico es la necesidad evidente de desarrollar sistemas de gestión de tráfico más eficientes. Todos los tipos de operadores de tráfico están universalmente afectados, especialmente los del tráfico por carretera, debido al incremento inaceptable del daño ambiental. La gestión de tráfico no es sólo un flujo de tráfico libre de conflictos y dirigido según las necesidades, sino también óptimamente controlado (a su tiempo). Las primeras aplicaciones típicas de dicha gestión son la operación regional e interregional de trenes, la operación de flotas de camiones en el transporte por carretera, los sistemas de control de acceso en tráfico rodado, y la gestión de tráfico aéreo, incluyendo el control de estacionamiento en aeropuertos sobrecargados. Será necesario desarrollar otras aplicaciones si queremos evitar el colapso total del tráfico. Aquí Alcatel, con sus avanzadas técnicas de comunicaciones, aportará su contribución.

James N. Sanders
Director de la división de Transporte de Alcatel SEL

Sistemas de gestión ferroviaria

R. Petersen Alcatel SEL, Stuttgart, Alemania
G. Faderbauer Alcatel Austria, Viena, Austria

Para asegurar una operación económica y fácil del tráfico ferroviario hay que centralizar los necesarios mecanismos de control. Los centros de gestión (control) formados de esta manera dan una visión global de los eventos operacionales en curso. Así se mejora y simplifica la introducción de medidas correctivas en caso de irregularidades en el funcionamiento.

Introducción

El término colectivo "centros de control" cubre diferentes sistemas con nombres diferentes. Se debe esto principalmente a que las autoridades de transportes, incluyendo el S-Bahnen (metropolitano suburbano), han acuñado sus propios términos para los centros de control:

— Saarbrücken
(BSZ - centro de control de operaciones)
— U-Bahn de Viena
(BLW - instalación de gestión operacional)
— S-Bahn de Viena
(VLZ - centro de enrutamiento de tráfico)
— centro de control de U-Bahn (ULS) de Munich
— Rhein-Ruhr Region
(ABF - sistema automático de guía de operaciones)
— S-Bahn de Stuttgart
(BLZ - centro de control operacional).

El concepto de supervisión ferroviaria por ordenador (RZü) está establecido en los ferrocarriles federales (DB) y orientales (DR) alemanes. El BLZ de Stuttgart se puede contemplar como el precursor del sistema RZü.

Problemas fundamentales

Generalmente, los centros de control anteriormente citados no son instalaciones con capacidad de "señalización segura", aunque deben funcionar con un alto nivel de fiabilidad y disponibilidad. En el BLZ de Stuttgart el tiempo total de indisponibilidad del sistema no debe de pasar de dieciséis horas por año.

Cuando se instalan los centros de control, ya se dispone generalmente de las necesarias instalaciones subordinadas. Estas instalaciones incluyen facilidades como puestos de gestión, controles remotos y equipo de descripción del tren, que pueden proporcionar la información necesaria para un centro de control.

Lo que se pide a un centro de control es siempre similar. Las desviaciones del esquema general vienen de los conceptos de funcionamiento y de los sistemas de numeración de trenes de las autoridades ferroviarias.

Existe una especificación uniforme del DB Central Office (BZA) de Munich para los sistemas de supervisión ferroviaria por ordenador de la organización ferroviaria alemana. Sin embargo, estos sistemas son diferentes unos de otros. Hay componentes de metros suburbanos (S-Bahn) en Stuttgart y Francfort, pero no los hay en Karlsruhe y Nuremberg.

Las ventajas de los centros de control

Los centros de control ayudan a las autoridades ferroviarias a realizar su trabajo siguiendo una planificación y a permanecer informadas continuamente del estado operacional en curso. Esto les permite acelerar y mejorar la introducción de las medidas correctivas en caso de mal funcionamiento. Aparte de las tareas normales de trabajo, los centros de control contribuyen de manera considerable a mejorar la información para los pasajeros. La eficacia de una operación de tráfico es directamente medible en términos de su aceptación por los pasajeros. Sólo con la más moderna tecnología se puede ofrecer puntualidad, regularidad e información a los pasajeros, y así conseguir la aceptación esperada. La tecnología de los centros de control ofrece las siguientes ventajas:

— transparencia de funcionamiento, completa
— racionalización
— utilización óptima de la energía
— estadísticas.

Dos aspectos importantes de las posibilidades estadísticas se indican aquí brevemente. La evaluación estadística de la información, de la que se dispone generalmente en un centro de control, permite la transición desde el mantenimiento definido por los trabajos a hacer al dependiente del uso. Los ejemplos incluyen no solo instalaciones fijas, como puntos (con su cruce y conmutación frecuente), también incluyen trenes, cuyo rendimiento se verifica automáticamente. El segundo aspecto importante afecta a la estimación de la calidad de los horarios empleando métodos estadísticos. De esta forma las incoherencias que podrían surgir de la creación teórica de unos horarios se pueden detectar y permitir la planificación de los siguientes horarios.

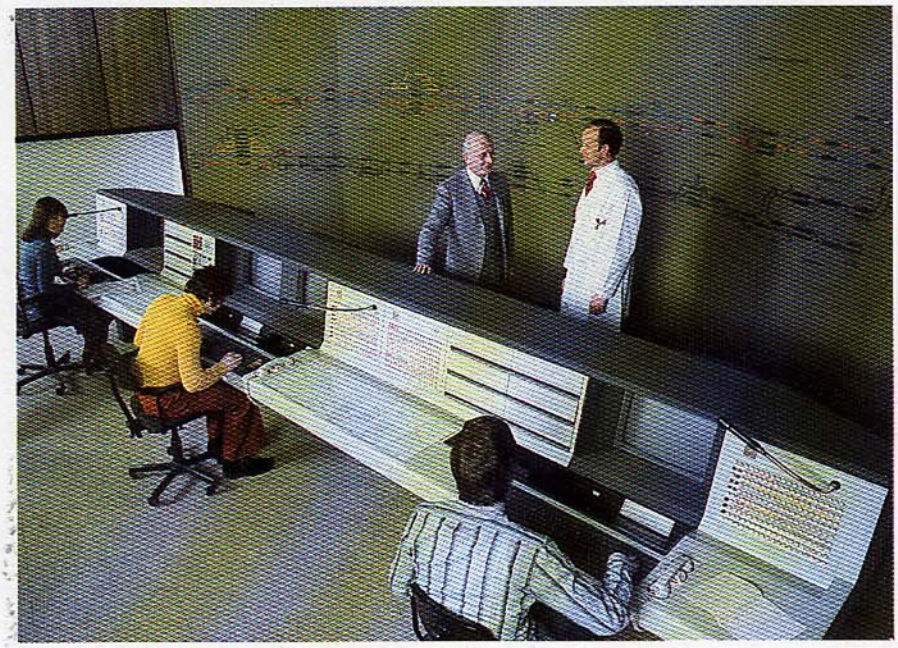


Tabla de señales en el BSZ de Saarbrücken, donde sólo se muestran los números de trenes. La información detallada se muestra en los monitores de la consola del operador.

Tecnología de los centros de control

El comienzo de la tecnología de los centros de control se remonta a los años sesenta. Las autoridades de los transportes quieren y tienen que mejorar los servicios a los pasajeros, y siempre están sujetas a tener que racionalizar teniendo en cuenta las limitaciones económicas. Esto sólo se puede solucionar empleando tecnología moderna. Partiendo del know-how en tecnología de señalización y de las operaciones relativas al conocimiento asociadas, Alcatel SEL ha estado involucrada desde el principio en el desarrollo de la tecnología de centros de control. En 1968 se decidió renunciar al desarrollo de un hardware de ordenadores y usar ordenadores comercialmente disponibles tanto como fuese posible.

Los centros de control son estaciones maestras. La información que se necesita en ellas se obtiene de las subestaciones y de los trenes.

Subestaciones

Como se ha mencionado, esta subestructura se encuentra normalmente disponible cuando se instala un centro de control. Fundamentalmente, la información requerida por la estación maestra se tiene que obtener desde diferentes tipos de puestos de control. Hoy en día, en la era de los puestos de control electrónicos (ESTW), esto es relativamente fácil, ya que los ESTW tienen interfaces series, a través de los cuales se puede transmitir la información de los puestos de control hacia la estación maestra sin dificultad, empleando un sistema de transmisión apropiado. Como estas soluciones electrónicas no están disponibles en todos los sitios, y la mayoría de las facilidades de los puestos de control están equipadas con tecnologías de relés, ha tenido que desarrollarse un sistema de conexionado especial. Este desarrollo tuvo tres importantes aspectos en los que se hizo énfasis:

— la provisión de información relativa al estado real de los elementos de los puestos de control, como señales, puntos, secciones de vías, etc.
— la conexión al puesto de control sin interferencia de sus funciones
— la conectividad de cada tipo de puesto de control con tecnología de relés.

Los puestos de control tienen un panel de enclavamiento para operación y visualización del estado de los elementos del puesto de control. La información disponible en el panel de control la constituyen los datos que necesita un centro de control total o parcialmente. ¿Que sería mas obvio que llevar la información al propio panel o al distribuidor asociado?. Este método se usó por primera vez en 1969 en el BSZ de Saarbrücken. El medio de transmisión fue un dispositivo WT100 que emplea el principio de modulación de frecuencia. Aunque las innovaciones técnicas han continuado naturalmente desde entonces, el principio de conexión del puesto de control no se ha modificado. La información se obtiene en la pantalla del panel. Hoy, la conversión paralelo a serie se realiza con ordenadores de una sola placa de las series LSI-11 (MUX 320) y la transmisión de datos mediante modems comercialmente disponibles.

La tecnología del MUX 320 es también apropiada para emitir órdenes, como las de control, a los puestos de control. El MUX 320 se ha instalado con esta capacidad en el sistema de gestión remota Command 900 de la línea de ferrocarril Furka-Oberalp en Suiza y en el metro de Munich.

La información del puesto de control se puede obtener mediante las modernas instalaciones de reporte de número de tren (TNR). Estas instalaciones ZNL800 se desarrollaron en Alcatel SEL para equipar los existentes puestos de control por relés con facilidades de reporte de números de trenes. Un componente del ZNL800 es la conexión del puesto de control empleando tecnología LSI-11. Las instalaciones TNR tienen que ser capaces de comunicarse con sus vecinas y con la estación de gestión maestra. Para esta aplicación se desarrolló, en estrecha colaboración con el BZA de Munich, el bus ZLV (función de descripción del tren). El bus emplea un proceso de transmisión obligato-

ria uniforme en todas las instalaciones TNR. Los centros de control pueden supervisar este bus y, así, obtener toda la información necesaria. Esta tecnología es el estandard de los sistemas de supervisión ferroviaria por ordenador en los ferrocarriles de Alemania Federal.

Instalaciones centralizadas

Como se ha mencionado brevemente en la introducción, las autoridades del transporte tienen toda clase de ideas y deseos. Sin embargo, las funciones básicas más importantes de un centro de control son:

Función de descripción del tren (TDF): El TDF permite la identificación en cualquier momento de un tren y de su posición real. Para la identificación única se requiere el número del tren. Este puede ser o marcado por un operador o capturado automáticamente usando la tecnología apropiada. Los datos suministrados desde las subestaciones garantizan la correcta presentación del número del tren en el momento y lugar adecuado. Los medios empleados en la presentación del número del tren son variados. Las pantallas panorámicas que sólo muestran el número del tren son solo una posibilidad, como lo son las tablas de señales que reproducen toda la información del puesto de control, incluso los números de tren.

La misma información también se puede visualizar sobre uno o mas monitores de color. Por medio de un proyector de vídeo es posible visualizar sobre un mural la imagen del ordenador, dando una visión general del sistema a un grupo más amplio de personas. La función de descripción del tren es la base de las restantes funciones de un centro de control.

Gráfica del tren: La información necesaria en un TDF también se puede usar para presentar los movimientos del tren en una gráfica del tren. Esta función es particularmente importante en rutas de largo recorrido, aunque también se emplea en el tráfico de cercanías. Como es una representación gráfica bidimensional, se necesitan las apropiadas herramientas técnicas. La tarea se realiza hoy en día sin problemas hardware ya que se usan monitores de alta resolución y placas controladoras gráficas que ofrecen una matriz de 1024 x 1280 pixels.

Las gráficas del tren se presentan generalmente con un vector temporal actual en el medio de la pantalla. Generalmente, el eje de tiempos es el vertical y el de distancias el horizontal. El trayecto de los trenes se muestra sobre el tiempo real. La línea teórica de los trenes se desplaza por el sistema y se conecta a la línea real. El planificador puede así reconocer si una desviación del horario previsto puede dar lugar a situaciones conflictivas en un futuro inmediato.

Enrutamiento del tren: Es el ajuste automático de un conjunto de puntos en el momento oportuno para asegurar que no hay interrupciones. Los puntos no se pueden ajustar demasiado pronto ya que ello podría interferir con otros trenes.

En los sistemas metropolitanos el número del tren contiene, normalmente, un código de destino, a partir del cual se puede deducir la disposición de la vía. Ejemplos de este modo de operación se encuentran en los metros de Viena y Munich, ferrocarriles suburbanos de Düsseldorf y Duisburgo y en la Metropolitana de Milán. En los ferrocarriles suburbanos, la necesaria disposición de la vía para el viaje de vuelta (regreso de un tren desde la estación final) se define frecuentemente con el enrutamiento del tren. El proceso está automatizado de tal forma que el enrutamiento del tren proporciona vías alternativas en el caso de mal funcionamiento operacional. Existen reglas predeterminadas para ello dentro del sistema.

En los ferrocarriles de largo recorrido (p. ej., los ferrocarriles federales alemanes) no se puede deducir necesariamente del número del tren el correcto enrutamiento del tren. A pesar de esto, se han aceptado dos procedimientos para aprovechar el enrutamiento del tren. El DB emplea un dígito de enrutamiento del tren como prefijo del número de tren real. Mediante este dígito cada estación es capaz de deducir la correcta disposición de la vía. Otras autoridades del transporte, como Ferrovie Nord de Milán, almacenan un plan de enrutamiento de trenes en el sistema. Combinando con el número de tren se obtienen los datos necesarios para definir la correcta disposición de la vía en el momento adecuado.

Control remoto: En un sentido amplio el enrutamiento de trenes es un tipo de control remoto. Los aspectos de seguridad están cubiertos con sistemas de señalización segura en los puestos de control.

En el control remoto clásico, todos los procedimientos operacionales, posiblemente locales, también se ejecutan con igual fiabilidad en el centro de control. Con este objetivo se han desarrollado diferentes sistemas. En los centros de control modernos, el control remoto seguro actúa junto a la tecnología de los centros de control para preferencias a través de una LAN (red de área local).

Si la facilidad de control remoto no puede ser segura por la tecnología básica del puesto de control, el centro de control se hace cargo de la función de control remoto. Esto sucede en Italia. Los proyectos en curso incluyen la Ferrovie Nord de Milán, la Metropolitana milanesa y la Ferrovia Circumetnea. Hay que resaltar expresamente que los puestos de control italianos no son menos fiables que la tecnología de planificación de vías usuales en otros sitios.

Sistema continuo de control de trenes (CTCS): Los centros de control, donde existen, actúan junto a los CTCS. El control central obtiene

datos de los vehículos, entre otras cosas, a través del CTCS. Los CTCS se describen en otro artículo de este número.

Mencionaremos tres de los diferentes centros de control ya instalados:

— BSZ de Saarbrücken
— VLZ Wiener Schnellbahn
— RZü de Nuremberg.

BSZ de Saarbrücken

Es imposible escribir sobre la tecnología de los centros de control sin hablar del BSZ de Saarbrücken, ya que este sistema marcó el comienzo de una nueva era tecnológica en los ferrocarriles de Alemania Federal y en Alcatel SEL. Los objetivos se pusieron muy altos ya que la tecnología disponible no era adecuada.

El desarrollo comenzó en 1968 y el sistema se inauguró en 1972. El BSZ de Saarbrücken tiene el control remoto de trece puestos de control en la sección Homburg Saar - Saarbrücken (aplicación con señalización técnicamente segura). Se han tenido que adaptar cinco tipos diferentes de puestos de control con relés. El primer empleo de los monitores en color en la presentación de la información del panel de control se efectúo sobre un panel de control normal (también con señalización segura). La operación de enrutamiento de trenes depende de los horarios y se controla remotamente por conmutación.

Equipo del BSZ

El centro de control maestro del BSZ tiene un doble sistema de ordenadores, cada uno de los cuales consta de tres ordenadores: uno (ordenador de comunicaciones) para la comunicación con las subestaciones , el segundo (ordenador de control) realiza las funciones anteriormente mencionadas, control remoto, etc., y el tercero es el responsable del control de la supervisión.

Los ordenadores de comunicaciones y de control son ordenadores PDP8/I de Digital Equipment Corporation, con una longitud de palabra de 12 bits y una expansión máxima de 32K palabras. Tres dispositivos de discos de cabeza fija, cada uno de 256K palabras, están disponibles como almacenamiento externo de cada sistema. Como control de supervisión se instaló por primera vez un PDP11/05. La memoria de refresco de pantalla se basa en caracteres. Los caracteres individuales se muestran en una matriz de 8 x 8 puntos.

Respecto al software, hay que recordar que entonces no había software estandard disponible en mercado para el PDP8/I.

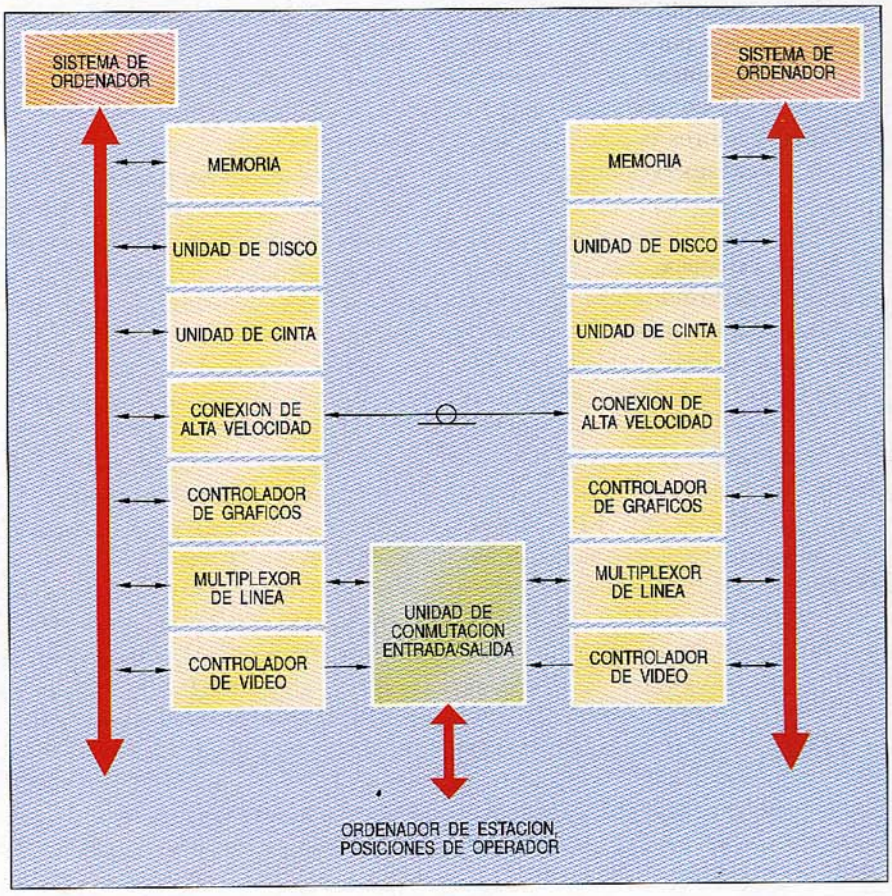
Para cumplir con los requisitos de tiempo real fue necesario desarrollar un sistema operativo en tiempo real para los ordenadores de comunicaciones y de control. El sistema operativo del ordenador de comunicaciones solo gestiona y soporta programas cargados en la memoria central. Por encima, existen programas, independientes del sistema operativo, de entrada y salida para teletipos y canales de control remoto, de salida a la mesa de señales y de intercambio de datos entre los ordenadores de comunicaciones y de control.

El sistema operativo del ordenador de control, REX (Realtime EXecutive), es un sistema basado en discos cuyas características esenciales son:

— sistema de multiprogramación
— gestión de memoria
— gestión de ficheros
— comunicación entre ordenadores y entre sistemas.

El BSZ de Saarbrücken está aún en funcionamiento en la actualidad.

Figura 1 - Sistema de ordenador maestro del VLZ S-Bahn de Viena



VLZ Wiener Schnellbahn

El VLZ entró en funcionamiento durante el otoño de 1983. El proyecto fue realizado conjuntamente por Alcatel Austria y Alcatel SEL. El concepto se proyectó sobre la base del problema, que puede dividirse en los cuatro siguientes niveles jerárquicos:

— puntos de embarque: instalaciones de información para los pasajeros, en forma de indicadores de destino de los trenes, instalaciones de avisos grabados en cinta, relojes, etc.
— puestos de control: ordenadores de estación como "gestores de datos de la estación maestra", por un lado para controlar las instalaciones de información a los pasajeros, y por otro para conmutación de datos desde el puesto de control a la estación maestra y viceversa
— estación maestra: ordenador maestro para procesar la información recibida desde los ordenadores de las estaciones y los datos transmitidos por los planificadores y por el resto de instalaciones centrales, que se necesitan en la comunicación de los planificadores con las secciones de ruta a supervisar.

Posición de operador en el VLZ S-Bahn de Viena

Conceptos del equipo

Familia de ordenadores: Como el diseño tenía que usar un sistema de microprocesadores como ordenador de estación y un sistema de centro de cálculo como ordenador central, fue particularmente importante el que ambos sistemas empleasen la misma familia de ordenadores. Ello facilita no solo la configuración hardware y software sino también el mantenimiento. Se usó como ordenador maestro un PDP11/44 y como ordenador de estación un LSI-11/23. Ambos son compatibles en software respecto al sistema operativo con sus estructuras de ficheros y programas de aplicación. Así es posible instalar programas para procedimientos de transmisión tanto en el ordenador maestro como en los ordenadores de estación (Figura 1).

Sistema de ordenador maestro: Para asegurar una disponibilidad continua, se equipan dos sistemas de ordenadores, uno activo y otro pasivo, en la estación maestra que supervisa el servicio. Como el pasivo se mantiene actualizado mediante mensajes (ordenador de reserva activo), puede activarse manualmente en cualquier instante. Con ello el operador puede usar el sistema sin ninguna restricción. Los sistemas activos y pasivos realizan pruebas funcionales recíprocas, mediante las cuales el ordenador activo puede determinar un fallo en el ordenador pasivo y emitir un mensaje para el personal de servicio. Si falla el sistema activo, el operador se entera inmediatamente y activa el otro sistema.

Desde la instalación local de número de tren el ordenador de estación recibe información relativa al número del tren y a su posición actual. Dependiendo de estos mensajes se procesa una lista de secuencia de trenes, la cual sirve para ajustar los indicadores de destinos de trenes. Al entrar un tren en una estación se activa el adecuado aviso grabado. La posición real de los trenes se muestra en un monitor de color. Para simplificar el trabajo del operador, el diagrama de vías en el monitor es similar a la representación en el panel de control. Además, el operador puede ver el movimiento de trenes en las estaciones vecinas y así obtener una visión más general.

En la estación maestra se han instalado dos posiciones de operadores. Además de las necesarias instalaciones de telecomunicaciones, se conecta el siguiente equipo a cada posición de operador:

— dos monitores de color controlados por sistema de gráficos mapeado en bits
— dos monitores de color controlados por un generador de caracteres de alta resolución (1280 x 1024 pixels)
— un monitor monocromo con teclado para interacción con sistema de ordenador maestro.

Módulos software en el sistema de ordenador maestro: Los principales módulos de programas en el sistema de ordenador maestro son:

— comparación real/teórica
— visualización de la configuración panorámica de las vías, guía y

visualización de los gráficos de trenes
— manejo de ficheros y estadísticas
— entradas del operador.

Módulos software en el ordenador de estación: Los programas en el ordenador de estación se pueden clasificar, según diferentes funciones, en los siguientes módulos:
— función de descripción del tren
— control de los indicadores de destino de trenes y de las instalaciones de avisos grabados
— procesamiento de las entradas del operador
— gestión de los interfaces serie
— manejo del monitor de color.

RZü de Nuremberg

El RZü de Nuremberg es una de las mas nuevas instalaciones dentro de la esfera de la tecnología de centros de control. Comenzó sus operaciones en mayo de 1989 (ver mapa).

Alcance del RZü

Debido al tren de alta velocidad (SFS) en el Federal Railway Directorate (BD) Nuremberg, el RZü 1 de Nuremberg se empezó construyendo para las siguientes líneas:
— Würzburg - Mottgers (SFS)
— estación central de Würzburg - estación central de Aschaffenburg
— Jossa - Gmünden (Central), inaugurada el 29 de mayo de 1989.

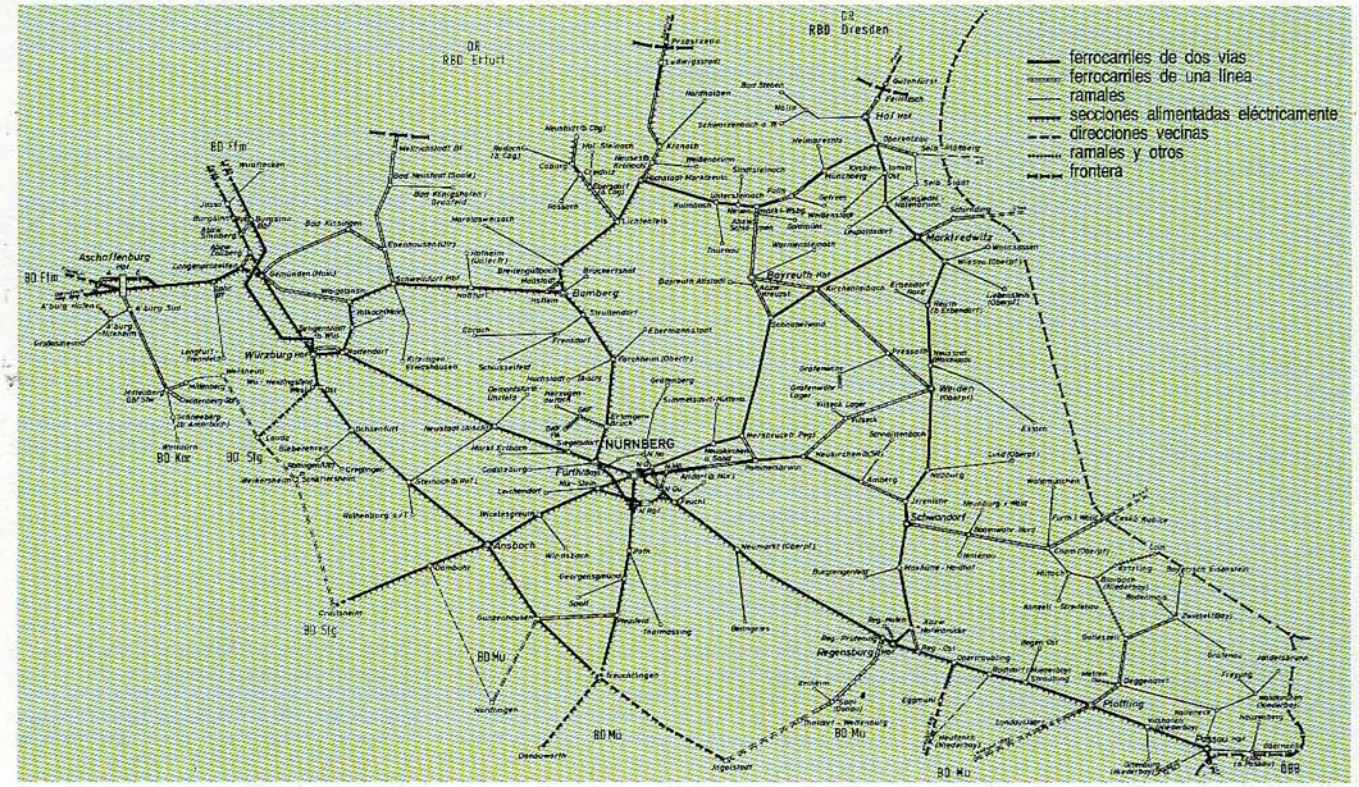
Con una estación maestra, el RZü 1 constituye la base para las siguientes regiones del RZü:
— RZü 2 de Nuremberg con las líneas: estación central/regional de Nuremberg - estación central de Würzburg; Vach - estación central de Fürth (Baviera); Nuremberg Langwasser - estación regional de Nuremberg. Inaugurada a finales de 1989
— RZü 3 de Nuremberg con la línea: estación central de Würzburg - Treuchtlingen. Inaugurada a finales de 1990.

Subestaciones ZN800 en la red TDF

La función de las instalaciones que reportan el número del tren es obtener la información operacional del tren que necesita el RZü. Sin embargo, sólo las instalaciones de diseño moderno, tipo ZN800, pueden proporcionar los datos de forma que las estaciones maestras RZü puedan procesarlos directamente. Las instalaciones ZN800 locales se conectan unas con otras mediante líneas de datos a dos hilos (en el cable de telecomunicaciones de las vías) al bus TDF. Así funcionan como subestaciones en una red lineal. Para que las subestaciones vecinas puedan comunicarse con otras, alguna de ellas debe de conectarse a dos líneas de bus TDF.

Las subestaciones envían su información por el bus TDF en forma de telegramas - definidos exactamente en la especificación - al resto de subestaciones conectadas. Para que dos telegramas no alcancen el bus a la vez, tienen ser enviados en una secuencia fija desde la dirección de

Mapa del RZü regional de Nuremberg



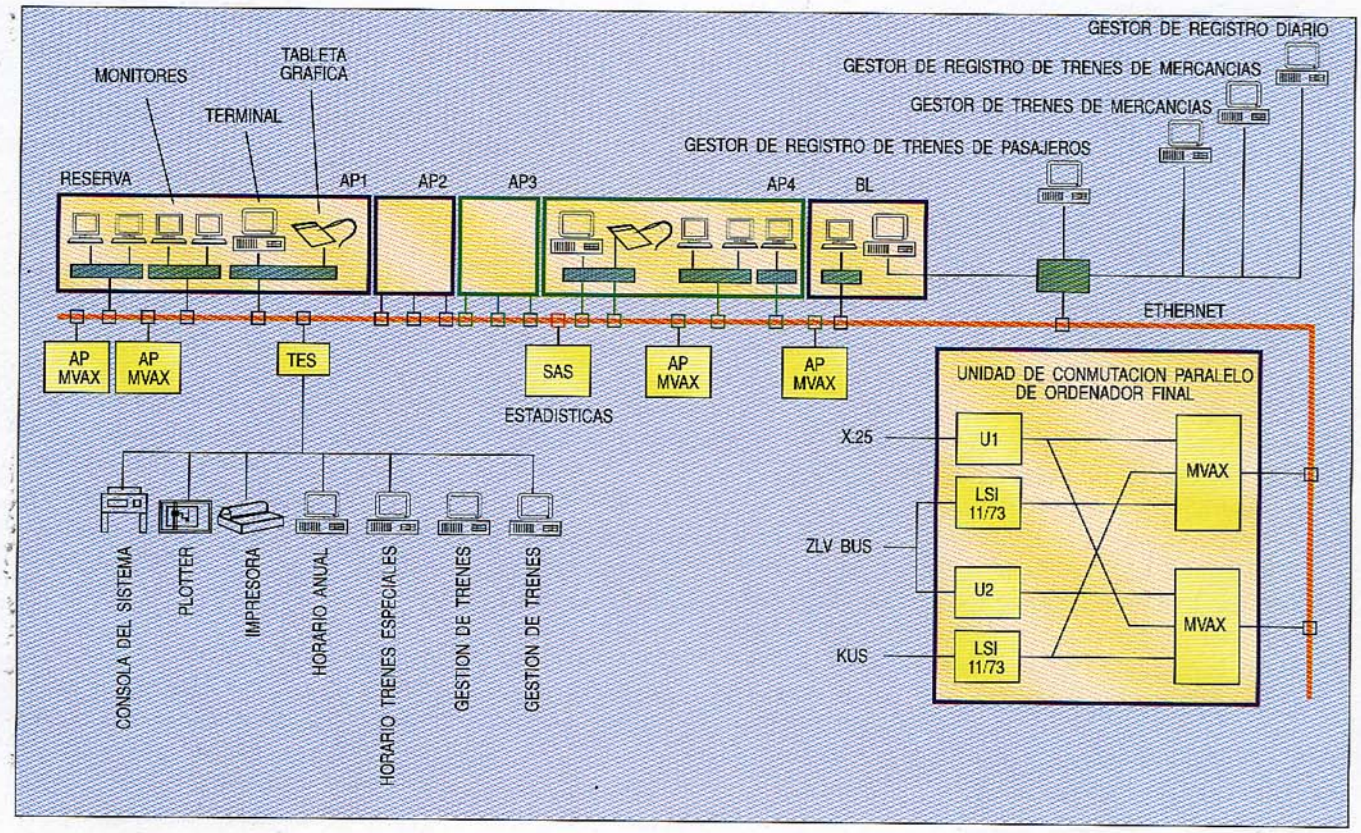


Figura 2 - Vista general del sistema completo en la estación maestra

subestación más baja a la más alta, y entonces comenzar de nuevo un ciclo. Si una subestación no tiene necesidad de enviar un mensaje específico, envía un carácter funcional en forma de telegrama corto. Cada subestación verifica si el ciclo de reporte funciona correctamente. En caso de fallo, se perderá un telegrama en el ciclo. La estación siguiente espera un cierto tiempo y, entonces, envía su mensaje al bus TDF. De esta forma se garantiza que el ciclo de mensajes no se interrumpe por el fallo de una ó mas subestaciones.

Este sistema de función de descripción de tren completamente descentralizado está completamente disponible en el RZü. En el tráfico de cercanías, la estación maestra RZü se conecta directamente como una subestación al bus TDF mediante un modem. Otras conexiones al bus se acoplan juntas en una subestación de acoplamiento (KUS) para mantener las conexiones de telecomunicación, y se conectan con la estación maestra del RZü a través de un centro colector de bus TDF (ZBS).

Tecnología de transferencia de datos

Al nivel de bus TDF las transmisiones serie y asíncrona de telegramas de datos se realizan sobre una línea compartida a dos hilos a la velocidad de 1200 bps tras su conversión en una señal modulada en frecuencia. El procedimiento del bus es descentralizado y sólo se permiten los telegramas prefijados. No se consideran los telegramas erróneos o desconocidos.

La transmisión de información entre la KUS y la estación maestra del RZü se realiza a la velocidad de 4800 bps por conexiones a cuatro hilos. Se equipan con interfaces V.24/V.28. Para una transferencia de datos fiable en este nivel, se instala un controlador de errores entre la KUS y el modem.

El controlador de errores tiene una memoria intermedia donde se almacenan los datos distribuidos asíncronamente desde la KUS. Los datos llevan caracteres de control adicionales, compilados en nuevos bloques de datos y enviados síncronamente al modem. El controlador de errores de recepción puede identificar la información con la ayuda de los caracteres de control y confirmar la correcta recepción de cada bloque de datos. Su confirmación no es buena si se reciben bloques erróneos, y se repite la transmisión.

Componentes de la estación maestra RZü

Fue una consideración básica dentro de la planificación del RZü de Nuremberg (Figura 2) la construcción de un sistema tan modular como fuese posible empleando productos hardware y software ya disponibles comercialmente. Los más de diez años de experiencia con el RZü de Stuttgart confirmaban la

decisión de construir dichos sistemas de supervisión futuros en forma de lógica distribuida, es decir con una red local (LAN). La marcada mejora de las prestaciones de los ordenadores personales, junto a la excelente relación calidad/precio, evidenció que los PC eran apropiados para ciertas funciones. Junto a ordenadores de alto rendimiento tipo VAX en redes locales, estos PC ofrecen precondiciones casi ideales para la realización del conjunto de tareas. Además del eficiente hardware, se dispone de un software de interconectividad y de unos sistemas operativos internacionalmente probados. Alcatel SEL obtiene este software de Digital Equipment Corporation (DEC). Junto a ordenadores de alto rendimiento del tipo VAX y a ordenadores personales 386, se pueden construir redes locales para sistemas RZü. Los sistemas operativos VMS y MS-DOS y el software de red DECnet y DECnet-DOS actúan como software operativo y de red. Adicionalmente, el FMS (Format Management System) se usa como facilidad de "máscara" y ORACLE como base de datos para estadísticas. Ambos son módulos software que ya han sido probados por un gran número de usuarios en todo el mundo.

Desde el comienzo se tuvo claro que solo se usarían como lenguajes de programación para el software específico de las aplicaciones (USER) el FORTRAN y el C.

Red local

Una red Ethernet transporta toda la información entre los ordenadores conectados. Comprende un bus de altas prestaciones en forma de cable coaxial. La velocidad de transmisión es de 10 Mbit/seg. El acceso a los componentes individuales se proporciona con detección de colisiones. La información se transfiere entre los equipos individualmente conectados con la ayuda de este bus Ethernet y de los componentes software DECnet y DECnet-DOS.

Ordenadores de las estaciones de trabajo

El Micro-VAX (M-VAX) es el ordenador de la estación de trabajo. Todos los M-VAX del sistema son idénticos. La construcción del M-VAX permite su libre empleo en una oficina; no es necesaria una sala especial de ordenadores. Cada sistema se equipa con 16 Mbytes de RAM y discos Winchester de 2 x 159 Mbytes. Además se dispone de un cartucho "streamer" con una capacidad de 296 Mbytes. Todos los M-VAX se equipan con conexiones Ethernet (Figura 3).

Ordenador de comunicaciones (KR)

Por razones de fiabilidad el KR tiene dos M-VAX, cada uno con un conmutador de intercambio preconectado, el cual pasa los datos recibidos de las subestaciones de acoplamiento o al sistema de ordenadores 1 ó al sistema 2. Basado en el principio de bus Q, los preprocesadores inteligentes (técnica LSI-11 del ZNL800) realizan el intercambio de datos con las conexiones directas de bus ZLV.

Servidor de monitores (MOS)

Un Compaq 386-20e hace las funciones de MOS. Junto a unidades gráficas en color se controlan monitores de alta resolución en color.

El MOS forma el interfaz de usuario final para la visualización de la configuración panorámica de vías y de las gráfica de trenes. Con la ayuda de las imágenes visualizadas, el usuario obtiene toda la información necesaria para su planificación.

Servidor de canales (KAS)

El KAS se equipa igualmente con un Compaq 386. Se emplea el sistema operativo MS-DOS y el DECnet-DOS. El USER (software específico de aplicaciones) se programó en C.

El KAS efectúa la transformación de los canales de entrada/salida del FMS a procedimientos de entrada/salida del monitor color VT340.

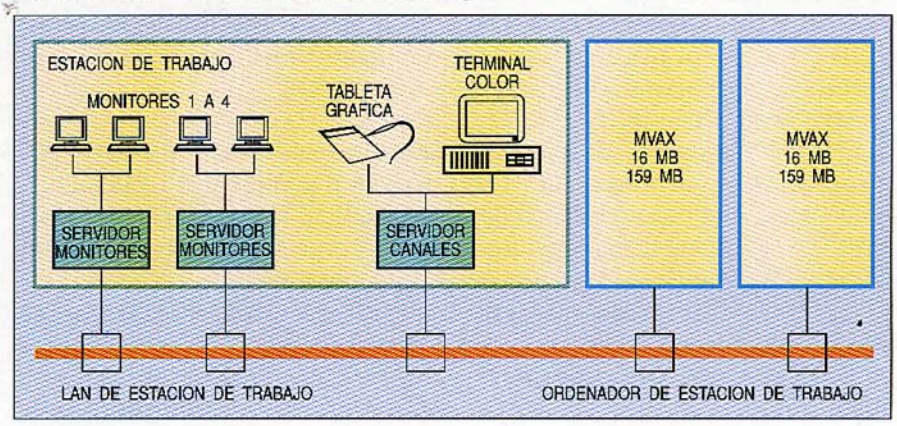
Servidor de terminales (TES)

El TES se basa en un DEC-TES 200. Es el interfaz entre ocho canales asíncronos de datos serie y la Ethernet. Los dispositivos de entrada (terminales interactivos) y los de salida (impresora, plotter) se conectan a estos canales. Cada terminal interactivo conectado accede al ordenador de la estación de trabajo a través del TES.

Servidor de estadísticas (SAS)

El análisis estadístico sirve para revisar los eventos operacionales del pasado y obtener conclusiones (ó mejoras) de futuro. Se dispone, como herramienta de evaluación, de un sistema de base de datos. El SAS consta de un VAX 3900, ordenador DEC de la última generación (Figura 4), que es tres o cuatro veces más rápido en el procesamiento de datos

Figura 3 - Ordenador de la estación de trabajo



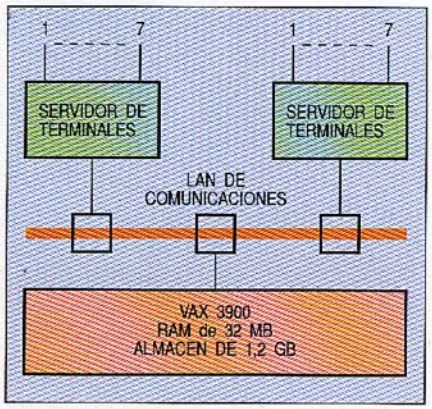


Figura 4 - Servidor de estadísticas del RZü

que un ordenador Micro-VAX. En el SAS se integran los siguientes componentes software:

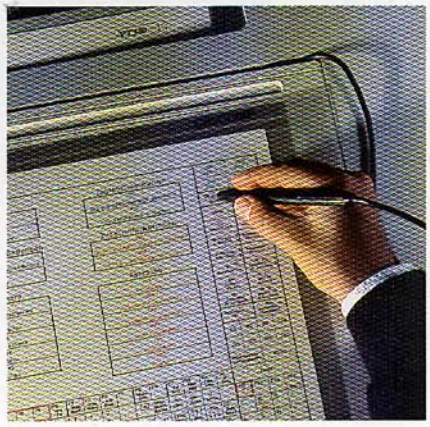
— sistema operativo: VMS
— software de red: DECnet
— sistema de base de datos: ORACLE.

Tableta digitalizadora

La tableta digitalizadora junto al terminal VT340 permite la acción del operador. Las entradas y la reacción del sistema aparecen en la pantalla terminal.

Cada estación de trabajo tiene una tableta digitalizadora con una superficie activa de servicios de los campos de función y, por lo tanto, para el establecimiento rápido y orientado a aplicaciones de las máscaras, y también para guiar el cursor sobre la pantalla del gráfico de trenes.

Tableta digitalizadora para una aplicación de RZü



Estaciones de trabajo

En total hay cuatro estaciones de trabajo. Tres de ellas se sitúan en la sala de operaciones. La estación de reserva está en una sala anexa. Esto se debe a que esta sólo se usa en caso de fallo de alguna de las estaciones principales. Esencialmente sirve para entrenamiento del personal, tanto de trabajo como técnico.

El diseño de la estación de trabajo se basa en un estudio del Master Data Processing de los ferrocarriles de Alemania Federal. Alcatel SEL construyó en un principio una estación modelo en cooperación con el BD de Nuremberg. Como resultado de la experiencia obtenida se realizó un equipo estandard, complementado con diseños especiales. De esta manera fue posible situar las cuatro pantallas de alta resolución a una distancia visual apropiada sobre una consola, y disponer un monitor de control adicional en una posición inclinada por debajo de ella. La tableta digitalizadora se incrusta en la mesa del panel. La posición inclinada del monitor de control, la instalación de persianas verticales en las ventanas, y la elección apropiada del color de las paredes ha reducido al mínimo la reflexión de la luz. El control de las persianas y de la luz de la sala se han incorporado en la mesa del operador. Al diseñar la estación de trabajo se dejó espacio para teléfonos BF80 y papeles de trabajo. Sin embargo, ahora se necesitan mesas de operador para las radio estaciones.

Además de las cuatro estaciones de trabajo mencionadas, se proporcionan otras instalaciones de entrada/salida, estaciones individuales, en diferentes salas. Entre ellas hay instalaciones para la gestión operacional. Se equipan con monitores en color de alta resolución para la visualización imágenes de gráficos de trenes y con un monitor color VT340. Aparte de la gestión operacional, los siguientes puestos de trabajo tienen que disponer de terminales de entrada/salida VT340 en color para:

— creación y corrección del horario anual
— creación del horario de trenes especiales
— control 1+2 de trenes
— control 3+4 de trenes
— planificación de trenes de mercancías
— servicio de locomotoras para trenes de pasajeros
— servicio de locomotoras para trenes de mercancías
— registro del servicio de locomotoras.

Como en la estación principal, también se puede en todos los puestos de trabajo establecer todas las funciones del sistema o realizar todas las entradas con la ayuda del FMS.

Moderna estación de trabajo para supervisión de trenes por ordenador

No es necesario decir que existen algunas limitaciones en las estaciones individuales para evitar introducciones contradictorias. Todas tienen visualización común.

Característica especial del sistema es que el sistema de estadísticas se pueda llamar desde todos los terminales de entrada/salida, es decir desde los puestos de trabajo individuales y principales. Normalmente se usan máscaras pre-preparadas, pero también se pueden realizar preguntas especiales. Estas se simplifican mucho al usar el sistema de base datos ORACLE con lenguaje de consultas SQL.

Con estas entradas se pueden realizar preguntas estadísticas que

surgen espontáneamente y que no están previstas en las máscaras fijas. En operaciones prácticas, dichas preguntas solo se realizan por personal especializado para ello.

En los puestos de trabajo individuales se instalan, además del equipo, impresoras y plotters. Estos últimos son muy apropiados para las representaciones gráficas, por ejemplo, las imágenes de gráficos de trenes o las estadísticas.

Observaciones finales

Se ha conseguido la garantía de una vida larga del sistema usando hardware, sistemas operativos, y software de red disponibles comercialmente, así como los lenguajes de programación ampliamente usados C y FORTRAN, y el sistema de base de datos ORACLE. Esto es una obligación dentro del rápidamente cambiante mundo de la informática. Así, durante la creación del sistema, los PC originalmente ofrecidos por el servidor de monitores fueron sustituidos por otros de mayor rendimiento, sin costo adicional. Lo mismo sucedió con las mejoras innovativas del Micro-VAX. Otro ejemplo es el SAS, que se ofreció como tipo 3600 y se intercambió durante la fase de construcción por el siguiente modelo 3900, también sin coste adicional.

Conclusiones

La automatización con la tecnología al estado del arte debe de continuar si se quiere obtener una mayor aceptación por parte de los pasajeros y de los usuarios de los trenes de mercancías. Un sistema de gestión más completo es el objetivo, conectando tecnología operacional, como los LZB, instalaciones de trenes y puestos de control con instalaciones de planificación, como los RZü y otras tecnologías de centros de control. Entre estas facilidades es esencial, para la formación de este círculo de control a todos los niveles, una red de comunicaciones de alto rendimiento. Se dispone de esta tecnología. Para cumplir estas elevadas demandas, las autoridades ferroviarias, en cooperación con la industria, han comenzado el programa CIR (Computer Integrated Railroading).

Rainer Petersen nació en 1943 en North Frisia. Tras la formación profesional y el servicio militar ingresó en ITT Dataservice de Stuttgart como científico informático en 1968. Desde 1969 ha estado involucrado en el desarrollo de software de sistemas de gestión en aplicaciones ferroviarias. En 1973 ingresó en Standard Elektrik Lorenz AG, donde se hizo cargo de la planificación de instalaciones informáticas. Desde 1985 ha sido jefe del departamento de planificación de sistemas en la división ferroviaria de Alcatel SEL AG.

Günter Faderbauer nació en Viena en 1940. Se graduó en el Electrical Engineering College de Viena y en estudios empresariales en la Escuela de Economía de Viena, mientras realizaba su carrera profesional en Alcatel Austria. Desde el final del Südbahnwerke AG en el año 1970 ha trabajado en el campo de la seguridad ferroviaria y, desde 1976, como jefe de ventas ferroviarias en Alcatel Austria. El Sr. Faderbauer es también jefe de la unión Alcatel SEL y Alcatel Austria en Viena.

Ingeniería de centros de control ferroviarios (CTCS)

M. Gaum
Alcatel SEL, Stuttgart, Alemania

Los sistemas CTCS de Alcatel de protección y control de trenes de cercanías y de largo recorrido están en servicio en todo el mundo. Permiten una alta densidad de tráfico ferroviario, una velocidad de tren alta y un extenso servicio de trabajo automático, incluida la operación de conducción automática.

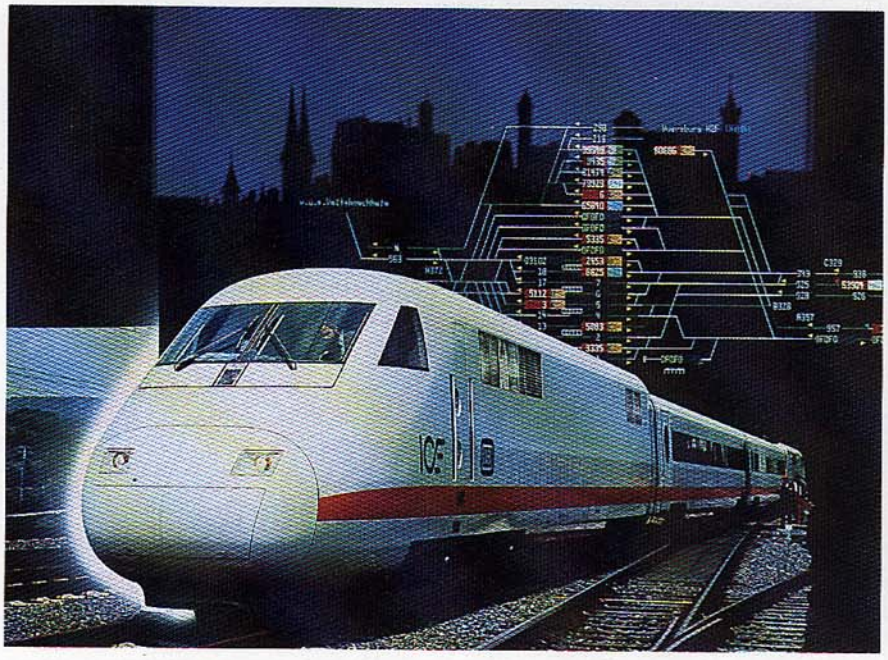


Foto A - InterCity Express de los ferrocarriles de Alemania Federal: Un ejemplo de aplicación de alta velocidad del CTCS

Introducción

El sistema continuo de control de trenes (CTCS) de Alcatel SEL ha estado en servicio con éxito durante dieciocho años en diferentes etapas de proyectos, en la operación de trenes de cercanías y de largo recorrido en Europa y América del Norte. Los sistemas - LZB L72, LZB L80, LZB L90 y SELTRAC - permiten la "conducción con visión eléctrica" y están basados en la comunicación bidireccional de datos entre sistemas de ordenadores en vehículos sobre vías y railes. El CTCS incorpora diferentes programas operacionales y puede por tanto adaptarse fácilmente a las necesidades específicas de los distintos sistemas ferroviarios.

Distintos requisitos de servicio llevaron al desarrollo del CTCS. Las diferentes velocidades de crucero de los trenes de pasajeros y de mercancías ya no se pueden controlar con sistemas de señalización fija sin considerables sacrificios en el rendimiento. Las redes ferroviarias existentes tienen casi saturada su capacidad de carga y agotados sus recursos de reserva. El coste energético en el tráfico de cercanías se tiene que amortizar con viajes económicos. Para una guía operacional continua se necesita una completa supervisión del tren. Además hay que conocer, en todo momento, la posición del tren, su velocidad y sus características.

Generalidades del sistema

El modo de operación de un sistema CTCS se ilustra con el diagrama general del CTCS L90 de la Rheinische Bahngesellschaft de Düsseldorf [1,2] (Figura 1). El sistema automático de protección y control del tren tiene un diseño modular y consta de los siguientes componentes básicos:

— sistema de enclavamiento
— sistema continuo de control del tren, que incluye centros de control de vehículos (VCC) en la vía y equipo transportado en el tren
— centro de gestión del sistema.

Los ordenadores de control de proceso del centro de control de vehículos están en contacto permanente con los microprocesadores de los vehículos mediante comunicaciones bidireccionales de datos. La transferencia de datos tiene lugar por un cable de espirales inductivas instalado entre las vías. A intervalos definidos, el cable de espiral inductiva se cruza, lo que permite la corrección en el registro de la distancia de los trenes.

Los ordenadores del centro de control de vehículos se dirigen, al menos una vez por segundo, a todos los trenes para interrogarles sobre datos reales, como número, posición, velocidad y estado operativo del tren.

El VCC determina la máxima velocidad vial permitida así como la

parada siguiente y calcula el comienzo del frenado de servicio, que depende de la pendiente.

El equipo transportado en el tren (TBE) procesa las ordenes recibidas desde el VCC y supervisa continuamente los procesos de velocidad y frenado con datos de señalización comprobados.

En contraste con los sistemas de control localizado de tren (dispositivos de parada automática), el control continuo eleva el nivel de seguridad y conduce en muchos casos a la disminución de redundancias. Además de esto, el CTCS hace posible una operación de conducción totalmente automática. El equipo transportado en el tren puede equiparse con un interfaz para las conexiones de conducción y frenado del tren y el control de puertas y puntos de embarque. Si la vía está libre y el conductor presiona el botón de arranque en su panel de control, el tren se pondrá en marcha automáticamente tras cerrar sus puertas y viajará, sin traqueteos ni vibraciones, hasta la estación siguiente en el menor tiempo posible.

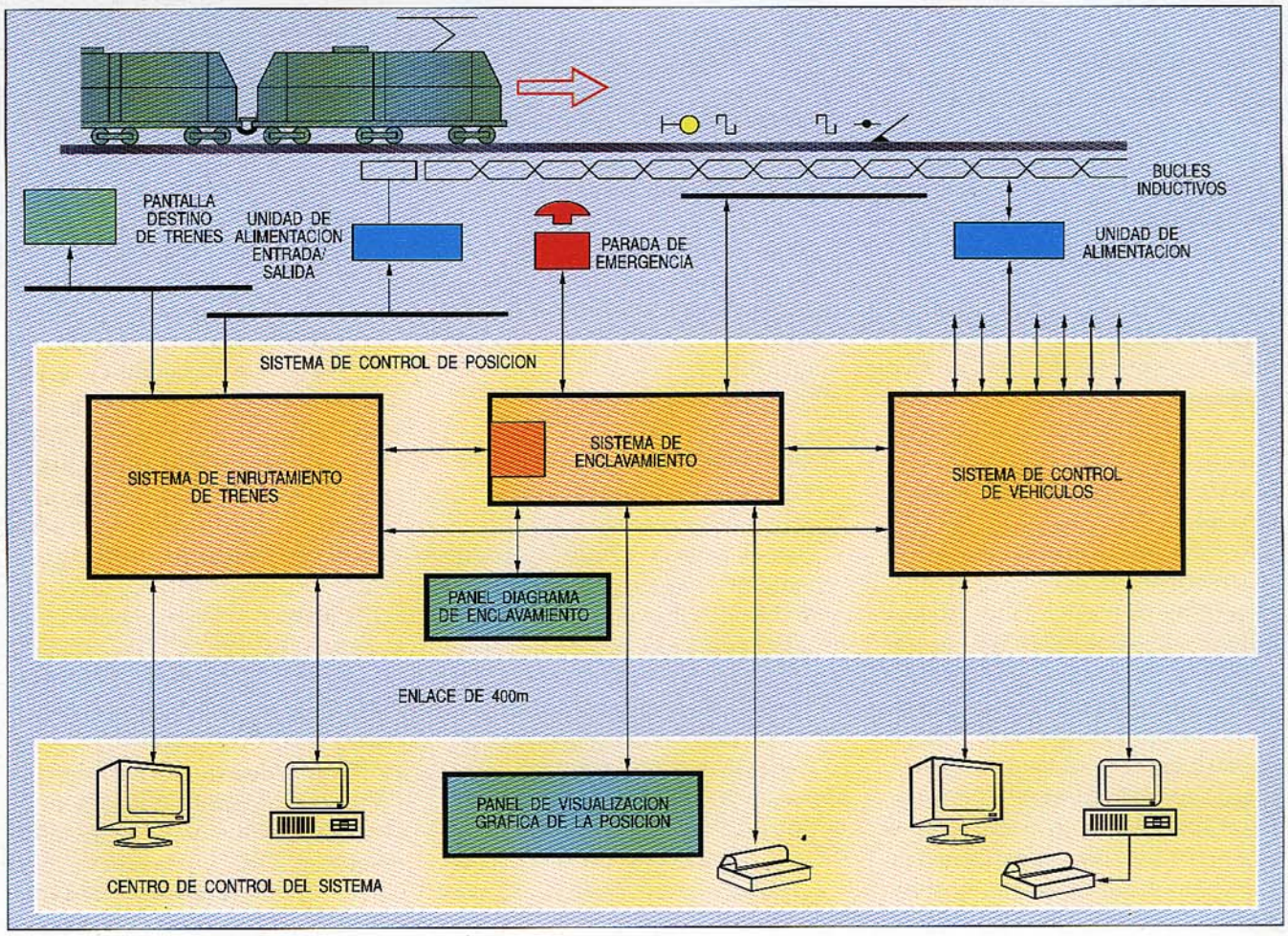
En principio, el CTCS puede superponerse en un sistema de enclavamiento ya existente, y reemplazarlo totalmente o en parte. El VCC obtiene mensajes de estado periódicos del sistema de enclavamiento tales como las coordenadas de posición, el estado de las señales, la ocupación de la vía, y el estado de los pasos a nivel. El VCC lo tiene en cuenta para decidir las ordenes de movimiento de los trenes. El VCC tiene un canal de ordenes con el sistema de enclavamiento y puede, según su concepto operacional, emitir ordenes para apagar señales.

La tareas más importantes del centro de gestión del sistema son la supervisión y gestión de trenes, y la regularización de horarios. Además, el centro de gestión del sistema evalúa los informes de posición de los trenes, que obtiene del VCC.

A través del CTCS el centro de gestión del sistema controla los horarios de salida y la velocidad de los trenes, regulando por tanto automáticamente las desviaciones sobre los horarios previstos.

Los centros de control de vehículos están provistos de un interfaz de operador. Si hay algún problema, los operadores reciben informes de las irregularidades y procuran solucionarlas. Se puede, por ejemplo, reducir el perfil de velocidad en vías en

Figura 1 - Panorámica del sistema en su conjunto



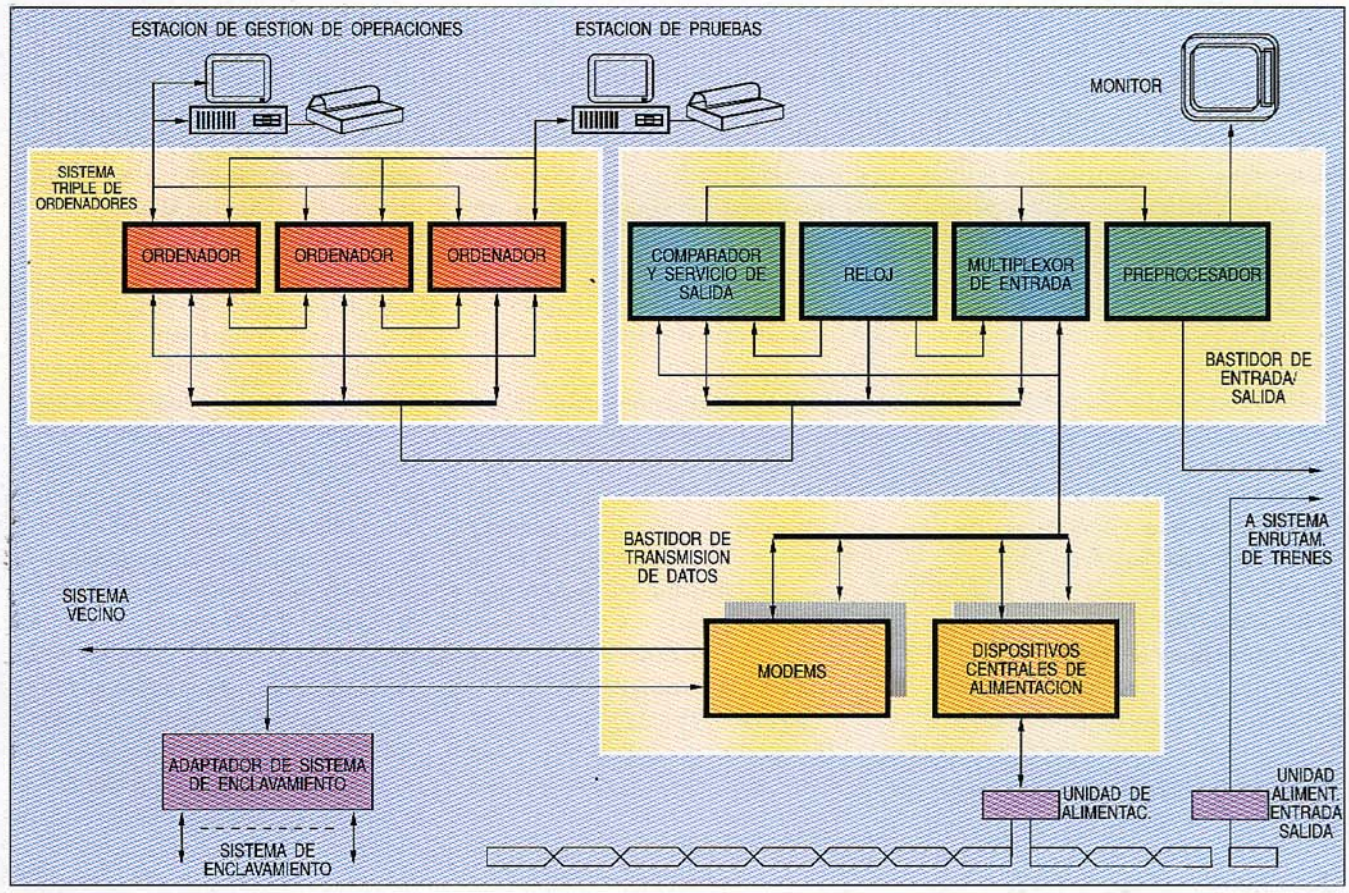


Figura 2 - Diagrama de bloques de un centro de control de vehículos

áreas en construcción mediante la facilidad del operador.

Centros de control de vehículos (VCC)

Hardware

Por razones de seguridad y fiabilidad el centro de control de vehículos (Figura 2) consta de un sistema de tres ordenadores. Los datos recibidos de los interfaces de control de proceso (centros de control vecinos, sistema de enclavamiento, gestión del sistema y canales de espiral inductiva) se ofrecen en paralelo a los tres ordenadores. En el armario de entrada/salida (E/S) tiene lugar la conversión serie/paralelo de los telegramas de información entrantes. Las salidas de los tres ordenadores se comparan entre si mediante un comparador hardware con supervisión de la salida. En el caso que la salida de un procesador sea errónea, éste se identifica y se desconecta del servicio de salida.

Los tres ordenadores del VCC trabajan en paralelo, sincronizados desde un generador de reloj central en el armario de E/S. Se usan ordenadores de control de proceso microprogramados con tecnología "bit-slice", disponibles comercialmente en el mercado. Tienen un ciclo temporal de 200 ns y una memoria principal CMOS-RAM de 196K x 18 bit. El equipo periférico se conecta con el armario de E/S a través de varios controladores de E/S.

La electrónica del armario de E/S combina los tres ordenadores independientes en un único sistema de tres ordenadores seguro y de alta fiabilidad. Los tres ordenadores reciben los mismos datos de entrada. Después de la conversión serie/paralelo los datos se almacenan en una memoria intermedia y se entregan simultáneamente a los tres ordenadores por medio de un multiplexor.

En circunstancias normales los tres ordenadores proporcionan los mismos datos de salida en serie, que se comparan bit a bit en cada canal por comparadores. Si en algún momento, en caso de error de un ordenador, dos comparadores informan de un error, se identifica y se pone fuera de servicio el dispositivo en fallo. El hardware del ordenador y del comparador se supervisa continuamente por el software del VCC.

El intercambio de datos con los interfaces del control de proceso se efectúa mediante telegramas, que constan de una cabecera de sincronización, un componente de información y otro de redundancia. El componente de información se conmuta hacia el equipo de transmisión

por el primer ordenador, y el de redundancia por el segundo. los datos de salida del tercer ordenador se ignoran. Este último solo coopera en la construcción de los telegramas si uno de los otros dos falla o es puesto fuera de servicio. Las funciones de los tres ordenadores se van rotando por software en intervalos de un minuto mediante datos de salida falseados deliberadamente.

Todo el equipo de modulación y demodulación de las espirales inductivas de la vía, canales del sistema de enclavamiento y canales hacia los VCC vecinos se encuentran en el armario de transmisión.

TBE - instalaciones externas

El cable inductivo forma un bucle, realizado por un único conductor tendido entre las vías y un conductor de retorno en la base de los railes. Para compensar las influencias eléctricas y determinar la posición de los trenes los dos conductores se entrecruzan cada 25 m (100 m). El equipo CTCS transportado en el tren detecta estos cruces y los emplea en el sistema de posicionamiento.

Cada VCC puede atender hasta 16 espirales inductivas, cada una de las cuales puede tener hasta 3,2 km de longitud para tráfico de cercanías y hasta 12,6 km en largo recorrido. Sin embargo, la longitud del bucle está limitada fundamentalmente por el trazado de las vías, ya que el sistema de cálculo para la localización del tren se obtiene de la sucesión de códigos precisos de identificación de las espirales inductivas de la vía.

La transmisión y recepción de telegramas tiene lugar con unidades remotas de alimentación que amplifican las señales y supervisan las espirales inductivas para detectar cortes en la línea.

Se requieren bucles de comienzo/final para detectar los trenes que entran la sección de supervisión de trenes desde otra no equipada con CTCS. Estos envían telegramas fijos a los vehículos.

Funciones

El sistema continuo de control de trenes está basado en la interacción fiable de las instalaciones fijas. Los elementos principales en las instalaciones fijas CTCS son los VCC. Son los que guían con seguridad los trenes sobre secciones de railes controladas por el sistema de enclavamiento hacia el destino determinado por el centro de gestión del sistema.

Para distribuir las ordenes del recorrido a los trenes, el VCC procesa:

— las ordenes de salida emitidas oportunamente por el centro de gestión del sistema con un determinado destino
— las comunicaciones de estados desde el sistema de enclavamiento mediante señales de situación fija, puntos de posición (izquierda/derecha) y ocupaciones de los circuitos de la vía
— el reconocimiento desde cada vehículo relativo a su posición y velocidad real, longitud del tren, tipo de tren, estado de los frenos, modo de operación y cambios en la longitud del tren por operaciones de enganche y desenganche
— la información desde los VCC vecinos de si un tren ha pasado al área de otro VCC
— la visualización geográfica de la vía en el VCC mostrando la posición de las señales, puntos, andenes de las estaciones, posiciones de parada dependiente de la longitud del tren, velocidades máximas y pendientes en las vías, y placas giratorias y vías muertas
— los datos de entrada del operador para limitar temporalmente la velocidad y tratar irregularidades.

Para estas tareas el VCC mantiene una comunicación de datos continua con todos los trenes en su vía férrea, con el sistema de enclavamiento, con los VCC vecinos y con el centro de gestión del sistema. Los datos se transmiten en forma de telegramas en serie. Para protegerse contra los errores de transmisión se añade una componente de redundancia a la parte de información de estos telegramas. La distancia Hamming es al menos cuatro.

Los trenes que entran en el área automatizada de un VCC son reconocidos automáticamente por el VCC, que averigua el número del tren y lo transmite junto con otros datos al centro de gestión del sistema. Cuando el tren llega al primer punto de parada después de la recepción de estos datos, el VCC verifica la longitud del tren obtenida para aceptarla y emitir datos del recorrido (ordenes de viaje) al menos una vez por segundo. Estos datos de recorrido contienen, entre otras cosas, el destino siguiente, el límite máximo de velocidad y el número de curvas de frenado. Con esta información el equipo a bordo del tren calcula continuamente la velocidad real requerida. Los informes de posición de los trenes se pasan al centro de gestión del sistema. El VCC detecta cualquier alteración de la longitud del tren en las operaciones de enganche y desenganche en las instalaciones de placas giratorias, y la tiene en cuenta para posteriores ordenes del recorrido (Foto B).

Foto B - Sala de ordenadores con centro de control de vehículos

Software

Las funciones del VCC se implantan por medio de un software modular, estructurado. El elemento clave es el control secuencial que controla la comunicación de datos con las interfaces en un ciclo de 70 ms y programa la ejecución de los programas de proceso en el momento adecuado.

El sistema de programas y datos del VCC utiliza aproximadamente 150K palabras. En el pasado los programas se escribían en lenguaje máquina Assembler con objeto de utilizar más racionalmente el ordenador y cubrir los requisitos de seguridad. Hoy, con ordenadores compatibles más rápidos y normas software relativas a la seguridad del sistema cambiadas, se emplea programación de alto nivel con el lenguaje C. La introducción de un lenguaje de programación de alto nivel es particularmente necesaria debido a los urgentes y cada vez más amplios requisitos funcionales del software del VCC.

El software responsable de la seguridad del VCC está construido de acuerdo con reglas estrictas que, entre otras cosas, requieren una fase de diseño estructurado y fases separadas de prueba a gran escala, de integración, de simulación y de sistema. El disponer los diseñadores de la instalación de la simulación es muy importante, ya que permite la simulación en tiempo real de todos los interfaces del VCC. Antes de introducir el software del VCC en la operación del tráfico de pasajeros se lleva a cabo, por auditores independientes, una amplia verificación funcional del software.

CTCS - Equipo en el tren

Visión general

Las instalaciones del CTCS en el tren comprenden (Figura 3):

— el equipo del vehículo
— las antenas asociadas, los tacogeneradores, y los dispositivos que miden la aceleración (equipos de periféricos)
— las instalaciones del panel de conductor del CTCS.

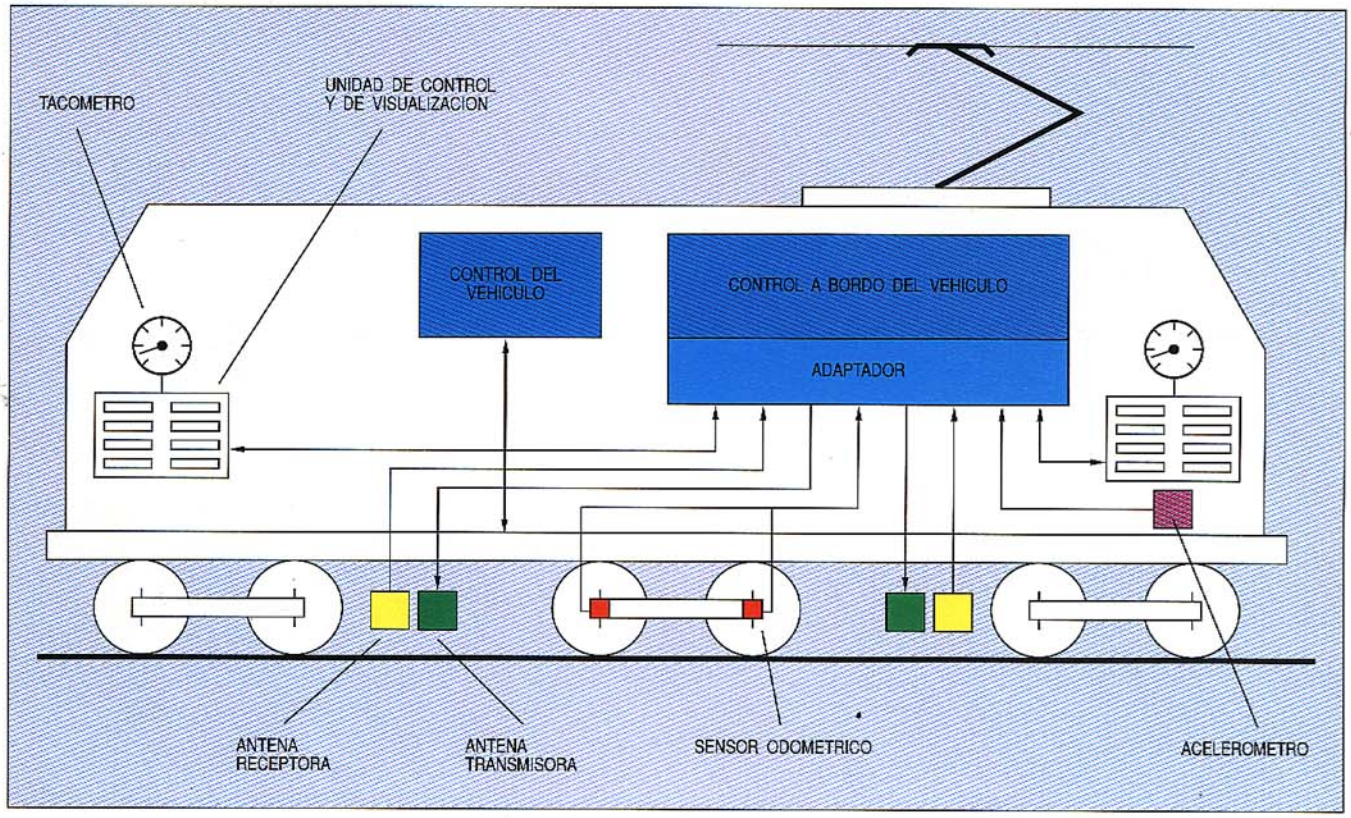
Hardware

El equipo del tren (TBE) consta de varios microordenadores. El elemento principal es el microordenador central, un INTEL de la serie 8088, duplicado por seguridad. Las principales tareas de éste microordenador central son:

— la transmisión de datos a instalaciones fijas a través de las espirales inductivas de las vías
— la emisión de ordenes de recorrido y frenado para control del vehículo
— la supervisión segura de los procesos de velocidad y frenado.

Las instalaciones de transmisión y recepción forman parte del TBE. La duplicación de los microordenadores es necesaria, para poder recono-

Figura 3 - Instalaciones CTCS en los vehículos



cer los cruces de las espirales inductivas.

El TBE tiene su propio sistema de ordenador de sección para la importante tarea de detección de ruta y velocidad. Por razones de seguridad también se encuentra duplicado. Con la ayuda de los cruces de las espirales inductivas y medidas adicionales de la distancia cubierta, el TBE determina continuamente la posición, velocidad y aceleración o desaceleración del tren. Adicionalmente evalúa los impulsos que recibe de los tacogeneradores.

Los tacogeneradores se fijan a dos palieres diferentes, no tractores, del vehículo. En caso de deslizamiento se tiene también en cuenta una medida de la aceleración para el cálculo de la distancia y de la velocidad. El TBE tiene además un circuito de interfaz para su conexión a las instalaciones ya existentes en los vagones. Mediante éste circuito de interfaz, el TBE envía ordenes a todos los vagones que componen el tren para regular su velocidad, ú ordenes desde el VCC para activar los estribos de los pasajeros en las andenes y para cerrar las puertas antes de la salida del tren dependiendo de la situación. El TBE recibe los mensajes de estado desde las instalaciones del tren.

En lo referente a la seguridad es importante el interfaz entre TBE e instalaciones de frenaje forzado del tren. Si, debido a una irregularidad, se supera la velocidad máxima permitida o no se alcanza el valor deseado de la desaceleración operacional de frenado antes de un punto de parada, el software del TBE activa el frenado forzado. Los fallos en instalaciones hardware del TBE, que son críticas por la seguridad, también conducen al frenaje forzado.

Cada panel de control de conductor contiene un pequeño dispositivo indicador y operativo del TBE conectado al indicador de velocidad. Este visualiza la velocidad real y, adicionalmente, por medio de un segundo indicador rojo, la máxima velocidad permitida en cada momento (Foto C).

Foto C - CTCS - consola de operador

Software

El software del TBE está escrito en el lenguaje de alto nivel PASCAL, siguiendo las reglas de la programación estructurada. Ocupa 72K de programa (PROM) y 16K de datos (RAM). En lugar de un sistema operativo se ha instalado un sencillo control secuencial.

Como la mayor parte de éste software tiene que realizar tareas de seguridad, también se suministra su prueba funcional.

El software contribuye considerablemente a la seguridad del sistema. Realiza numerosas autopruebas de los ordenadores, compara las salidas de los dos ordenadores con un sistema de acuerdo (comparador software) y supervisa el funcionamiento de los relés de salida (Foto D).

Cada irregularidad detectada conduce a una reacción de seguridad, cuya magnitud depende del tipo. La reacción de mayor alcance es la parada del ordenador, lo que da lugar a la suspensión automática de la comunicación con el VCC y a la activación del frenaje forzado del tren.

Con anomalías menos graves los ordenadores continúan trabajando. Una vez solucionada la causa de la reacción de seguridad, el software la anula. Para su posterior evaluación se registra la irregularidad en una memoria intermedia, RAM alimentada por batería.

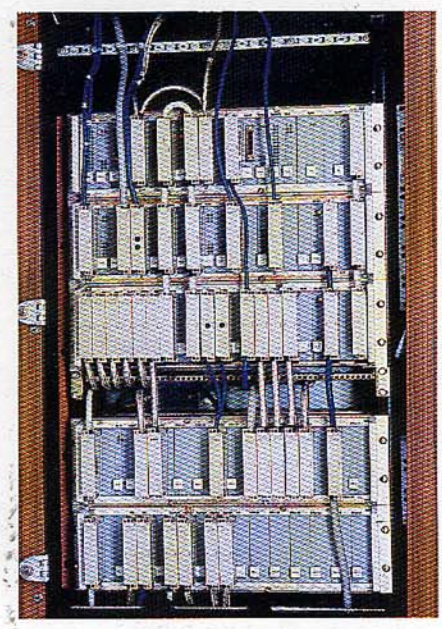


Foto D - CTCS - equipo transportado en el tren

Comunicación de datos a través de espirales inductivas

La comunicación de datos entre VCC y trenes tiene lugar mediante cables de espirales inductivas que funcionan básicamente como una antena. La vía se subdivide en zonas de hasta 12 km de longitud con diferentes códigos identificativos de área. Estos códigos de identificación de área están contenidos en los telegramas de órdenes enviados desde el VCC a los vagones de los trenes. La secuencia de los diferentes códigos de identificación de área cuando se cruza de un bucle (canal) al siguiente determina el sistema de cuenta para localización de los vagones.

En los cruces de los cables de las espirales inductivas tiene lugar una inversión de fase del campo magnético, la cual pasa a los sistemas de medida de distancia y velocidad. El proceso de localización, que se realiza en los vagones, supervisa la cuenta de los cruces (localización aproximada) y calcula la posición del recorrido exacta del tren dentro de una sección entre dos cruces, con ayuda de la medida tacométrica dependiente de las ruedas (localización fina).

Dentro de una zona de identificación de área la espiral inductiva se tiende de manera que forme un bucle de 300 m (sistema de bucle corto). Al final de cada bucle corto se coloca una unidad de alimentación remota. Cada una de estas unidades atiende dos bucles por vía. Las unidades de alimentación remota realizan la conversión de frecuencia y la amplificación de señal y tienen un dispositivo especial para supervisar el corte de la línea (Foto E).

La principal ventaja de los bucles cortos en el tráfico de largo recorrido es que en el caso de una irregularidad en la espiral inductiva solo una sección de 300 m se ve afectada. La operación del sistema en su conjunto no se ve perjudicada (Figura 4).

Los telegramas de órdenes moduladas en frecuencia del VCC a los vagones constan de 85 bits y se transmiten a 1200 baudios en la banda de frecuencias de 56 kHz. Un telegrama de reconocimiento, de una longitud de 62 bits, se transmite en dirección contraria a 600 baudios en la banda de frecuencias de 36 kHz. Para poder mantener intervalos de interrogación de aproximadamente un segundo con el mismo tren, pueden encontrarse en el canal de inducción de un área un máximo de 12 trenes. Los vehículos responden con un telegrama de reconocimiento a la recepción de un telegrama de órdenes desde el VCC.

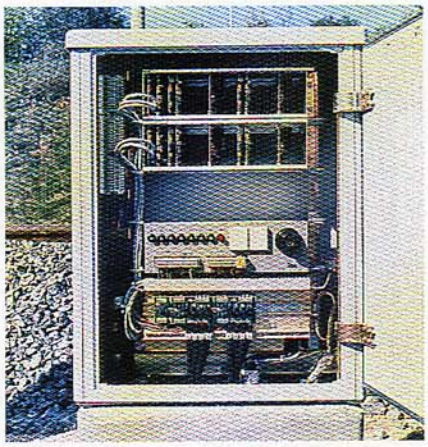
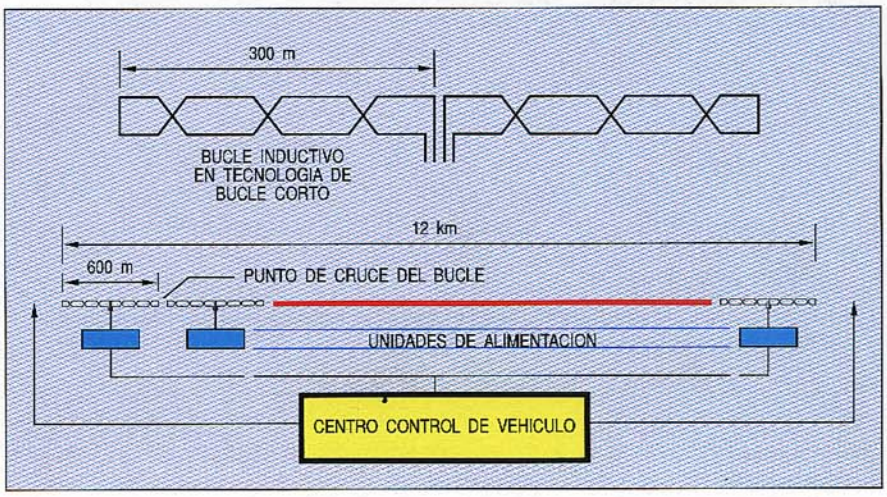


Foto E - Armario con unidad de alimentación remota

Dispositivos del sistema de enclavamiento

La comunicación de datos desde el VCC a los sistemas de enclavamiento se realiza por transacciones, mediante parejas de cables conectados en paralelo a enchufes de control remoto en los sistemas de enclavamiento. Esto es suficiente ya que el flujo de información no tiene una dependencia crítica con el tiempo. Para la transmisión desde los sistemas de enclavamiento hasta el centro de control CTCS, la información de los elementos de ruta debe estar disponible en forma de contactos flotantes.

Figura 4 - Diagrama de transmisión de información por espirales inductivas



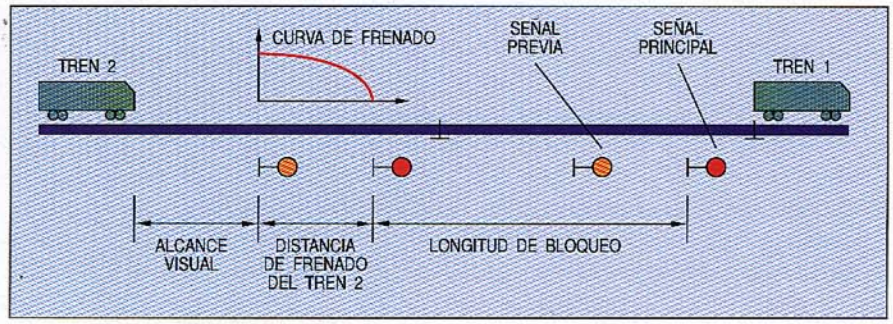


Figura 5 - Separación mínima de trenes en tráfico de sistemas convencionales

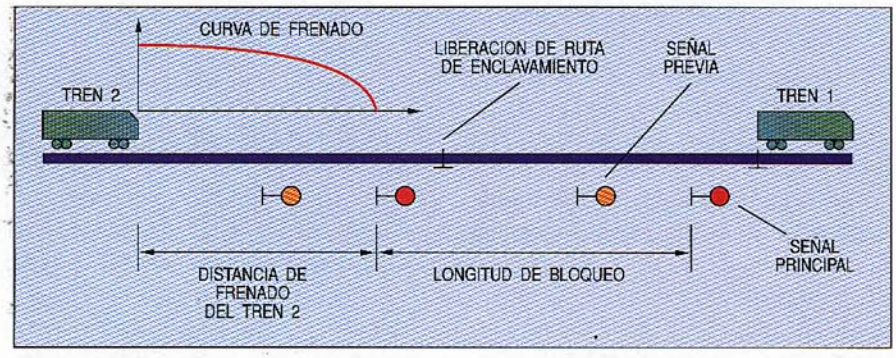


Figura 6 - Separación mínima de trenes para tráfico con conducción eléctrica con separación de bloqueo

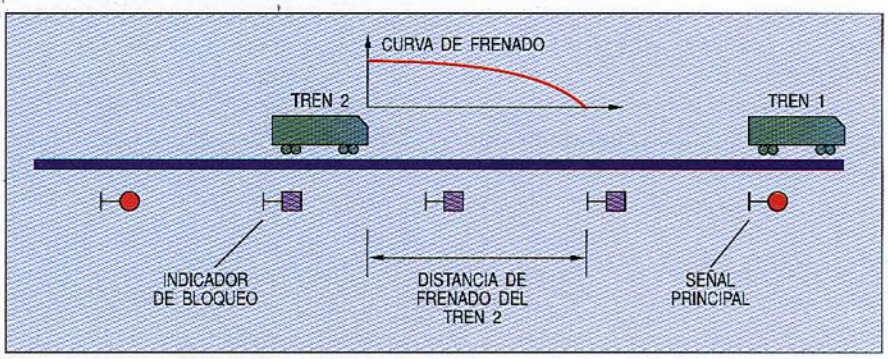


Figura 7 - Separación mínima de trenes para tráfico con conducción eléctrica con separación de bloqueo y sistema de señalización reducido

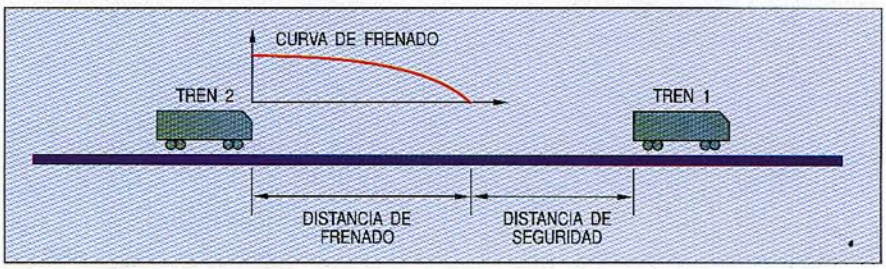


Figura 8 - Separación mínima de trenes para tráfico con conducción eléctrica en distancias de frenado absoluto

El transmisor del dispositivo de control cíclico remoto interroga estos contactos, compila la información en telegramas y la envía por modem al VCC. Un sistema de enclavamiento tiene uno o varios canales de transmisión disponibles por cada dirección de envío. Los telegramas transmitidos en ambas direcciones constan de 31 bits. La velocidad de transmisión es de 891 baudios. Los cambios en la información variable de los elementos de ruta los detecta el VCC después de un máximo de 0,4 seg.

Seguridad del sistema

La seguridad del sistema la garantiza la interacción fiable entre el VCC y el TBE. Por si mismo, los ordenadores del VCC y los microordenadores en el equipo de los vehículos no constituyen componentes seguros en el sentido de una total seguridad de la señal. Con este propósito se aplica un proceso de tratamiento múltiple paralelo y supervisión combinada. Los ordenadores normalmente proporcionan iguales datos de salida, que pasan bit a bit por el canal a través de un comparador. La asignación real a las líneas de transmisión tiene lugar mediante una unidad de control, una vez verificados los resultados de los comparadores. El funcionamiento operativo sin errores de los comparadores se supervisa permanentemente por un programa especial de prueba en el VCC.

Una medida de seguridad adicional es la inversión de información y la redundancia. De los tres ordenadores, el primero suministra la componente de información del telegrama, el segundo la de redundancia, y el tercero se usa como ordenador de soporte. Estas asignaciones funcionales son rotativas.

Además de estas medidas de seguridad, el hardware de cada ordenador se supervisa por una rutina de prueba simultánea y continua.

La comunicación de datos entre el VCC y sus interfaces de proceso

se realiza de una forma cíclica. En el caso de interrupción o fallo de los canales de datos el sistema reacciona por el lado de la seguridad y detiene los trenes afectados. Además, todos los telegramas contienen un mecanismo de código de seguridad (redundancia), código binario cíclico, por medio del cual se detectan los telegramas con error. Antes de un posterior proceso de los telegramas por el receptor, el contenido de la información sufre un amplio proceso de verificación.

Concepto operacional

En los sistemas convencionales de control de trenes, los trenes viajan en intervalos de distancia o bloqueo. Solamente un tren puede encontrase en un tramo de vía delimitado por señales (sección de bloqueo). El maquinista recibe el aviso de una señal importante inminente por medio de otra señal previa dentro de la distancia de frenado de la primera.

La mínima distancia posible que puede haber entre dos trenes sucesivos se muestra en la Figura 5. El segundo tren debe estar situado a la vista de la señal de la sección de bloqueo dejada libre por el primer tren, para continuar el recorrido sin problemas (sin necesidad de frenar).

El CTCS, que permite conducir con visión eléctrica, puede admitir una velocidad máxima superior a 160 km/hora con los sistemas de señales existentes. La distancia entre las señales preliminares y las importantes es normalmente de mil metros y es justamente la distancia de frenado necesaria a esa velocidad. La máxima densidad en la secuencia de trenes viene determinada por la posición de la señal principal y la distancia de frenado del segundo tren (Figura 6). El método operacional se denomina "conducción con visión eléctrica en sectores de bloqueo con sistemas de señales estáticas" [3,4].

En las nuevos tramos de vías construidos, las señales de bloqueo se instalan exclusivamente al comienzo de la sección, es decir como señales de entrada o salida en la estación o puntos de cruce. La vía se subdivide en varias secciones de bloqueo con equipos de ocupación de vía separados. Las secciones de bloqueo sin señales forman "secciones de bloqueo CTCS" para trenes con CTCS y señalización de cabina, en la cuales un tren preparado para trabajar con CTCS puede situarse en cualquier momento. En vehículos sin equipo CTCS las secciones de bloqueo CTCS individuales entre dos señales principales se interpretan como simples secciones de bloqueo convencionales (Figura 7).

Si todos los trenes están equipados con CTCS, los sistemas de señales fijas se pueden quitar. Las notificaciones de ocupación de vía no pueden quitarse debido a que no se detectarían la separación entre los trenes. Mientras no se disponga del reconocimiento de fin de tren las notificaciones de ocupación de vía deben conservarse por razones de seguridad. Con apropiados intervalos de bloqueo cortos la eficiencia del trazado puede aumentarse considerablemente.

El principio de puntos de peligro fijos se abandona al conducir con visión eléctrica en intervalos de distancia de frenado. En una secuencia de trenes sobre una vía abierta, el final del primer tren se sitúa y se considera como un punto de peligro en movimiento. Los trenes empujan hacia delante un área de vía móvil, cuya longitud cambia de acuerdo a la velocidad. Es una desventaja en un sistema de señales fijas que los trenes - independientemente de su velocidad real - deban viajar a distancias predefinidas los unos de los otros. Esto puede evitarse con el CTCS. Un tren puede acercarse hasta la distancia de seguridad del que le precede. La máxima eficiencia vial se alcanza cuando todos los trenes viajan a la distancia de frenado absoluta. La compañía ferroviaria de Alemania Federal está investigando este modo de operación en redes de tráfico de cercanías muy sobrecargadas. Un requisito previo es el reconocimiento interno del final del tren.

Existen aplicaciones de viajes a la distancia de frenado absoluta [5,6] en Vancouver, Detroit, Düsseldorf y Duisburgo (Figura 8).

Tráfico de cercanías

BVG - Berliner Verkehrsbetriebe
Mayo 1981
Linea 4 del metro de Berlín entre las estaciones Nollendorfplatz e Innsbrucker Platz

RBG - Rheinnische Bahngesellschaft
Mayo 1988
Düsseldorf, Alemania

DVG - Duisburger Verkehrbetriebe
Julio 1992
Duisburgo, Alemania

BCT - Britsh Columbia Transit
Enero 1986
El Sky Train de Vancouver es el primer tren rápido urbano totalmente automático en tecnología rueda-rail

TTC - Toronto Transit Commission
Junio 1985
tránsito rápido Ontario Scarborough

DTC - Detroit Transport Corporation
Agosto 1987
transporte de viajeros a Detroit

Tráfico de largo recorrido

DB - Ferrocarriles alemanes
Ya se han equipado alrededor de 1300 km de la red central; en el proyecto CIR-ELKE se aumentará hasta 4500 km

RENFE - NAFA
(nuevo accesso ferroviario a Andalucia)
Abril 1992
Línea de alta velocidad de Madrid a Sevilla en España

ÖBB - Ferrocarriles austriacos
Sistema en prueba
línea Salzburgo - Viena

Compañias que emplean el CTCS

Consideraciones finales

El comienzo del desarrollo de estos sistemas CTCS se remonta al año 1970. Los conceptos modernos permiten la automoción sin problemas en los sistemas de tráfico de cercanías de acuerdo a los requisitos actuales. En el tráfico de largo recorrido, el CTCS se ha desarrollado gradualmente desde la superposición con los sistemas de enclavamiento convencionales hasta llegar a ser el principal sistema de señalización en los ferrocarriles de Alemania Federal y el componente de seguridad central en el proyecto CIR-ELKE [7,8]. Esto llevará a la implantación del sistema CTCS en los Ferrocarriles de Alemania Federal y de Alemania del Este [9,10].

La funcionalidad del software del CTCS se está mejorando continuamente y el hardware adaptando progresivamente a las actuales tecnologías[11].

Bibliografía

1 Röhr, G.F.: Ein neues Zugsicherungskonzept für die Stadtbahn in Düsseldorf und Duisburg. Der Nahverkehr (1984), Nº 6.

2 Braun, W.: Mura, S.: Zugsicherungs- und Zugsteuerungssysteme bei der RBG Düsseldorf. Signal + Draht 81, Volumen 7/8.

3 Gaum, M.: Moving-Block Signalling. *International Railway Journal* (IRJ), Mayo 1992.

4 Kracke, R.: Untersuchung der Möglichkeiten zur Erhöhung der Streckenleistungsfähigkeit. Universidad de Hannover, 1991.

5 Weigelt, H.: Der Sky Train in Vancouver. *Verkehr und Tecnik 39* (1986), Nº 12.

6 Dobler, K.U.: SELTRAC für Kabinenbahnen. Eisenbahntechnische Rundschau 29 (1980), volumen 12.

7 Suwe, K.-H.: Die Linienzugbeeinflussung - ein modernes System zur Steuerung und Sicherung des Eisenbahnverkehrs. *Schweizer Eisenbahn-Revue 1-2* (1992).

8 Suwe, K.-H.: Die Linienzugbeeinflussung als europäisches System. Signal+Draht 82 (1990), volumen 7/8.

9 Biedinger, A.: Perspektiven für eine Leistungssteigerung im Eisenbahnbetrieb durch moderne Betriebsleittechnik. *Die deutsche Bahn 7* (1992).

10 Oser, U.: Betriebliche Gesamtkonzeption für CIR-ELKE. *Die deutsche Bahn 7* (1992).

11 Murr, e.: Funktionale Weiterentwicklung der Linienzugbeeinflussung (LZB) *Die deutsche Bahn 7* (1992).

Manfred Gaum nació en 1947. Obtuvo la graduación en telecomunicaciones en la Universidad de Stuttgart en 1973. En el mismo año entró en Standard Elektric Lorenz, donde trabajó como ingeniero de desarrollo software en los proyectos del sistema continuo de control de trenes para tráfico de cercanías y de largo recorrido. Como director del desarrollo software de los sistemas automáticos de protección de trenes para el CTCS en Alcatel SEL, ha sido responsable del software del centro de control de vía del CTCS desde 1985.

Sistema integrado de comunicaciones ferroviarias SIREL

A. Guilabert, M. Olalla, S. Perrela
Alcatel Standard Eléctrica, Madrid, España

Los ferrocarriles, dentro de la estrategia de diversificación y especialización de los transportes, necesitan cada vez más de las telecomunicaciones para la explotación y operación de sus líneas. Así como los sistemas convencionales de telecomunicación se adaptan bien a las líneas de alta velocidad y a las normales de alta densidad de tráfico, en el caso de líneas de bajo y medio tráfico, las soluciones comúnmente empleadas o bien no reúnen las prestaciones de calidad, diversidad y adecuación a la problemática ferroviaria, o bien representan una inversión que difícilmente se justifica económicamente. Alcatel ofrece con el SIREL (sistema integrado de radiocomunicación para explotación de líneas) una solución integrada, basada en radio, que hace viables las inversiones de telecomunicación en líneas de débil tráfico.

Introducción

En general, una parte importante de las líneas de ferrocarriles son líneas de medio y bajo tráfico (menos de treinta trenes diarios). Su realidad operativa y sus instalaciones de telecomunicación pueden encontrarse en una situación tal que, sin un aumento del número de trenes (viajeros y carga) no son justificables ciertas inversiones, y sin estas inversiones (particularmente en sistemas de telecomunicaciones para la ayuda a la explotación) no es fácil mejorar la gestión de la línea para el tráfico existente, ni reducir el coste de operación.

Un ejemplo de esta situación se encuentra en las líneas de ferrocarril que todavía conservan como soporte de transmisión circuitos bifilares de hilo desnudo, o cable de pares o cuadretes de escasa capacidad que apenas pueden soportar algunos sistemas de telefonía escalonada entre estaciones o telefonía selectiva centralizada con el puesto de mando. El estado de estas instalaciones, debido a la falta de inversiones y de mantenimiento, es tecnológicamente obsoleto y operativamente deficiente, con muchas incidencias provocadas tanto por su estado de conservación como por la fragilidad de los portadores ante fenómenos atmosféricos o vandalismos.

Alcatel se ha planteado dar una respuesta técnica, basada en soluciones radio, para hacer económicamente viables los modernos servicios de telecomunicación en líneas de débil tráfico.

Prestaciones del sistema

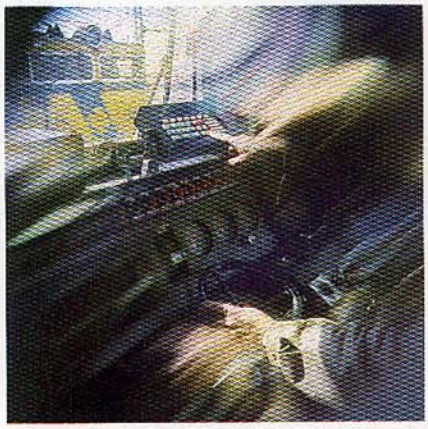
El sistema suministra servicios de telecomunicaciones de voz y datos, fijos y móviles a lo largo de un trayecto ferroviario, de acuerdo con las necesidades de equipamiento del mismo. Esto requiere flexibilidad ante las necesidades de servicios de cada cliente, y el número de puntos a atender en el trayecto.

Se distinguen los siguientes servicios:

— telefonía fija
— comunicaciones móviles tren-tierra
— telefonía móvil de maniobras en estaciones y patios de clasificación
— transmisión de datos.

Telefonía fija

Se proporciona telefonía automática entre usuarios fijos, con las facilidades de desvío de llamadas, transferencia, intrusión, conferencia, autorización, restricciones, hotline, etc.



Radioteléfono tren-tierra en cabina de conducción

También proporciona telefonía de *explotación ferroviaria*, entre estaciones *y puestos de mando*, en *los modos selectivo centralizado y escalonado.*

Comunicaciones móviles tren-tierra

Comunicaciones de fonía, telegramas y transmisión de datos entre cualquier unidad móvil, equipos portátiles o de vía y el puesto de mando, con continuidad de la comunicación en el desplazamiento (hand-over), en línea con la recomendación de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC).

Telefonía móvil de maniobras

Telefonía móvil para personal de estaciones ferroviarias que, por su trabajo (tamaño, especialización en clasificación de trenes o mercancías, etc.) necesiten comunicarse entre si,

con su estación o con un puesto de mando.

Transmisión de datos

Para la operación y gestión ferroviarias hay que disponer de servicios de transmisión de datos en todo el trayecto. En el caso de líneas de bajo tráfico, SIREL proporciona enlaces de datos transparentes hasta una velocidad de 4800 baudios, con capacidad de varios accesos remotos (hasta 30 por canal) y puntos de acceso específicos en la estación central. La gestión del enlace de datos es punto a multipunto, con interfaces RS232C, síncrono o asíncrono, en función del modo de transmisión utilizado.

Esta estructura de transmisión de datos punto-multipunto permite la integración, en el sistema, de telemandos (señalización CTC, subestaciones de tracción, etc) así como de aplicaciones muy características de la operación ferroviaria tales como sistemas de identificación automática de vehículos, alarmas centralizadas, control de accesos, etc.

También se prevé, para determinados servicios, la provisión de circuitos de datos hasta una velocidad de 64 kbps.

Tecnologías básicas

El sistema integrado de comunicaciones ferroviarias SIREL, es el resultado de la conjunción de diferentes tecnologías que permiten proporcionar los servicios requeridos:

— conmutación digital con las facilidades de hot-line, desvío e inclusión, tanto en la central de cabecera como en el terminal de estación, que permite emular la telefonía de explotación (selectiva centralizada y escalonada)
— radio digital multiacceso, que permite la gestión optimizada de un troncal radio para acceso de usuarios dispersos, con economía de espectro
— radiotelefonía móvil, tren-tierra, etc.

Dichas tecnologías, maduradas en realizaciones de productos Alcatel, están adaptadas e integradas en un sistema superior.

Arquitectura del sistema

En la arquitectura general del sistema (Figura 1) se pueden distinguir los siguientes subsistemas.

Puesto de mando

Estación base en medio de un trayecto

Subsistema radio multiacceso

Dicho subsistema se compone de una unidad central (UCE), unidades repetidoras (URA) y unidades remotas de abonado (UAB).

La unidad central es la cabecera del subsistema y tiene la particularidad de ofrecer, además de los interfaces telefónicos, interfaces específicos directos con el puesto central tren-tierra y con el subsistema de transmisión de datos.

De igual manera, las unidades remotas ofrecen interfaces directos a los puestos fijos del subsistema tren-tierra y al subsistema de transmisión de datos.

Las unidades repetidoras proveen cobertura radio a las unidades remotas, y ocasionalmente pueden contener los mismos interfaces que éstas.

Subsistema de telefonía automática y de explotación

Este subsistema está constituido por una central de conmutación (típicamente Alcatel 4300-M), a la cual se conecta el terminal maestro de la telefonía de explotación, un cierto número de extensiones telefónicas ordinarias y la cabecera del subsistema multiacceso, que presenta a los usuarios remotos (de telefonía automática y de explotación), como si estuviesen próximos a la central.

En el lado remoto, los terminales de estación para telefonía de explotación están conectados a una cen-

tralita tipo multilínea, a la que también se conectan extensiones ordinarias de telefonía automática.

Subsistema de transmisión de datos

Este subsistema consta, por un lado, de un host de datos, situado en el lugar donde residen las aplicaciones adecuadas para la operación de la línea (sistemas de información, control de mercancías, venta de billetes, telemandos, etc.), y que está conectado, vía modem, al interfaz específico directo de la cabecera multiacceso.

Por otro lado, el subsistema incluye una serie de equipos terminales de datos (eventualmente ordenadores personales de gestión y unidades remotas de telemando), situados en las estaciones que lo necesiten y unidos vía modem, a las unidades remotas de abonado correspondientes.

Entre el host y los terminales de datos hay enlaces punto a multipunto de 4800 bps y también se pueden instalar enlaces de hasta 64 kbps.

Subsistema de radio móvil tren-tierra

Se compone de:

— un puesto central, con los equipos necesarios para la transmisión/recepción de voz, telegramas, texto y datos entre el operador de la línea (en el puesto de mando) y los equipos móviles (eventualmente portátiles y equipos de vía), así como para la gestión y mantenimiento del propio subsistema

— una serie de puestos fijos, que, escalonados a lo largo del trayecto ferroviario, proporcionan la cobertura radio deseada, y están conectados directamente a las unidades remotas de abonado del subsistema multiacceso

— equipos móviles en las cabinas de conducción de los trenes (eventualmente portátiles y equipos de vía).

Subsistema de radio móvil de maniobras

Constituido por:

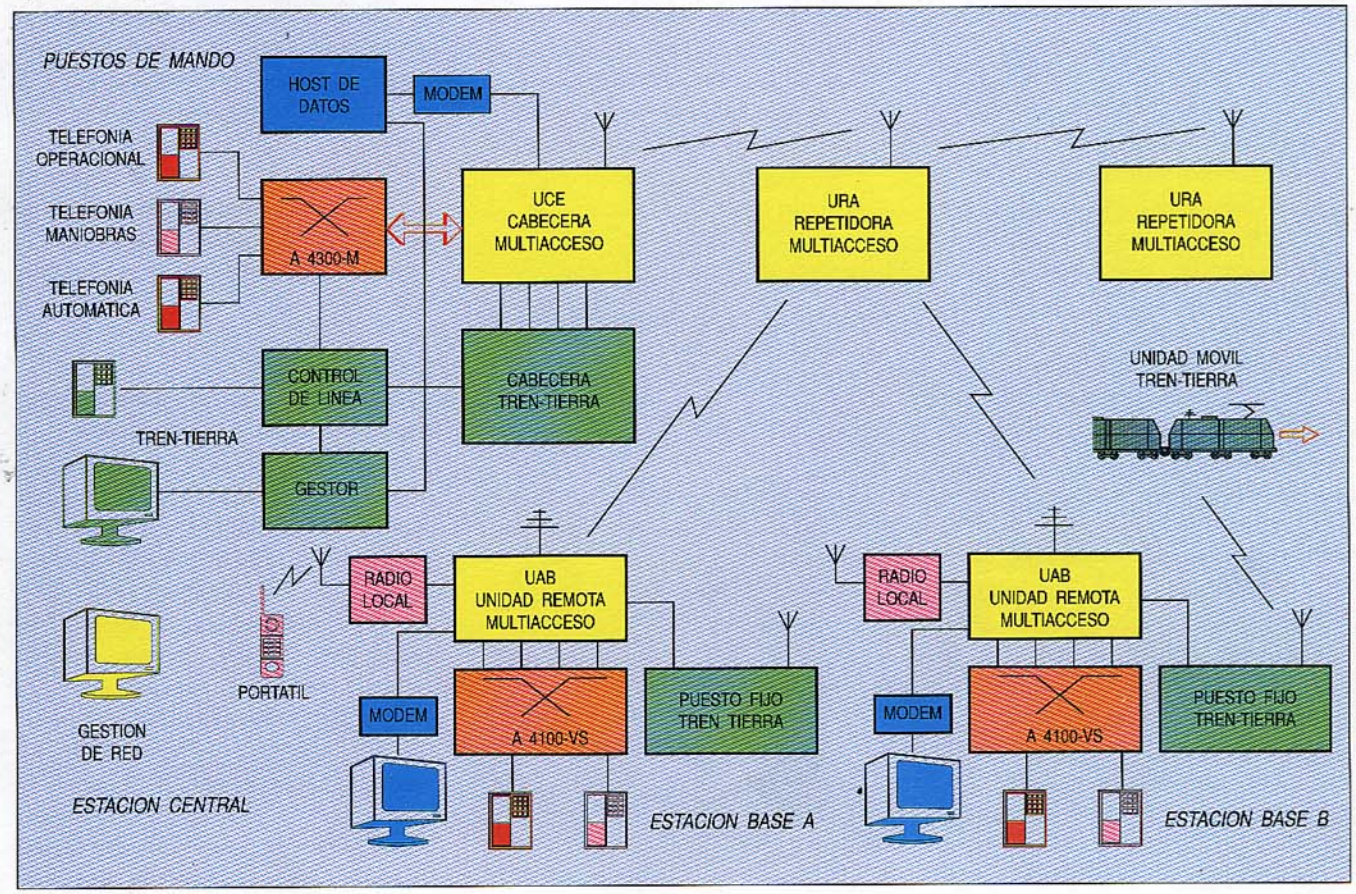
— repetidores radiotelefónicos que, situados en las estaciones que lo requieren y conectados directamente a la URA local, proporcionan cobertura para radioteléfonos portátiles

— puesto local de maniobras, en la propia estación

— puesto central de maniobras (si se requiere)

— radioteléfonos portátiles, que pueden comunicarse entre sí, dentro de cada estación, y con los puestos local y central de maniobras; también pueden acceder al servicio de telefonía automática.

Figura 1 - Arquitectura del SIREL



Terminal de telefonía de explotación

Descripción funcional

La funcionalidad de un sistema de radio multiacceso es permitir, mediante un proceso de transporte y concentración en radio, que una serie de usuarios dispersos y distantes puedan acceder a una central, compartiendo el uso de un número limitado de canales (inferior al de usuarios).

En el SIREL ésta funcionalidad se aplica para dar los diferentes servicios de la manera siguiente.

Servicio móvil tren-tierra

En el subsistema multiacceso se reserva un paquete de canales (típicamente cuatro) para uso exclusivo del servicio tren-tierra, los cuales no pueden ser ocupados por ningún otro servicio.

Todos los puestos fijos tren-tierra, que proveen la cobertura radio de los móviles, son usuarios especiales del multiacceso y se conectan a las correspondientes unidades remotas. A través de ellas reciben la señal de difusión de la central tren-tierra que viaja por la vía descendente de cualquiera de los canales reservados.

El multiacceso concede a cualquier puesto fijo tren-tierra un canal ascendente de los reservados, siempre que lo solicite. El puesto fijo efectúa dicha petición al detectar portadora procedente de una unidad móvil. Este establecimiento o liberación de conexiones se realiza dinámicamente, bajo demanda del puesto fijo como ya se ha dicho, con lo que se consigue una optimización de los recursos de transmisión.

En la cabecera del subsistema multiacceso se dispone de tantos puertos telefónicos como canales reservados al tren-tierra. Una lógica de selección gestiona el encaminamiento de acuerdo con criterios de calidad, para elegir la mejor señal entre las que, procedentes de un mismo móvil, pudieran llegar por puestos fijos diferentes (adyacentes).

Si los canales reservados se hallan ocupados, cualquier petición por un nuevo puesto fijo desplaza al puesto fijo más antiguo; de esta forma se garantiza el progreso de cualquier llamada de emergencia.

Servicio de transmisión de datos

Para el caso de transmisión de datos punto-multipunto, el sistema opera de una manera similar al tren-tierra, pero con las siguientes simplificaciones:

— el número de canales reservados es uno
— la vía descendente llega a todos los usuarios de datos (difusión)
— a la vía ascendente los usuarios acceden bajo control del host de datos o espontáneamente. El protocolo de gestión multiacceso de este servicio asegura la ausencia de colisiones (intentos de transmitir información ascendente por más de un usuario de datos al mismo tiempo).

Estación repetidora, con algunas funciones de estación base

Para el modo de transmisión de datos punto a punto, conmutado o permanente, se ocupa un canal del subsistema multiacceso, bajo demanda o constantemente, según el caso.

Telefonía de explotación

Las comunicaciones entre usuarios de telefonía de explotación tienen lugar, fundamentalmente, entre agentes de circulación de las estaciones (modo escalonado) y entre éstos y el puesto de mando (modo selectivo centralizado).

La conexión automática para los modos escalonado y selectivo centralizado está programada (con marcación directa y abreviada) en la centralita del sistema, que tiene identificados a los usuarios de telefonía de explotación a través del subsistema multiacceso.

Por su parte, el subsistema multiacceso no reserva canales para el servicio de telefonía de explotación, sino que atribuye a los usuarios de éste la prioridad suficiente para garantizar la comunicación inmediata incluso ante una improbable situación de congestión.

Resto de servicios

En el caso de los servicios de telefonía automática y radiotelefonía de maniobras, la ocupación de canales en el subsistema multiacceso se efectúa bajo demanda, compartiendo la totalidad de los canales no reservados (típicamente entre 20 y 25). Esto permite, para el número de usuarios normal en líneas de bajo tráfico, un alto grado de servicio.

Configuración física

Los diferentes elementos que constituyen el sistema se agrupan física-

mente en tres tipos de ubicación:

— estación central, desde la que se opera la línea ferroviaria y que no necesariamente tiene que coincidir con una de las estaciones del trayecto
— estaciones base, normalmente coincidentes con las estaciones de ferrocarril del trayecto
— estaciones repetidoras, situadas en cotas elevadas del terreno para proveer cobertura radio a las estaciones base.

Estación central

Típicamente, una estación central contiene (Figura 2):

— un bastidor con el equipo de cabecera del subsistema multiacceso, que puede dar servicio a más de una línea ferroviaria, así como tener el transceptor radio remotamente emplazado y conectado por línea a 2 Mbps
— la centralita del sistema (Alcatel 4300-M) asociada a estas líneas ferroviarias
— un segundo bastidor con el equipo central del subsistema tren-tierra, capaz de dar servicio a varias líneas de débil tráfico y convencionales
— el host de datos, que puede estar en la misma estación central o en otro lugar
— el puesto de mando, que se configura (en función de las necesidades operativas) bien como se indica en la Figura 2 ó bien integrando las funciones de mando y gestión con las del resto de las líneas que se gestionan desde la misma un mismo centro.

Estación base

Los equipos de los que consta una estación base (Figura 3) se configuran en torno a una unidad remota del subsistema multiacceso (UAB). Junto a ésta se sitúa un puesto fijo tren-tierra y, eventualmente, un repetidor para radiotelefonía de maniobras; todo ello equipado en armarios de intemperie que, al no precisar estar dentro del edificio de la estación, hacen posible situar el conjunto mástil y los equipos radio en cualquier punto de las inmediaciones que resulte radioeléctricamente más favorable

Desde la UAB parten las líneas telefónicas y de datos que conectan, tanto los servicios del edificio de la estación (que alberga la minicentralita Alcatel 4100-VS y los terminales de usuario), como los equipos de telemando que se precisen.

Las estaciones base, aunque coinciden normalmente con las estaciones de ferrocarril a las que proveen servicios, también se utilizan ocasionalmente de forma aislada para extender, cuando así se desea, la cobertura de los servicios móviles a lo largo de la vía, particularmente del tren-tierra. Ello es posible gracias al equipamiento de intemperie de estas estaciones, que además pueden alimentarse con energía solar.

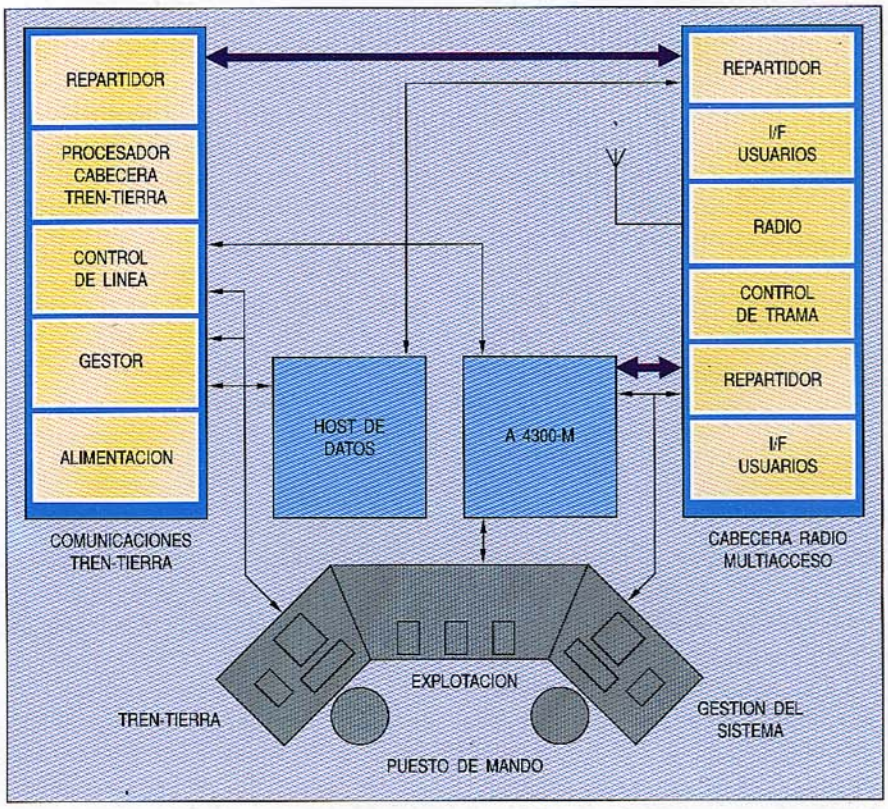
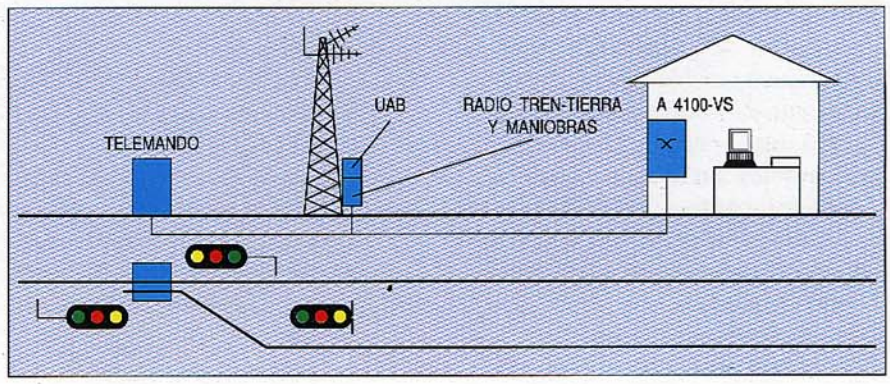


Figura 2 - SIREL, configuración de la estación central

Figura 3 - SIREL, configuración de una estación base



Estación repetidora

Una estación repetidora consiste normalmente en una unidad repetidora (URA) del subsistema multiacceso, equipada en armario de intemperie (colgable del mástil de antena y alimentable por energía solar).

La URA, aunque efectúa una función repetidora regenerativa para alcanzar a las estaciones base del trayecto ferroviario, puede también incorporar interfaces de usuario como cualquier UAB, a la que de hecho sustituye cuando conviene que una estación base sea también repetidora multiacceso.

De igual modo, puede convenir que una estación repetidora tenga alguno(s) de los elementos de una estación base, como un telemando o un puesto fijo tren-tierra.

Por todo ello la configuración física de estaciones base y repetidoras es de gran similitud, especialmente en lo concerniente al equipamiento de intemperie, a fin de tener la suficiente flexibilidad para proveer la funcionalidad que conviene en cada punto.

Gestión del sistema

Aparte de la operación específica de los diferentes servicios, el puesto de mando incorpora los medios y facilidades para una completa gestión del sistema. En el subsistema multiacceso estas facilidades de gestión incluyen:

— configuración: equipos, enlaces, interfaces de usuario, características propias de cada servicio, canales punto a multipunto, reserva de grupos de canales, usuarios privilegiados
— diagnosis: continua y automática del funcionamiento general, periódica y automática para ciertos dispositivos, por comando, a voluntad del operador
— supervisión de estado e indicación de alarmas
— gestión de redundancias
— estadísticas de tráfico
— comunicaciones de servicio entre unidades (canal de órdenes).

Para la centralita telefónica se incluyen
— alta y baja de usuarios
— configuración del subsistema tren-tierra
— chequeo automático
— supervisión e indicación de alarmas
— gestión de redundancias
— archivo histórico.

Conclusiones

El SIREL es un sistema integrado de radiocomunicaciones para líneas ferroviarias de débil tráfico que, al dotarlas de modernos servicios de telecomunicación, hace posible, con una inversión razonable, una explotación económica de las mismas.

Además de un sistema integrado, el SIREL es un sistema integrable en redes de telecomunicación existentes (sus interfaces son estándares CCITT y el interfaz aéreo tren-tierra es estándar UIC) y acomodable a diferentes modos de operación por parte de las organizaciones ferroviarias (los componentes principales de la estación central y del puesto de mando son ubicables separadamente y se los puede agrupar con sus homólogos de otros sistemas cuando así convenga).

Con el SIREL, la experiencia de Alcatel en telecomunicaciones se ha puesto en acción para dar respuesta a la problemática de inversiones en líneas ferroviarias de débil tráfico.

Augusto Guilabert Mellado nació en Tánger (Marruecos) en 1947. Se graduó en la Escuela Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones de Madrid en 1969. En 1970 ingresó en Alcatel Standard Eléctrica para el diseño de sistemas de transmisión por línea. Se especializó en circuitos igualadores, filtros y amplificadores de banda ancha, participando en proyectos con casas asociadas (sistemas coaxiales de 18 y 60 MHz). En 1983 se hace cargo, como responsable, del desarrollo de Sistemas Tren-Tierra en Standard Eléctrica. Los equipos desarrollados por su departamento, tanto terminales móviles como infraestructura, son los que se encuentran actualmente en explotación en la mayoría de las instalaciones Tren-Tierra de RENFE.

Mario Olalla Real nació en Málaga, España, en 1953. Se graduó Ingeniero Superior de Telecomunicaciones en 1976. Trabajó durante 10 años en la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (RENFE), ejerciendo entre otras responsabilidades la de Jefe de Mantenimiento de Telecomunicaciones. Desde 1990, que se incorporó a Alcatel Standard Eléctrica, trabaja en el Departamento de Marketing de Comunicaciones Ferroviarias.

Salvador Perrela Larrosa nació en Huesca, España, en 1961. Cursó estudios en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones de Madrid. En 1986 ingresó en Telettra España, trabajando en el desarrollo software de sistemas de telecomunicación, y en particular del sistema multiacceso digital. En la actualidad es responsable del software de sistemas de Microondas y Comunicaciones Rurales en la división RSD de Alcatel Standard Eléctrica.

Gestión de flotillas para tráfico por carretera y ferrocarril

R. Berger Alcatel SEL, Stuttgart, Alemania
A. Ziehensack Alcatel Austria, Viena, Austria

El cuello de botella originado por la congestión de tráfico en nuestras carreteras, junto con el gran aumento de la competitividad en la industria del transporte, requiere de nuevos conceptos en el tráfico de mercancías. Este artículo ofrece una solución orientada a futuro para la cadena de transporte carretera - ferrocarril - carretera.

Introducción

Las condiciones básicas de la gestión del transporte están cambiando a gran velocidad. Las estructuras de las mercancías y los modificados conceptos logísticos en la gestión del transporte de mercancías junto a la creciente demanda de calidad y a los nuevos retos debidos a la progresiva integración de los mercados europeos y a las tendencias liberalizadoras de todo el mundo presentan a la gestión de las operaciones de tráfico de mercancías con nuevas tareas, críticas y extremadamente complejas.

Factores que determinan el éxito comercial

La gestión orientada a problemas que una compañía de transportes debe realizar, sistemáticamente y como tarea continuada, consta de las siguientes actividades:
— gestión operacional y estratégica de la compañía
— marketing
— sistema de cálculos de costes
— control
— logística.

Sin embargo, el factor dentro de la gestión de transporte que más influye en las actividades antes mencionadas es el éxito comercial. Aquí se indican consideraciones sobre como pueden dirigir sus esfuerzos las compañías de transporte para obtener el mejor efecto, y como tienen que ganarse los nuevos mercados en el futuro.

Aún en una compañía de logística y transporte de mercancías boyante no hay nada como una estructura estándar. Existen también importantes diferencias en la logística de los suministradores de transporte, así como en la cobertura específica y geográfica de sus servicios. Consideradas de esta forma, las compañías se pueden dividir en cuatro categorías:
— las que tienen una gran variedad de bases y una amplia gama de servicios, pero con un radio de acción limitado regionalmente
— las especialistas en nichos con un perfil de servicios perfectamente definido
— las que tienen una red de bases y de servicios logísticos de propósito general
— los integradores ó suministradores a granel con servicios logísticos estándar.

La última categoría también incluye los ferrocarriles. No obstante, en este artículo no se tratan como una entidad diferente. A pesar de las muchas diferencias, se encontraron los siguientes factores, que determinarán el éxito del mercado futuro, como aplicables de forma consistente tanto a ferrocarriles como a otros transportistas:
— mejora y garantía de la calidad
— redes de procesamiento de datos - no sólo una conexión del sistema sino una integración absoluta del sistema.

Obviamente, la integración del sistema debe también incluir los sistemas de seguimiento de carga y la implicación del cliente. Las ventajas de un sistema funcional e integrado que garantice la calidad son evidentes:
— satisfacción óptima de los requerimientos del cliente
— reducción de los riesgos de averías como factor de coste
— regulación ventajosa del riesgo del producto
— mejora de la imagen de la compañía en el mercado.

A continuación las examinamos más detalladamente.

Mejora de la calidad

Los aspectos de la mejora de la calidad incluyen:
— el análisis de la rentabilidad
— la planificación integrada del parque de vehículos
— el control del resultado.

Un análisis de rentabilidad comienza con un cálculo detallado del coste por vehículo, componente del parque de vehículo o flotilla de vehículos, basado en los datos que se puedan extraer de los costes, por ejemplo un cálculo diferencial entre un 15 toneladas y un 12 toneladas de acuerdo a la distancia cubierta y el rendimiento. La optimización del parque de vehículos y de la logística para tener éxito en el mercado no puede desestimarse, particularmente en el caso de parques de vehículos con costes fijos altos. No es sólo importante un mayor transparencia del coste del parque de vehículos y de la logística sino también, sobre todo:
— la mejora de la productividad del conductor
— la mayor utilización de la capacidad y la reducción de períodos

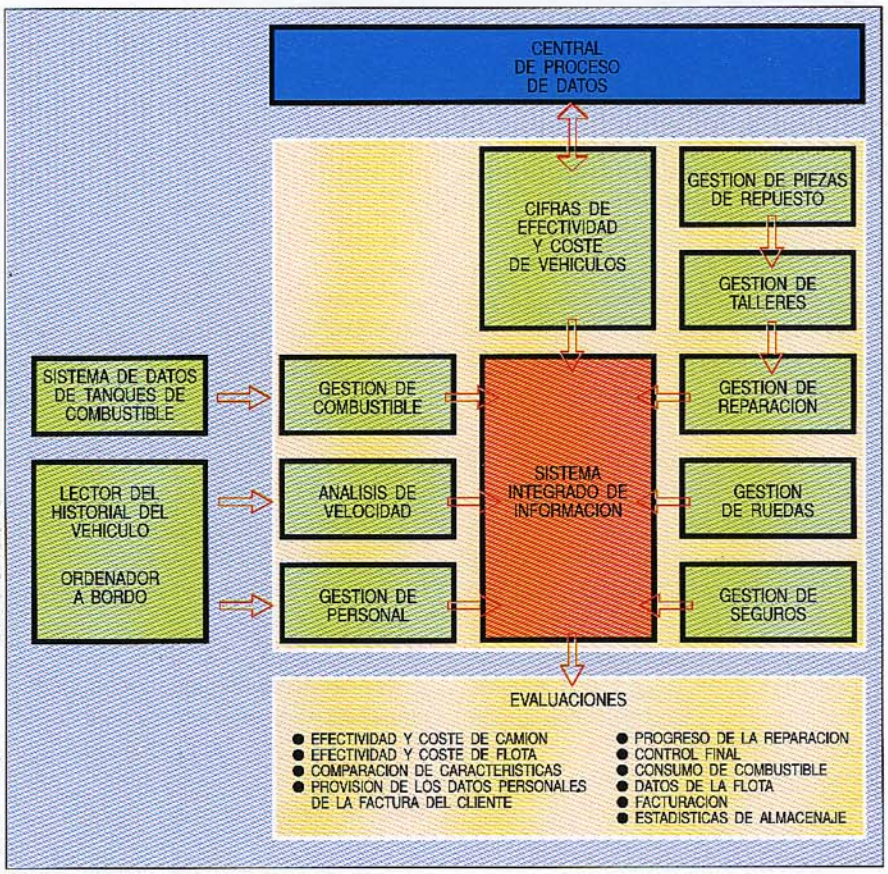


Figura 1 - Red de proceso de datos con sistema de información integrada

improductivos, como los intercambios de mercancías
— la optimización de las rutas
— el posible uso de un medio externo como alternativa más favorable para el propio transporte.

La planificación integrada del parque de vehículos tiene en cuenta la calidad de la gestión del parque de vehículos tanto a nivel operacional como a nivel estratégico. Este concepto de planificación comprende, entre otras cosas:
— el tamaño del parque de vehículos
— la estructura del parque de vehículos
— la renovación del parque de vehículos
— la determinación de la configuración óptima de vehículos.

Con el control de los resultados se ponen en evidencia las fuentes del éxito de la compañía, y se identifican y resuelven los puntos débiles. Las comparaciones internas de resultados son un instrumento adicional para el control, supervisión y motivación y, por tanto, para la mejora y garantía de la calidad. Los elementos de calidad en el campo del transporte y de la logística incluyen:

- Identificación y seguimiento de servicios
En base a los documentos disponibles se puede asegurar que siempre se puede establecer la interrelación entre conductor, vehículo, orden de transporte, mercancías y fecha de entrega. Utilizando un sistema de identificación fija, debe ser posible en cualquier momento una coordinación clara durante el almacenamiento y el transporte.

- Planificación y programación
Este área combina las actividades de aceptación, programación y despacho de pedidos, y las de pedidos completados.

- Transporte
En este elemento de calidad en particular se indican el control de salidas y el mantenimiento de los vehículos.

- Manipulación y almacenamiento

- Verificaciones
Las verificaciones de calidad incluyen:
— control del disco del tacógrafo (verificación relativa al conductor)
— medidas de temperatura en cargas refrigeradas ó calientes (verificación relativa a las mercancías).

Todos estos elementos se basan en datos, a los que se debe poder acceder y adquirir rápidamente, sin errores.

Red de proceso de datos

Los sistemas de procesos de datos no son ciertamente el todo, pero ningún control operacional, administración y cálculo de costes es concebible sin ellos. Lo mismo es aplicable al transporte de mercancías, a la gestión del parque de vehículos y a la facturación. En nuestra moderna sociedad industrial y de servicios difícilmente cualquier otro ramo de la economía es tan dependiente de los datos, sucesos y comunicaciones como el ramo del transporte. En términos de calidad, una cadena de transporte es tan buena como lo es su enlace más débil. Si uno de los participantes no puede suministrar el estándar requerido de calidad, debe ser reemplazado. En una compañía de transporte por carretera, es fácil cambiarse a un competidor. Si es el ferrocarril, el transporte se puede cambiar a carretera. Esta es simplemente una conclusión lógica comercial. Sino, ¿cómo se puede garantizar el servicio de entrega inmediata ó el de 24 horas?. Por otro lado, es bien conocido que las compañías de transporte por carretera hacen un daño adicional en la economía con:
— el aumento de los daños ambientales
— el aumento de la congestión en las carreteras
— el peligro de los atascos de tráfico

— el aumento de los accidentes de tráfico.

Una red interna de proceso de datos optimizada (Figura 1), una comunicación vocal con el programador del conductor ó con las bases de los vehículos, un registro electrónico de los datos de ruta del vehículo, un registro de los datos de reabastecimiento de combustible, un ordenador de a bordo con interfaz de conductor, una orientación, una localización de destino y posición, un seguimiento del vehículo y carga, una navegación en carretera, unos conductores, unos vehículos y una identificación de la unidad de transporte no son simples eslóganes. Todos ellos son factores críticos para incrementar los límites en términos de calidad, aprovechamiento y competitividad. Además, la evolución prevista del tráfico en carretera y el incremento en la capacidad de los cuellos de botella hacen que el uso de la informática sea cada vez más necesaria, no sólo para los datos previos al transporte sino también para aquellos que acompañan al transporte, es decir la información actualizada del tráfico. Por medio de una apropiada instalación en el vehículo de comunicaciones móviles, es posible un control óptimo de las flotillas (Figura 2).

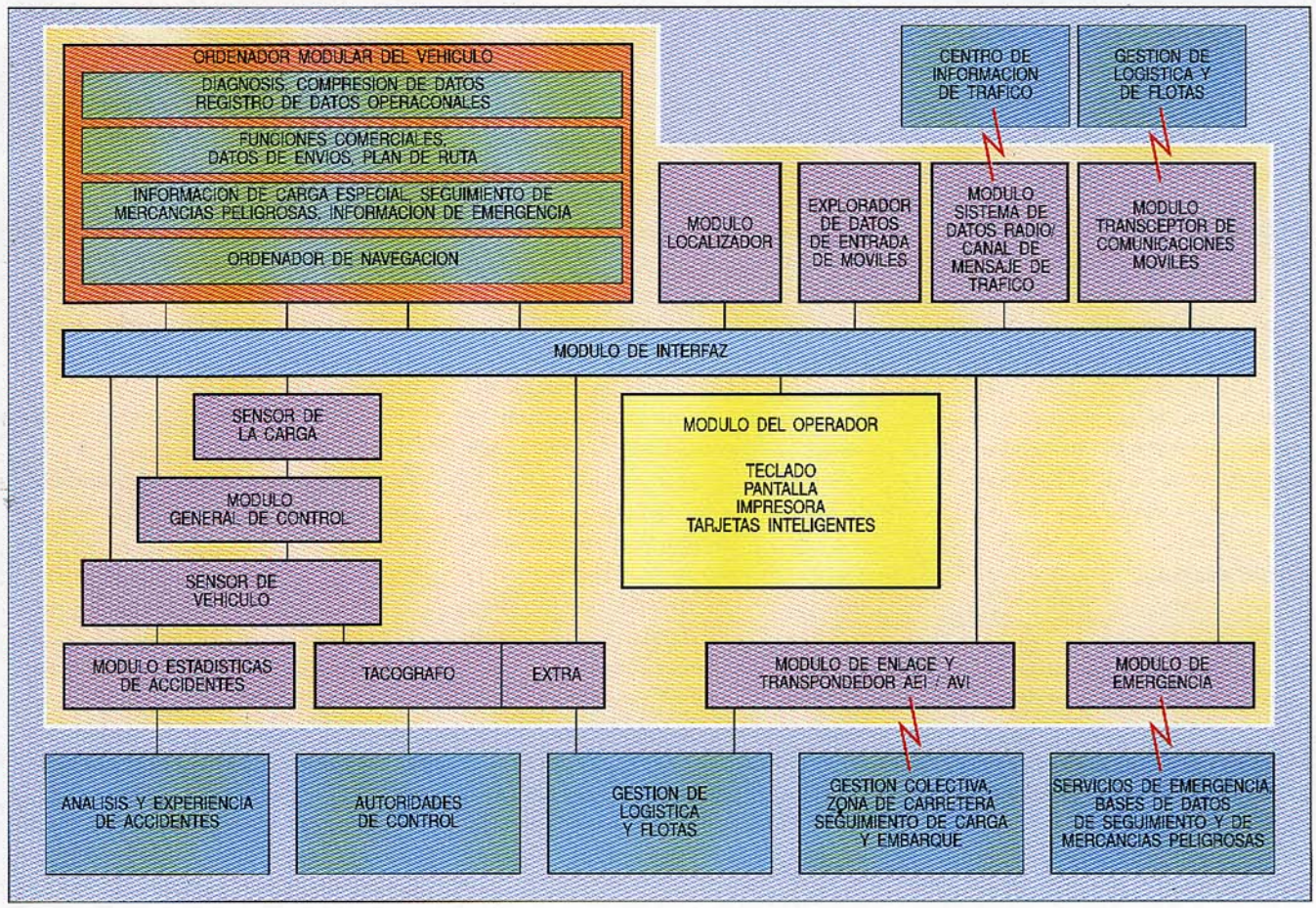
El intercambio de datos entre una compañía de transporte y el ferrocarril es más problemático. El teléfono es todavía el medio de comunicación predominante en este entorno. Los documentos generalmente se editan de forma convencional. El uso del fax es imposible en la mayoría de los casos, ya que no está instalado en los puntos importantes de servicio ferroviario con los que la empresa debe comunicarse.

Aunque se requiere urgentemente diferentes tipos de intercambio de datos, su complejidad supone un gran esfuerzo en la capacidad de cooperación ferroviaria. Sin embargo, sin cooperación el sistema ferroviario es incapaz de utilizar el tren de manera óptima. No sólo se necesita la cooperación como transportista, sino que también como suministrador directo de servicios. Aquí, además, la acción sin cooperación no tiene sentido. También se necesita una estrecha cooperación entre los ferrocarriles europeos para ofrecer unos servicios de transporte eficaces en toda Europa.

Gestión de flotillas

La gestión de flotillas está generalmente pensada como un sistema para las bases de programación interna de una compañía, cuyos vehículos se siguen a través de instalaciones de comunicaciones móviles en los vehículos (GSM ó radioGPS). Por lo dicho hasta ahora,

Figura 2 - Sistema de control y supervisión para vehículos comerciales



no obstante, es evidente que esto está lejos de estar mas elaborado y debe verse como parte de la mejora y garantía de la calidad y como un componente esencial de un sistema logístico integrado. La gestión de flotillas es además un complejo funcional para salvaguardar el éxito de mercado en el futuro. Básicamente está compuesta por los siguientes grupos de productos:

— adquisición de datos y diagnósticos por medio de dispositivos de verificación, mecanismos sensores y ordenadores de a bordo
— control y regulación por medio de mecanismos sensores y ordenadores de a bordo
— identificación por medio de tarjetas inteligentes y portadoras de datos
— orientación y navegación por medio de sistemas de supervisión de flotillas
— comunicación (externa e interna) por medio de comunicación móvil
— soporte del transporte por medio de EMS (Engineering Management System), planificación de rutas, proceso de pedidos, reservas y seguimiento de la carga
— sistemas colectivos como la gestión de tráfico, intercambios de carga y bases de datos externas.

Está fuera del ámbito de este artículo la descripción detallada de todos estos grupos de productos. El artículo se centra en el que es probablemente el grupo más importante, la identificación. También se encuentra en otros complejos funcionales del ramo del transporte, como la seguridad del vehículo ó la supervisión y control de las cargas.

Identificación

La identificación automática cubre una función de gestión de flotillas particularmente importante en el despacho y seguimiento de la carga dentro de una cadena de transporte. Dentro de un almacén de transportes, la identificación suministra datos básicos válidos para programación, permite una planificación de datos más rápida y optimizada, al no ser ya necesario el registro manual diario de las unidades de carga, suministra detalles sobre el inventario disponible en cualquier momento al presionar un botón, y permite no sólo determinar automáticamente las unidades de carga "perdidas" sino también optimizar la circulación del vehículo y de las unidades de carga, así como un mejor servicio de clientes con una buena información.

La identificación automática es indispensable al cambiar el tipo de transporte, particularmente debido al crecimiento del tráfico combinado de carga. Aquí, en particular, el *ferrocarril* como transportista y como suministrador directo debe de ser capaz de continuar el seguimiento de la unidad de carga para el expendedor, y hacer la ruta del transporte tan transparente como sea posible. Esto no es solo una cuestión propia de un servicio mejorado de la compañía de transporte. También ayudará al ferrocarril a optimizar su programación, mejorar la circulación y ahorrar en coste de energía, en otras palabras a incrementar la calidad, mejorar la logística y la administración del parque de vehículos, minimizando retrasos y gastos, e incrementando la rentabilidad.

El sistema óptimo de identificación en el ramo del transporte es el sistema AEI (Automatic Equipment Identification) de Alcatel Amtech. En Europa se han instalado dos sistemas desarrollados por Alcatel Amtech en EE.UU.: el sistema AVI (Automatic Vehicle Identification) desarrollado especialmente para trenes y el sistema AEI que puede ser instalado en cualquier tipo de transporte. Es un sistema de identificación de HF versátil para tráfico ferroviario, gestión de flotillas, carga por mar y aire y tráfico de contenedores. Como parte de un sistema de control multifuncional contribuye a:

— un control más eficaz
— una logística más eficiente
— una supervisión más eficaz
— una reducción del tráfico por carretera y
— una reducción de la polución ambiental.

La compañía federal alemana de trenes está probando actualmente este sistema en los proyectos piloto "Trailerzug" y "Partnerschaft Strasse/Schiene". La ventaja de una identificación soportada por radio frente a los lectores de códigos de barras reside, sobre todo, en la relativa insensibilidad a la suciedad del sistema. Por ello es adecuado para el tráfico international de contenedores, donde la robustez y mayor vida del producto es muy importante. Además, ningún otro sistema comparable puede reconocer y registrar el paso de contenedores a la velocidad que suministra este sistema. Las frecuencias aprobadas en todo el mundo para estas aplicaciones (850 a 950 MHz y 2400 a 2500 MHz) presentan un gran problema en el tráfico internacional de contenedores, pero puede resolverse con una técnica patentada en forma de una placa de identificación multiestándar (TAG).

Las posibilidades de aplicación son casi ilimitadas. Van desde la identificación móvil del contenedor en aeropuertos ó en grandes almacenes de contenedores hasta sistemas de seguridad para cargas problemáticas (basándose en datos apropiados es posible verificar remotamente si se ha abierto ilegalmente un contenedor durante el transporte) y a sistemas automáticos de supervisión de tráfico. Un ejemplo típico es la compañía nacional francesa de ferrocarriles que ha instalado un sistema para identificar y supervisar automáticamente ferrocarriles en vías de alta velocidad.

Principio básico de una identificación soportada por radio

En el lado del operador, el sistema de identificación por radio de Alcatel Amtech está compuesto por una antena direccional estática ó móvil, un transmisor, una unidad de lectura y una instalación de proceso de datos. El objeto a identificar - contenedor, vagón ó vehículo - se equipa con un "radio identificador" en un sitio definido. Un operador que desee identificar un objeto que llega ó que pasa (Figura 3) envía una

señal de alta frecuencia mediante la antena direccional. El radio identificador recoge la señal y devuelve un telegrama de datos con su información almacenada permanentemente. La unidad de lectura decodifica este telegrama y un sistema de ordenador asociado realiza la identificación y el posterior procesamiento de los datos. El diagrama de bloques (Figura 4) muestra un visión exacta del funcionamiento del sistema.

La unidad de lectura comprende un microprocesador con memoria y reloj en tiempo real. Este sistema procesador tiene interfaces con la conexión de terminales, las pantallas y el proceso externo de datos. Supervisa y controla el módulo de alta frecuencia conectado. El oscilador de HF crea una señal de alta frecuencia no modulada que se amplifica posteriormente. Entre 2400 y 2500 MHz el transmisor trabaja con una potencia máxima de 0,5 W, una anchura de banda de transmisión de 250 kHz y una anchura de banda de recepción de 130 kHz. La frecuencia del transmisor se puede ajustar en incrementos de 1 MHz. De esta forma es posible colocar varias unidades de lectura sin interferencias recíprocas en áreas restringidas, como por ejemplo en un almacén de contenedores.

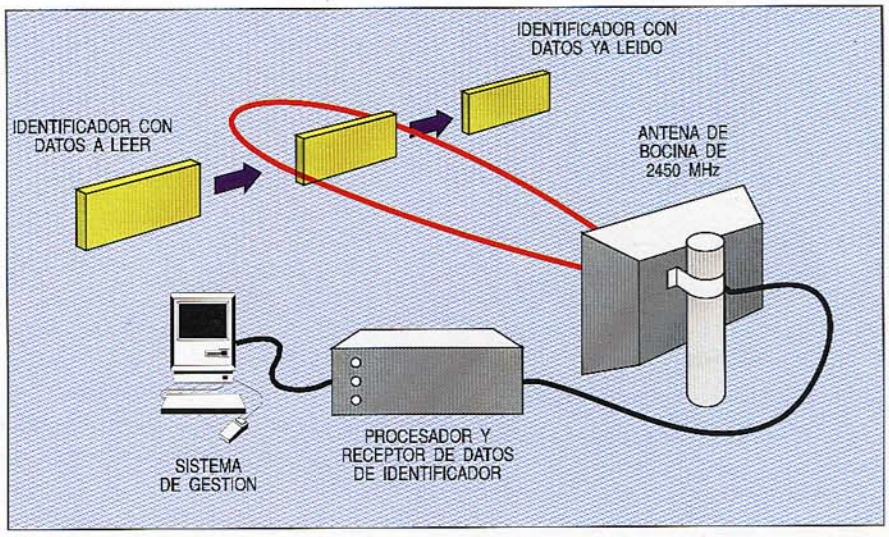
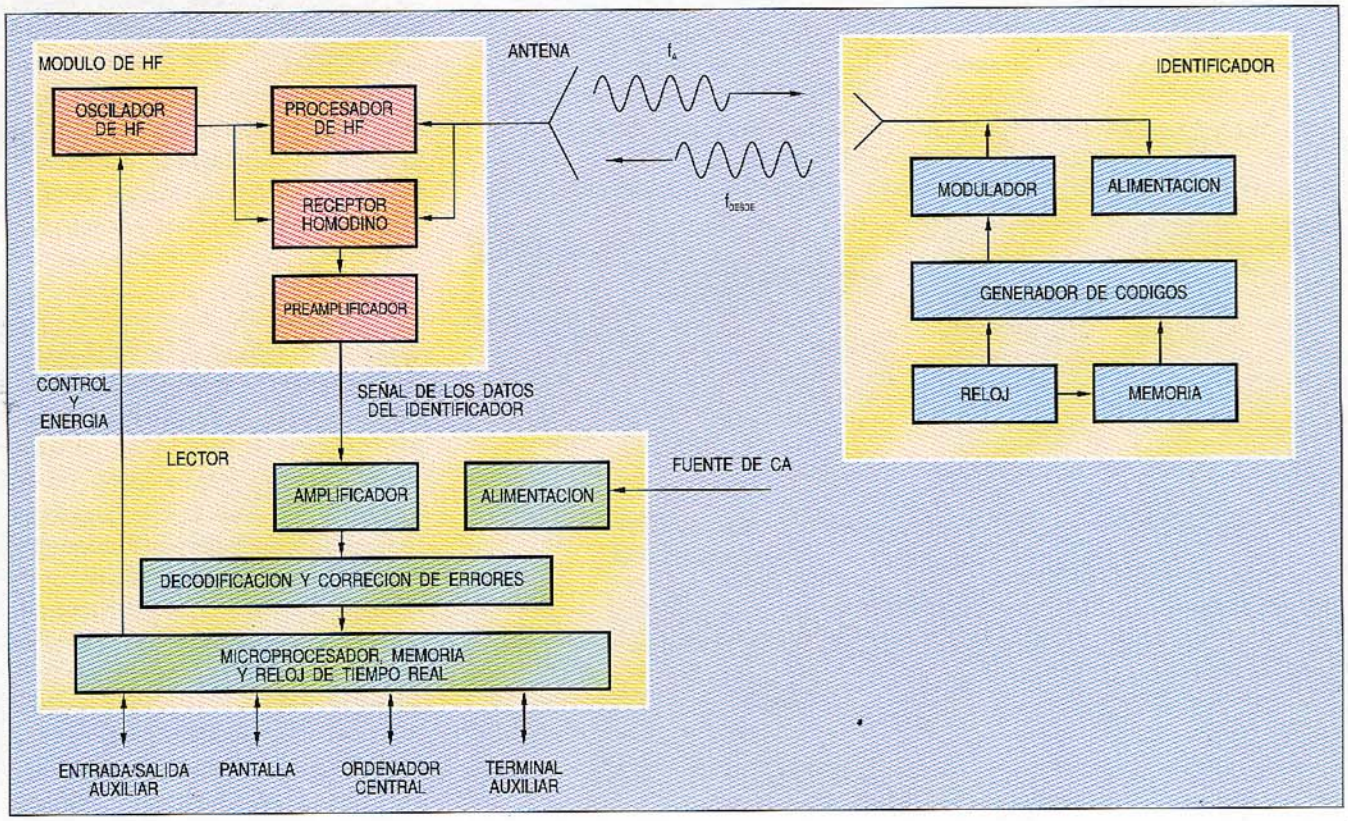


Figura 3 - Una señal de HF se transmite mediante un antena direccional para identificar los objetos que pasan

El sistema AEI

La señal de transmisión se emite mediante una antena con polarización horizontal ó vertical ó mediante una antena en hoja. Si la señal de HF no modulada que se transmite alcanza un radio identificador se modula con un

Figura 4 - Diagrama de bloques de un sistema AEI completo, izquierda - la instalación estática, derecha - el TAG



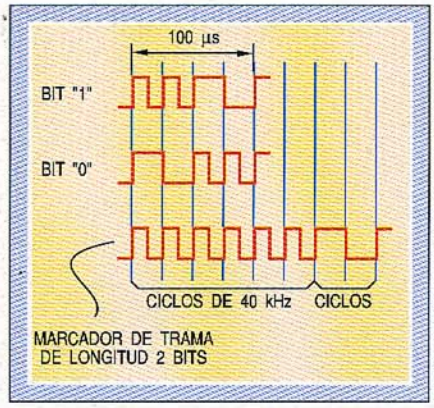


Figura 5 - La estructura de datos del telegrama

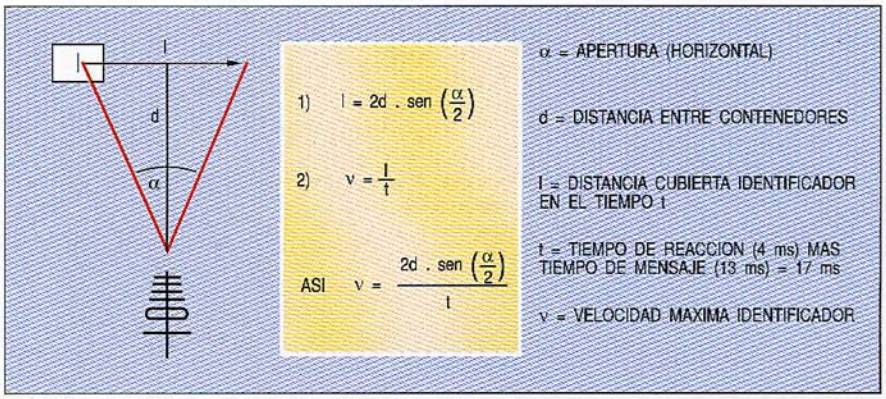


Figura 6 - La cobertura angular de la antena, la distancia al objeto medido y el período de interrogación permiten la determinación sin problemas de la velocidad máxima del objeto

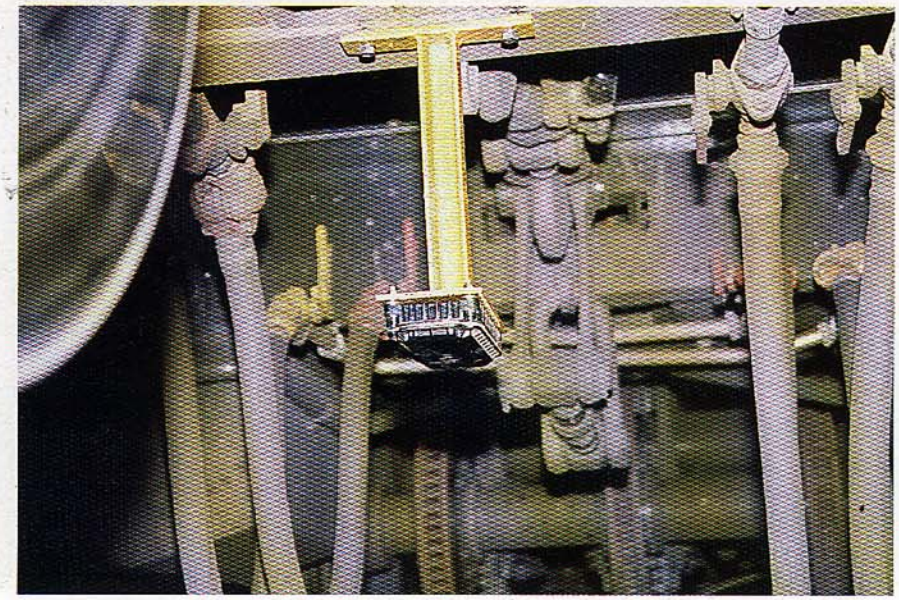
telegrama de datos en FSK (modulación por desplazamiento de frecuencia) y se devuelve a la antena direccional. La señal entrante se superpone sobre la señal no modulada en el módulo HF. El telegrama de datos demodulado pasa a un preamplificador. A continuación esta señal se transfiere a la unidad de lectura, donde se amplifica de nuevo. Entonces una unidad de decodificación de retorno convierte el telegrama en bits separados. Después de esto la señal de datos se verifica para detectar errores de transmisión mediante comprobación cruzada de redundancia y se envía con una velocidad de transmisión de hasta 9600 baudios al sistema de ordenador asociado para su posterior procesamiento.

El radio identificador contiene una memoria programable externamente de 128 bits, un generador de temporizaciones que funciona a 76,8 kHz, un generador de código y una etapa de modulación. Si el identificador pasa por un campo de HF con la señal sin modular, los datos de la memoria del identificador se leen directamente como un telegrama. El tren de datos se codifica y convierte en una señal rectangular modulada FSK (Figura 5). Un "1" lógico corresponde a una secuencia de frecuencias de dos ciclos de 40 kHz y un ciclo de 20 kHz. Un "0" lógico genera primero un ciclo de 20 kHz y después dos ciclos de 40 kHz.

Por consiguiente, cada bit del telegrama requiere un tiempo de transmisión de 100 µseg. La señal sin modular que llega al radio identificador se modula con el telegrama de datos FSK y se refleja hacia el origen. Este principio de modulación de la señal reflejada tiene la gran ventaja de no necesitar un transmisor en el radio identificador. Es, por tanto, un medio de datos pasivo que no transmite señales por si mismo, y requiere sólo energía para leer su memoria y para la modulación FSK.

La pregunta de si un radio identificador debe tener o no tener una fuente de alimentación depende del alcance necesario entre transmisor e identificador y de la potencia de transmisor disponible. Los identificadores con baterías generan la energía necesaria para la lectura de memoria y la modulación de una célula de litio, mientras que los identificadores sin baterías deben derivar su energía de la señal de HF entrante. El radio identificador reacciona a una señal de HF entrante en 4 mseg. Después se necesitan otros 13 mseg más para enviar el telegrama de datos completo de 128 bits más 2 bits de arranque. Así, en 17 mseg la unidad lectora puede registrar el paso de un contenedor y mandar la identificación al sistema de ordenadores. La velocidad máxima del vehículo con la que se puede registrar los datos del identificador, se calcula en base a este

Foto A - TAG (transpondedor) del AVI montado bajo un vagón de mercancías de la SNCF



tiempo, la distancia entre unidad de interrogación e identificador y la cobertura angular de la antena (Figura 6). El sistema ya se ha probado con éxito para velocidades superiores a 290 km/h. El sistema cumple con los estándares internacionales:

— ISO (International Standards Organisation)
— IATA (International Air Transport Association)
— ANSI (American National Standard Institute)
— DIN.

Sistema AVI

Este sistema se desarrolló especialmente para condiciones de operación ferroviaria difíciles y cumple los estándares aplicables en toda Europa por las autoridades ferroviarias, promulgados el UIC/ORE (Union internationale des chemins de fer / Office de recherches et d'essais). Existe también una variante para el transporte por carretera. El principio es similar al del AEI, pero el AVI tiene además las siguientes características:

— incremento de la velocidad de transmisión a 19 200 baudios
— el radio identificador (llamado transpondedor en el AVI) no sólo se puede escribir externamente con información fija, sino que tiene también una facilidad de lectura y de descriptor vía HF ó conexión por cable. Además se puede conectar con un sistema de a bordo, por ejemplo para registrar los efectos de las vibraciones, que se pueden leer por HF
— aumento en la capacidad de memoria del transpondedor, seleccionable hasta 32 x 128 bits
— reconocimiento de la dirección del trayecto.

El transpondedor se equipa con una antena y está diseñado especialmente para su instalación bajo un vagón ó una locomotora (Foto A).

En el sistema AVI el lector, el módulo HF, la fuente de alimentación y una antena triple se colocan en un caja para su instalación entre los rieles

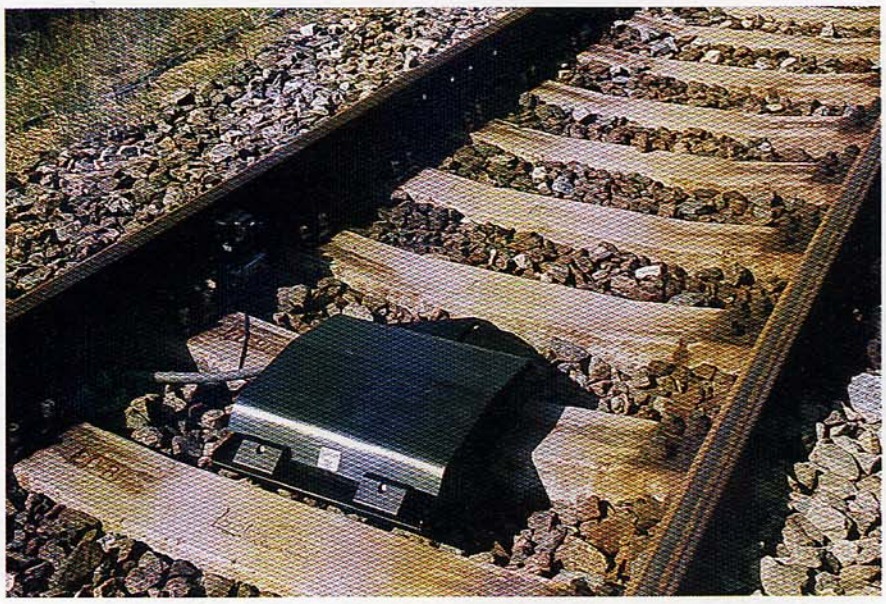


Foto B - Un interrogador del AVI, montado en vía muerta. Los vagones desconectados se detectan por un contador axial conectado al interrogador

(Foto B). Este sistema compacto se llama interrogador. Si los interrogadores están lejos del sistema de ordenadores, se pueden explorar hasta ocho integradores por medio de un concentrador, que transmite las señales hacia y desde los interrogadores con total transparencia.

Se podría añadir que los dos sistemas, el AEI y el AVI, son los únicos sistemas de identificación de HF aprobados oficialmente hasta ahora por las autoridades postales en la mayoría de los países europeos. También hay que mencionar que ambos sistemas trabajan de acuerdo al principio de radiación de HF más razonable, y menor posible, llamado ALARA (As Low As Reasonably Attainable), como demanda la Organización Mundial de la Salud. La energía de HF es de sólo la quincuagésima parte de la energía que irradia externamente un horno cerrado de microondas.

Foto C - Instalación de AEI en la entrada y salida de un almacén de carga

Foto D - Instalación de AEI al lado de la vía como parte del proyecto PSS

Introducción de AEI y AVI en el transporte de carga

El AEI y el AVI también se llaman sistemas "sensores de puerta", es decir las estaciones lectoras se instalan en puntos fijos. Se colocan en la entrada y salida de los almacenes de mercancías ó de las estaciones de manipulación de mercancías, así como en las vías de llegada y salida de las estaciones de trenes de contenedores y de mercancías (Fotos C y D). Por medio de este control de acceso automático se conoce en cualquier momento el nivel real de cargas y vehículos en un almacén operacional. Con esta facilidad, aún aplicada a un único almacén, se obtienen considerables ventajas, tales como:

— eliminación de la necesidad del registro diario de las unidades de carga
— eliminación de los errores originados por la entrada manual
— disponibilidad total del estado al presionar un botón
— posibilidad de una planificación de ruta más rápida y optimizada
— información avanzada disponible en cualquier momento sobre el estado real de las subsidiarias
— determinación automática de las unidades de carga "perdidas"
— registro automático del parque de vehículos
— optimización de la administración del parque de vehículos
— optimización de la circulación de los vehículos y unidades de carga.

Es evidente que todos estos puntos no sólo ayudan a mejorar la calidad y a optimizar los costes, sino que también, a causa de la mejor y más rápidamente disponible información, a aumentar el servicio del cliente, lo que a su vez resulta en una ventaja competitiva. Las anteriores ventajas son, naturalmente, sólo válidas para una cadena de transporte completa en una red de proceso de datos con total intercambio de información y datos entre todos los participantes. En este aspecto los ferrocarriles como transportistas tienen un considerable déficit. La instalación del AVI y la integración del sistema ó red principal de proceso de datos puede llevar a un aumento considerable de la calidad del rendimiento del servicio.

La imagen de los ferrocarriles como empresa de servicios en el ramo del transporte se mejoraría y la aceptación del *ferrocarril* como transportista de mercancías crecería de esta forma. La introducción del AEI y del AVI es concebible no sólo para la transmisión automática de los datos de tacógrafo sino también para los registros de datos de reabastecimiento de combustible, la supervisión de la carga ó las tareas de supervisión en los ferrocarriles.

Conclusiones

La gestión de flotillas es un conjunto funcional adicional, en el que la identificación automática juega un papel importante y por lo que una red de proceso de datos es absolutamente necesaria. Con un sistema de información en toda Europa para todo tráfico de mercancías, como un centro de información para capacidad de carga libre, identificación de mercancías, localización de cargas y disposición de los medios de transporte, etc., el sistema de gestión de flotillas así formado estaría en disposición de usar los recursos de carreteras y ferrocarriles óptimamente siguiendo el eslogán: **!Movilidad segura - Salvaguarda del medio ambiente!**

Roland Berger nació en 1943. Después de estudiar Matemáticas en la UT de Karlsruhe trabajó como asistente a la investigación científica en la misma universidad. Después estudió Física en la UT Karlsruhe. Se incorporó en SEL en 1979 después de haber trabajado como encargado de curso en el Karlsruhe Polytechnic. Aquí, entre otras tareas, ha dirigido en el diseño de sistemas para el importante proyecto "Singapore Airport building control systems" - y como jefe de proyecto para el sistema de supervisión de retransmisores de radio del Deutsche Bundepost en Stuttgart, y para sistemas de transmisión de Estados Unidos (USTS), EE.UU. Además ha sido responsable de nuevos componentes software en técnicas de ferrocarril, particularmente para el RZü. Desde Octubre de 1991 el Sr. Berger es jefe de producto de los sistemas de identificación de vehículos.

Alfred Ziehensack nació en Viena en 1944. En 1968 se graduó en Ingeniería Industrial (planificación operacional) en la Universidad Técnica de Viena. En 1971 ingresó en Alcatel Austria como asistente al jefe operacional de señalización de ferrocarril y llegó a jefe de producto de este departamento en 1975. Hoy el Sr. Ziehensack es jefe del mercado internacional para la automatización del transporte en Alcatel Austria Transport.

Cuarenta años de sistemas de aterrizaje por instrumentos

Chr. Pfuhl, G. Greving, G. Mandelka
Alcatel SEL, Stuttgart, Alemania

No obstante haber pasado cuarenta años desde que se normalizó el sistema de aterrizaje por instrumentos ILS (Instrumental Landing System), las nuevas ideas y su rápida implantación continúan afirmando su posición de superioridad técnica en el campo de las ayudas de tierra a la navegación soportadas por radio.

Introducción

Los primeros sistemas de aterrizaje que se apoyaron en ILS se instalaron en Berlín en 1937 en el aeropuerto de Tempelhof por "Die alte Tante Ju" (Junkers JU 52).

A partir de su normalización en el mundo por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) en 1952, son miles los aterrizajes (la fase más crítica de un vuelo) que se realizan diariamente de forma segura mediante el uso de sistemas automáticos controlados por ILS. Las aplicaciones operacionales del ILS se han visto ampliadas por el progresivo desarrollo del sistema: desde el apoyo al aterrizaje en condiciones de visibilidad adversas hasta la utilización de sensores integrados para FMS (sistema de gestión de vuelos), con el fin de efectuar aterrizajes completamente automáticos.

Los estrictos requisitos resultantes en términos de integridad y disponibilidad se han cumplido con éxito en la concepción del SISTEMA 4000, utilizando la generación y supervisión de señales controladas por software - un enfoque tecnológico totalmente nuevo.

El hecho de que aún se puedan incorporar ideas innovadoras tras 40 años basados en los mismos principios tecnológicos viene a demostrar: la eficacia de la FFT (transformada rápida de Fourier) en los sistemas de supervisión, las mejoras continuas en la estructura de la senda mediante los procedimientos de zona despejada "fuera de fase" que se describen a continuación, y el desarrollo de un balizamiento de localización de senda de precisión.

Los siguientes aspectos demuestran que el sistema también tiene sus limitaciones:

— la necesidad de selección aleatoria de perfiles de vuelo a fin de dotar al sistema de las capacidades operacionales de vuelo exigibles en los modernos equipos de a bordo
— la necesidad de utilización en terrenos topográficamente difíciles
— la necesidad de ampliar la disponibilidad de frecuencias de canal, y poder conmutar a frecuencias más altas.

Estos requisitos serán satisfechos en un futuro mediante el sistema de aterrizaje por microondas (MLS) como un añadido del ILS.

El ILS SISTEMA 4000

A partir del sistema de aterrizaje USW de Lorenz desarrollado en Alcatel SEL y posteriormente por los americanos, que establecieron la identificación mediante modulación en amplitud de 90 ó 150 Hz en lugar de conmutar entre dos secuencias de haces de propagación, la OACI decidió en 1952 normalizar el sistema instrumental de aterrizaje ILS a través del Anexo 10 de la Convención de Aviación Civil Internacional. Las secuencias de los haces de propagación se transmiten vía una radiobaliza de localización VHF y otra de senda de planeo en UHF que indican la desviación sobre la senda ideal enfatizando la modulación de un tono. La diferencia de tono (DDM) de las dos audiofrecuencias indica la divergencia de la senda de planeo en el marco de una posible aproximación.

Mediante el desarrollo del SISTEMA 4000 (la primera generación a escala universal de ayudas a la navegación por radio), que ahora tiene ya más de una década, Alcatel SEL tiene ya al alcance un nuevo objetivo. Los niveles de precisión requeridos por las señales de navegación, así como de su estabilidad, y en especial para aterrizaje instrumental, se obtienen mediante generación digital de señales de modulación senoidales, y a través de la regulación por medio de ordenadores de estas señales de alta frecuencia (Figura 1). Además, las señales de modulación en audio escritas digitalmente en memorias de solo lectura (ROM) son convertidas en analógicas y utilizadas como señales nominales de la curva envolvente de modulación. Tanto la envolvente de la curva como la fase de alta frecuencia se generan constantemente a partir del producto de señales de transmisión desacopladas y de las señales de referencia combinadas, producido por el transmisor de control, y que luego es convertido en digital. Los valores actualizados de corrección se calculan a partir de la lectura de datos reales, de los valores nominales que están guardados en el ordenador del sistema, y de los antiguos valores de corrección

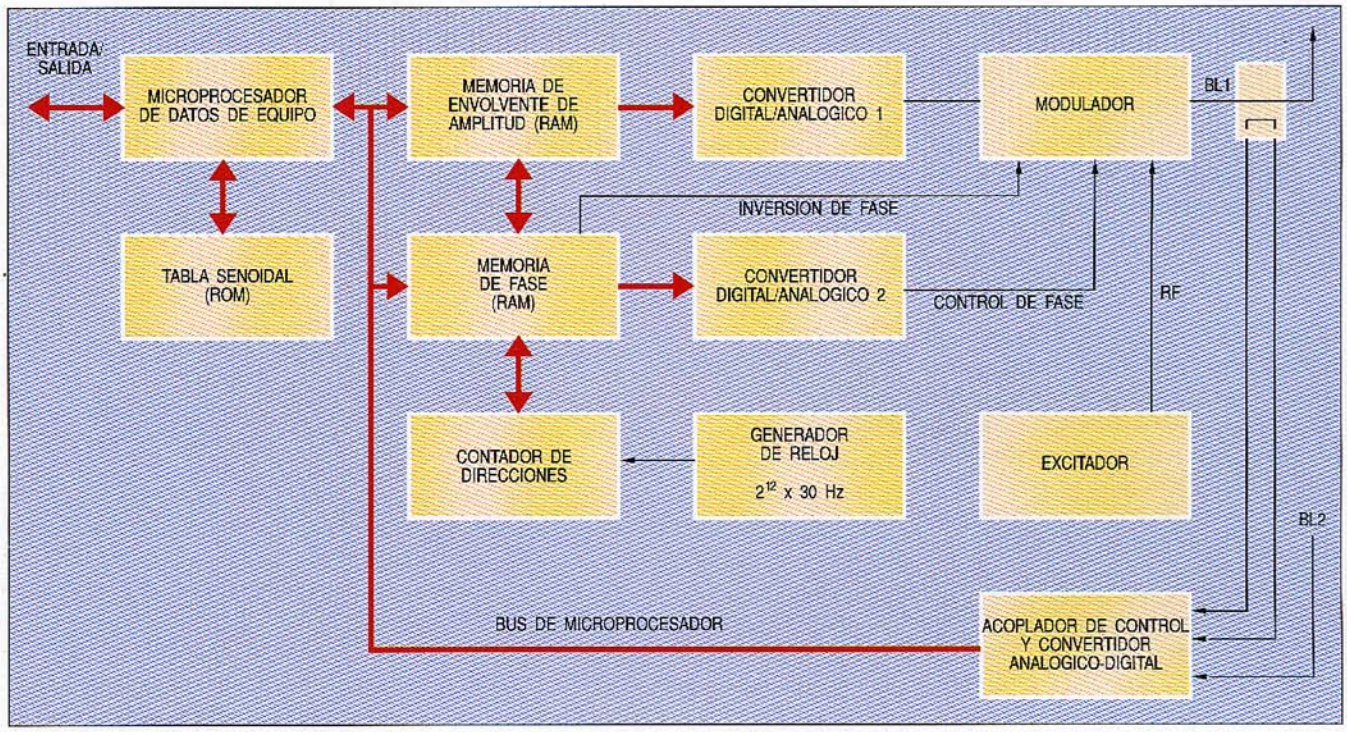
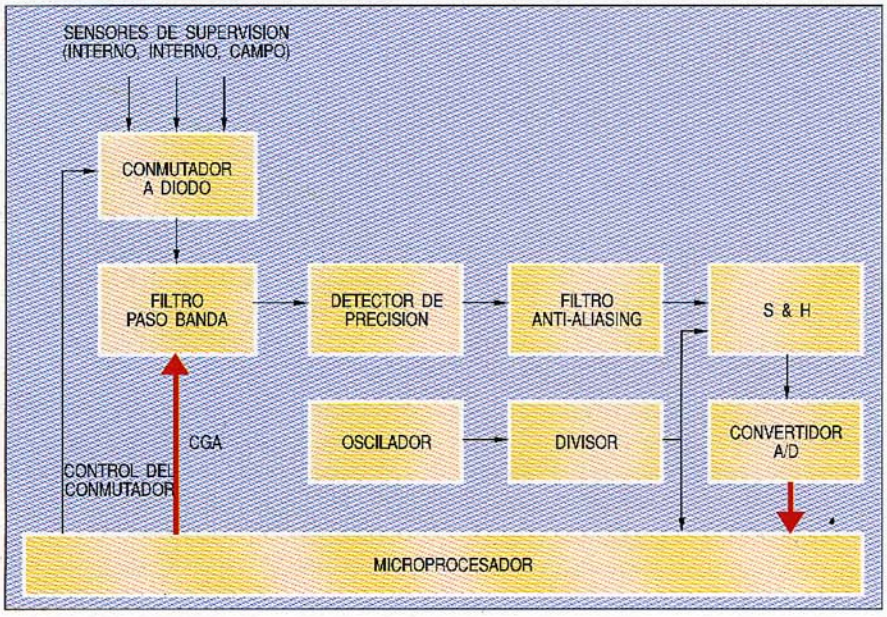


Figura 1 - Concepto de la generación y regulación digital de las señales de banda lateral

de las señales periódicas de bandas laterales. Dado que las señales portadoras vienen moduladas con la voz y con la identificación de la estación, la distorsión de la portadora se debe estabilizar mediante una realimentación analógica sobre el modulador. Los niveles de modulación para las señales de 90 y 150 Hz se ajustan de forma independiente, fijándose la identificación y la modulación de voz a través del bus de datos del ordenador del sistema [1]. Al adoptar esto, el SISTEMA 4000 alcanza un estabilidad de los niveles de amplitud de portadora y banda lateral y de modulación excelentes, al tiempo que presenta unas características de estabilidad en lo referente a fase y frecuencia que permanecen hoy día aún por superar.

El elevado nivel de los requisitos de seguridad de los sistemas de aterrizaje por instrumentos (Figura 2) exige que se detecten de forma rápida y fiable las variaciones en las señales en los vanos de los radioenlaces. Las señales de navegación, recibidas a través de varios sensores de supervisión, y pasadas por un filtro paso banda, se conmutan cíclicamente a un demodulador de precisión. La envolvente de la curva de demodulación se fragmenta durante un período de 30 Hz en una secuencia datos digitales de 32 bits, que el procesador descompone en sus componentes de señales individuales mediante la transformada discreta de Fourier (DFT). Estos parámetros se comparan con otros guardados en la memoria relativos a los límites de activación de alarmas y, cuando es necesario, se activa una alarma, o encendiendo el transmisor de repuesto o apagando el sistema en un segundo. El diálogo constante que se mantiene mediante el intercambio de datos entre los dos orde-

Figura 2 - Concepto del sistema de supervisión del ILS



nadores del sistema permite identificar los errores y desconectar el sistema defectuoso. Si los dos monitores resultaran defectuosos, un sencillo circuito provisto en los equipos apaga la instalación [2]. La evaluación digital de las señales de radio evita la necesidad de alineaciones críticas de los circuitos analógicos. La calidad y la estabilidad a largo plazo de este sistema de supervisión están bien contrastadas. Los costes de operación pudieron reducirse drásticamente por el alto nivel de fiabilidad del SISTEMA 4000, así como por su capacidad para poder realizar pruebas sin necesidad de instrumentación adicional.

Dado que los parámetros más importantes de señal y de supervisión se pueden modificar a través del bus de datos del ordenador, y puesto que las tensiones de control de prueba y señales discretas en el multiplexor se miden y transmiten también en forma de datos ya digitalizados, se ha podido utilizar un ordenador independiente para actuar como interfaz entre el personal de operación y el transmisor de reserva. Este ordenador independiente dispone un panel de control y presentación que está diseñado de forma ergonómica y orientado a la aplicación, lo que proporciona la comunicación con los dos ordenadores de sistema vía cuatro interfaces serie (RS 232) y un enlace a un dispositivo de control y a un terminal de datos remotos. Los complejos sistemas de control central y local incorporan facilidades de diagnóstico y pruebas remotas que permiten la localización de los fallos del sistema y de las unidades defectuosas.

Si bien el balizamiento de la senda de planeo utilizado por el control de altura y ángulo de descenso está muy influenciado por consideraciones de tipo físico, las altas prestaciones operacionales del balizamiento de localización de SEL para control del azimut y de la desviación horizontal sobre la senda de planeo se obtienen gracias a la introducción de una serie de innovaciones. Los requisitos definidos por Alcatel SEL para el actual sistema de balizamiento de altas prestaciones CATIII en funcionamiento en los aeropuertos internacionales más importantes son:

— aperturas de balizamiento medias y grandes, a fin de conseguir la necesaria adaptación de los haces (p. ej., menores anchuras de haz)
— balizamientos con frecuencias gemelas con subsistemas de trayectoria y de zona despejada (libre de obstáculos), a efecto de evitar señales de trayectorias peligrosas o erróneas, más allá incluso del área de cobertura OACI de ± 35°
— gran supresión de los niveles de los lóbulos laterales no deseados en el sistema de vuelo (> 26 dB a 30 dB)
— gran "relación de captura", superior a 18 dB sobre el eje central
— alto desacoplo inherente entre los dos transmisores para evitar problemas en el espectro HF
— máximo nivel de fiabilidad para aplicaciones de vuelos CATIII sin visibilidad
— alto nivel de supresión de interferencias de las señales transmitidas con respecto a interferencia ambiental
— cumplimiento de todas las especificaciones internacionales relativas al ILS, como las de linealidad DDM, estabilidad de trayectoria, etc.

Todos estos objetivos han sido alcanzados:

— utilizando componentes dipolares eléctricos de transmisión y reflectores pasivos de alta duración
— separando los balizamientos de trayectoria óptima y de zona despejada
— empleando materiales y tecnologías adecuadas
— manteniendo bajo control tolerancias estrechas y ajustes de sintonía del sistema para las redes de distribución y supervisión.

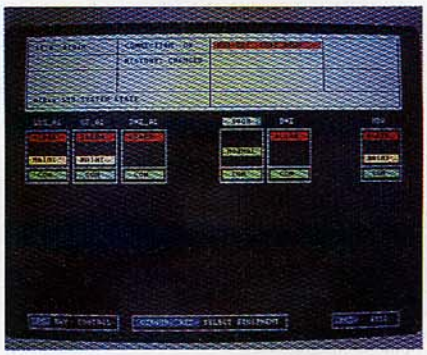


Foto A - Menú de pantalla alfanumérica del ADRACS para entrada y salida de parámetros del ILS (en entorno MS Windows)

Una de las futuras características avanzadas del diseño del balizamiento de localización de Alcatel SEL es su capacidad para su puesta a punto e integración con el balizamiento de azimut del sistema de aterrizaje por microondas MLS. El núcleo del balizamiento de localización, de unas prestaciones extraordinarias, consiste en 20 dipolos para el sistema de senda de vuelo y cinco dipolos en V separados para el sistema de zona libre de obstáculos que disponen de una antena de azimut MLS integrada.

Necesidad de interfaces de usuario modernos y de fácil manejo

La unidad de control local KDI (teclado y pantalla) del sistema de radio navegación, que está también integrada en el sistema central de control y supervisión remotos (RCMS), simplifica su manejo, y por vez primera, permite un ajuste completo, análisis de fallos y mantenimiento de los subsistemas individuales, incluso mediante control remoto.

Los sistemas de navegación, que hasta ahora se comprobaban dentro de rutinas de mantenimiento mensuales o incluso trimestrales, pueden mantenerse a partir de ahora desde un punto central, por medio de métodos nuevos de control remoto. Así mientras, en el pasado, los sistemas remotos de supervisión sólo daban una indicación del estado de funcionamiento del sistema, en la

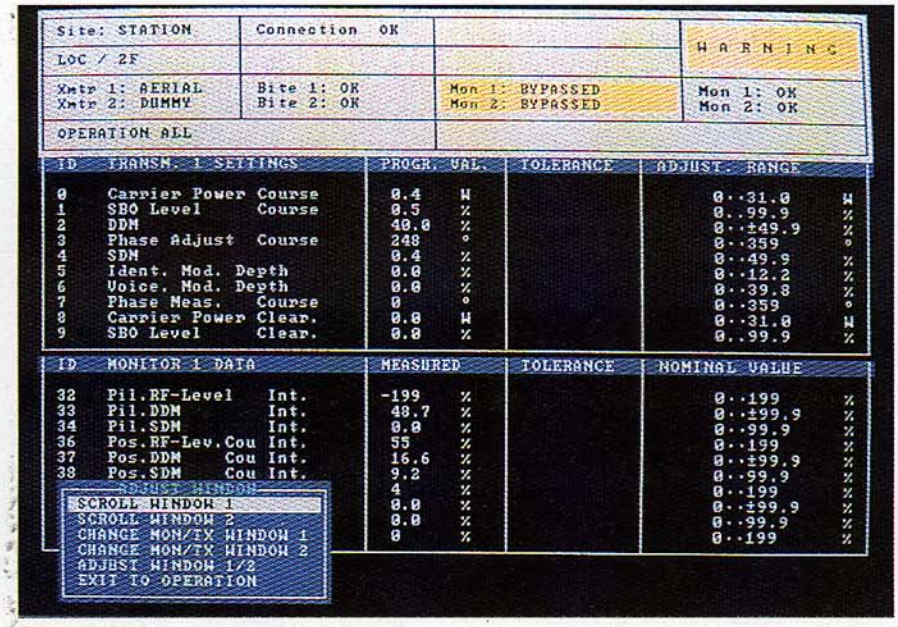
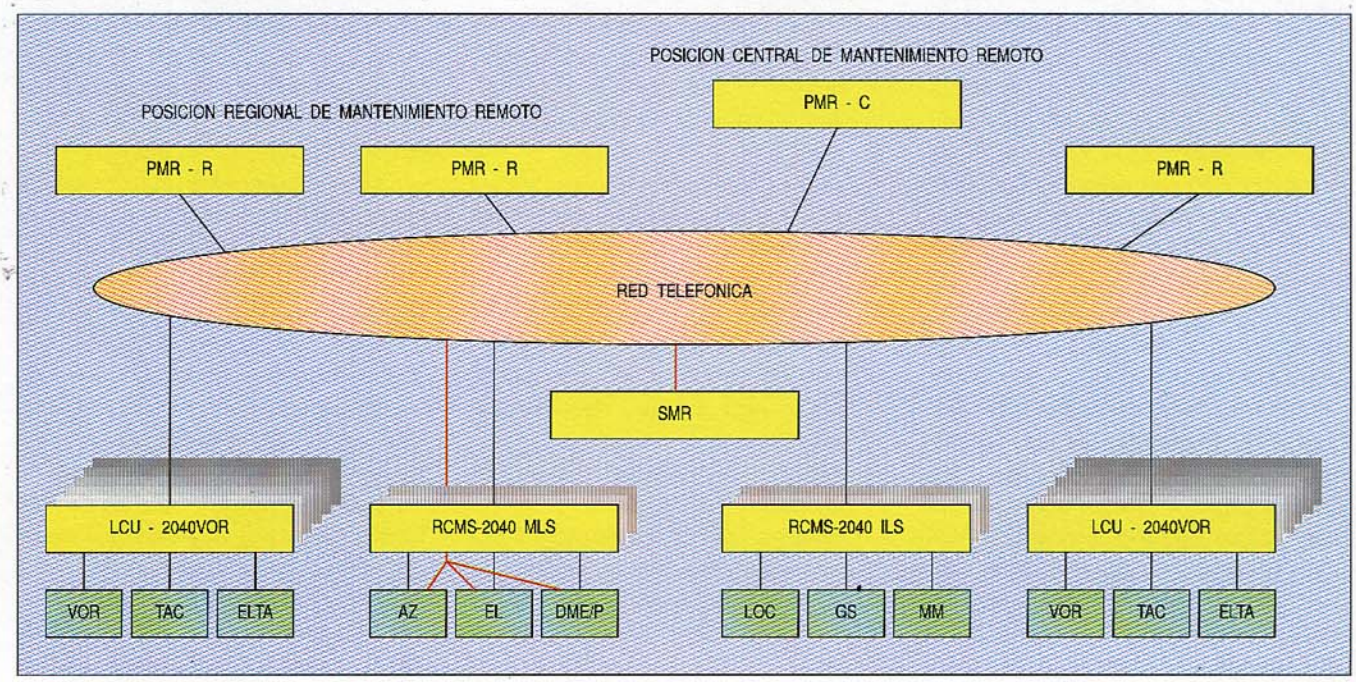


Foto B - Menú de pantalla alfanumérica de presentación del estado de todos los subsistemas ILS (en entorno MS Windows)

actualidad los sistemas se supervisan de forma continua, hasta un cierto punto, en algunos de sus aspectos técnicos. La ingente cantidad de datos disponibles que pueden ser explorados o vertidos en el sistema, así como sus posibles efectos sobre las condiciones de funcionamiento, requieren que estos sean evaluados e interpretados. A causa de esto, se genera una gran cantidad de información a partir de un sencillo registro funcional. Ello lleva a un procesado adicional de estos datos, y esta nueva necesidad se realiza de forma satisfactoria mediante un producto adaptado para esta necesidad, que consiste en la instalación de un sistema de registro y control automático de datos (ADRACS) sobre un ordenador personal normal, conectado a través de un puerto serie del terminal al ordenador de interfaz, que ofrece multitud de nuevas y eficientes funciones, y permite operar y mantener el sistema de una forma sencilla.

Las tareas de interrogar o introducir datos mediante ventanas de diálogo resultan mas sencillas y rápidas. En el pasado, los comandos individuales tenían que seleccionarse mediante una combinación de hasta ocho teclas KDI y a continuación se introducían. Ahora, los comandos pueden ser seleccionados a partir de una lista completa de comandos o bien desde una lista específica creada por el usuario para una tarea específica. El diálogo, con dos menús de pantalla programables (Foto A), no solo acelera la introducción de datos sino que también maximiza la posible velocidad de transferencia. La introducción de todos los parámetros de sistema en los transmisores y monitores de un

Figura 3 - Arquitectura del sistema de supervisión y mantenimiento remotos RMMS 2040



subsistema ILS de reserva (transmisor de balizamiento de localización, monitor remoto del transmisor de la senda de planeo) se reduce desde cerca de media hora hasta pocos minutos cuando estos datos se introducen manualmente, o incluso pocos segundos cuando estos datos se guardan en un ordenador personal y se recuperan de forma automática. En la cabecera de la pantalla del menú se muestra el estado del sistema junto a la fecha y hora, la indicación del sistema que se está presentando y el menú seleccionado. En la parte inferior de la pantalla se muestran las teclas de función activas con su descripciones. Cuando a una entrada le corresponden varias opciones, la selección se efectúa mediante un menú desplegable, que lista las posibles alternativas.

En adición a esta forma interactiva de operar el sistema, el menú de operación permite la impresión del juego completo de datos, o del conjunto de datos obtenidos en un lapso de tiempo, o también grabar los datos en un fichero de salida. Otras posibilidades son la interrogación permanente de datos seleccionados a intervalos de tiempo programados, o la extracción de datos en caso de producirse una alarma. Un editor integrado permite procesar, copiar o borrar los fichero de salida.

La operación directa del sistema permite el encendido y apagado del sistema, cambiar al transmisor de reserva o pasar al modo de comprobación.

Dado que el programa de operación interactivo ADRACS no está restringido a funciones a realizar directamente dentro del sistema, sino que puede ser activado vía el sistema de control remoto, el programa va dotado de un dispositivo de protección de acceso mediante palabras clave en pasos múltiples que identifican y autorizan al usuario. Los sucesivos intentos de acceder al sistema irán produciendo tiempos de denegación cada vez más largos para el interfaz del sistema que trata de usarse.

El equipo de medida de distancias (DME) de Alcatel FACE, cuyo programa de operaciones viene soportado por un ordenador propio temporizado por el SISTEMA 4000, puede ser remotamente llamado, operado enteramente y mantenido (Foto B). El control se realiza mediante un ratón cuyo cursor se desplaza por las pantallas de presentación de estados de todos los subsistemas listados en el menú de pantalla, en función de la configuración del sistema, similar a un sistema que utilice el ADRACS.

Funciones adicionales permiten procesar la historia del sistema, que señala y guarda en memoria todos los cambios de estado con su fecha y hora, actualiza los relojes y los parámetros del ADRACS (velocidades de transmisión, formatos de impresión, protocolos de comunicaciones, temporizaciones, etc.).

ADRACS está programado en Turbo Pascal, y su tamaño es de aproximadamente 300 Kbytes. Es capaz de reconocer las estaciones en servicio y cargar automáticamente el conjunto de parámetros adecuado. Puede funcionar en un ordenador personal portátil o de sobremesa, con pantallas monocromas EGA ó VGA y puede ser instalado sobre MS-Windows.

Los interfaces de usuario modernos que incorporan múltiples funciones de ayuda y alta velocidad de transmisión reducen considerablemente el tiempo de instalación y puesta a punto de los sistemas de navegación y simplifican el análisis de fallos y la localización de los módulos defectuosos.

Redes de mantenimiento - el punto central de las nuevas estrategias de mantenimiento

El incremento de la digitalización de todos los sistemas de control de tráfico aéreo conduce lógicamente hacia un sistema común de telecontrol, en lugar de sistemas remotos controlados por microprocesador, de diseño mas bien similar, y suministrados por diversos fabricantes. Además, los diferentes tipos de sistemas debían ser integrados en una red de mantenimiento común. El progreso en este campo ha sido continuo. La normalización de los cada vez más complejos protocolos de comunicaciones y procedimientos se realizar a nivel nacional. Ello implica que los fabricantes tienen que crear un interfaz de sistema flexible y abierto, con capacidad para convertir los protocolos internos del sistema y el proceso de transmisión de datos de forma que cumplan los requisitos exigidos por

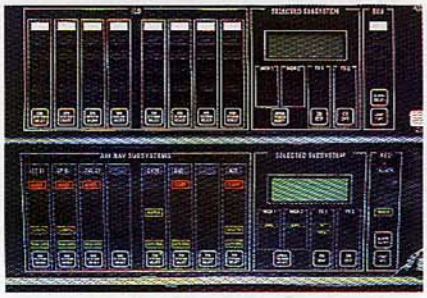


Foto C - Presentación remota del control y estado de una RCSU 2040

los clientes. Esto implica el desarrollo de unos conceptos de equipamiento flexibles que puedan adaptarse sin gran esfuerzo a los rápidos progresos en tecnología de ordenadores y en técnicas de transmisión, así como a las normativas nacionales de comunicaciones.

Alcatel SEL ha conseguido este objetivo desarrollando un sistema de mantenimiento y supervisión remotas (RMMS), indicado para cualquier sistema de navegación (Figura 3). Diseñado para el futuro sistema de aterrizaje por microondas MLS, el RMMS está hoy día disponible para los sistemas de navegación actuales, incluyendo el SISTEMA 4000.

La unidad electrónica básica de control remoto REU está compuesta por un procesador disponible comercialmente con su controlador, un disco de silicio (EPROM-RAM flexible), una placa de bus ISA, varias placas de interfaz serie y para-

lelo, una unidad de modem que puede integrar varios modem de línea y de discado dedicados dentro de una placa terminada mediante un conector CEPT de 96 terminales, y una fuente de alimentación que puede trabajar a partir de tensión de red o como convertidor dc.

En los sistemas de navegación de largo alcance va instalado en una unidad de comunicación local (LCU). Junto a los principales dispositivos de presentación del estado y controles de operación montados sobre un panel frontal, puede actuar como unidad de control remoto y de estados (RCSU) autocontenida en los sistemas de localización (Foto C), cuando se desconecta de un sistema de ordenador personal. Como centro remoto de mantenimiento (RMC), puede realizar evaluaciones sobre todos los sistemas de navegación en servicio y permite realizar las tareas de operación y mantenimiento de forma individual sobre cada uno de los sistemas. Cada aplicación viene determinada por una combinación de equipado, programas de aplicación, y un fichero de configuración.

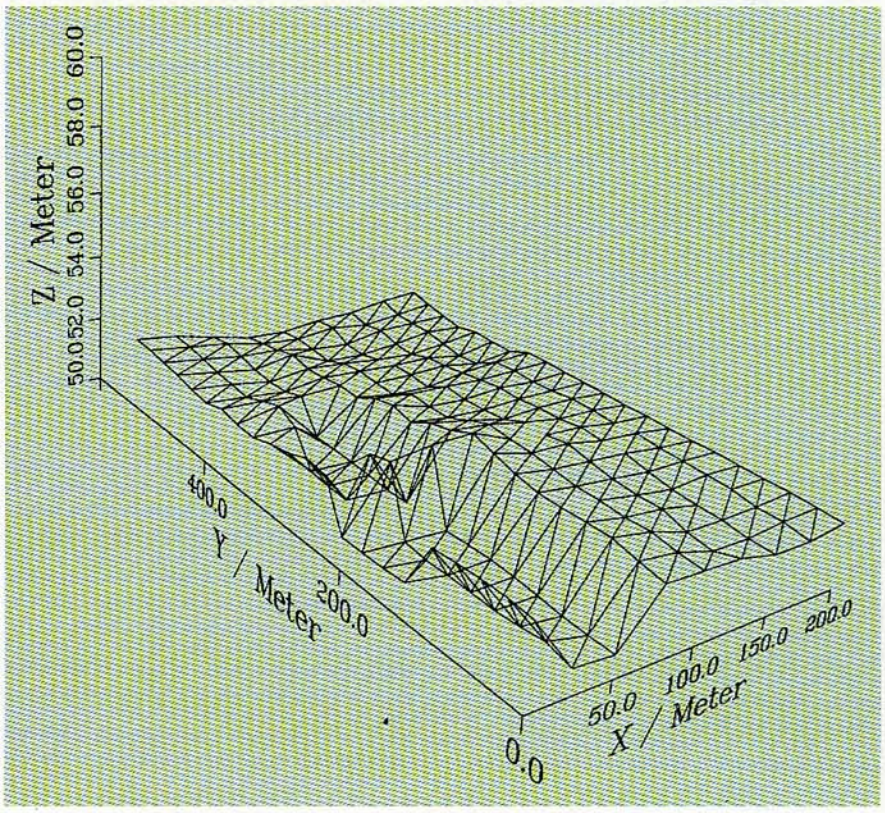
La unidad central está manejada por un sistema operativo MS-DOS. Las diversas aplicaciones están programadas en lenguaje ADA normalizado. El sistema tiene acceso a una librería de programas almacenados de manejo de los interfaces serie, incluyendo los protocolos de marcación automática (V.25bis).

La unidad central se encarga de las funciones normalizadas de organización y realización de las comunicaciones de datos. Las funciones periféricas incluyen las de seleccionar los parámetros de los interfaces para las funciones de inicialización, actualización de trayectos de comunicaciones, y la verificación continua de los datos mediante el cálculo de paridad. Las funciones principales de comunicaciones se llaman de forma periódica para obtener todos los datos de estado, conmutando entre los paneles de operación y de presentación o terminales de datos utilizando el sistema de navegación seleccionado, actualizar la memoria histórica, y transmitir el estado y los datos históricos y de servicio a un RMC. A ello se puede añadir la verificación de la fiabilidad y la autorización de comunicaciones. La dirección de aproximación se puede seleccionar como una función específica del ILS, y su dirección opuesta bloqueada a fin de permitir la cesión funcional del ILS a la torre de control, y también para controlar la prioridad de la operación mediante el personal de mantenimiento (PC), personal de operación (RCSU) o torre de control (CTU). Además, en caso de fallar una balizamiento de localización, los restantes subsistemas serán apagados de forma automática.

El ADRACS presenta todas sus funciones de operación, supervisión y mantenimiento en color. El control de la operación se hace a través de ventanas y usando las teclas de función o el ratón. El empleo de las normativa de ordenadores personales y de sus sistemas operativos garantiza el que los usuarios estén familiarizados con el entorno funcional.

El equipo de control remoto permite, de forma opcional, manejar todos los sistemas de navegación en servicio desde posiciones centralizadas. Esto permite efectuar el control manual de los dos sistemas bajo condiciones normales, y pasar a modo automático en caso de fallo, mediante la comprobación y selección de todos los parámetros de las señales, y entregando un análisis detallado basado en un completo conjunto de datos de prueba. De esta forma, es posible pensar en nuevas estrategias de mantenimiento, caracterizadas por una logística global y por un nuevo perfil del personal de mantenimiento, a la vez que se utilizarán rutinas de mantenimiento de localización de fallos en lugar de procedimientos periódicos de mantenimiento preventivo. De esta forma se simplifican las tareas de

Figura 4 - Modelo tridimensional típico digitalizado del balizamiento de senda de planeo (Colonia, Hanover)



mantenimiento y se mejora la eficiencia de los sistemas a lo largo de su vida útil.

La utilización sistemática de la tecnología de ordenadores personales permite que el precio del sistema quede comprendido en la gama baja de las redes informáticas y sistemas de telecontrol. El RMMS 2040 representa un sistema de telecontrol completo e independiente. También puede ser utilizado como puerto hacia otros sistemas de procesado de datos mas potentes, gracias a la adopción de comunicaciones normalizadas y mediante la utilización de protocolos de datos específicos de cada cliente.

Análisis tridimensional asistido por ordenador, instalación y optimización del balizamiento ILS

Las características del haz transmitido desde un balizamiento de localización no se ven apenas afectadas por potenciales eléctricos ni influenciados por el terreno del área cubierta por el haz, así como tampoco las afecta una topografía normal. No obstante, el diagrama de propagación del balizamiento de la senda de planeo, necesario para el guiado de la elevación, depende de la topografía ambiental (tipo de antena imagen). Por ello la topografía tridimensional tiene una gran repercusión sobre el comportamiento de la antena transmisora del haz, y por tanto sobre la instalación y optimización del balizamiento de la senda de planeo. Hasta ahora, los datos geométricos tridimensionales para posicionamiento de los transmisores del haz y la selección de sus amplitudes y fases eléctricas se venían determinando mediante un proceso de ajustes sucesivos, lo que implicaba unas pruebas in situ muy costosas, ya que ello requería que el avión realizara varias aproximaciones durante la instalación del sistema, así como un ajuste heurístico de las antenas.

La instalación convencional del balizamiento de la senda de planeo implicaba:

— una revisión sobre el terreno que incluía la toma de datos, principalmente con fines de evaluación cualitativa
— el decidir sobre el tipo de antena
— la determinación teórica de la posición y de la geometría de las antenas de balizamiento basándose en fórmulas aproximadas
— la construcción mecánica y eléctrica de la antena en el lugar de la instalación
— la realización de comprobaciones parciales a partir de datos de campo obtenidos durante la instalación
— los ajustes repetitivos para optimización del sistema y pruebas durante maniobras de aproximación previas a la aceptación del sistema.

La función y el objetivo del innovador programa de simulación aritmética desarrollado por Alcatel SEL era la de incorporar la topografía tridimensional dentro del programa de análisis y optimización, que permite de antemano la optimización teórica mediante ordenador de la posición, geometría y parámetros eléctricos [3]. Así, las costosísimas pruebas a ser llevadas realizando aproximaciones reales quedan restringidas a unos pocos vuelos al final de la instalación para pruebas de aceptación. Esto produce un gran ahorro para el cliente, a la vez que otorga a SEL un liderazgo en el mercado al permitir realizar una evaluación anticipada de las características funcionales del sistema. Cualquier otro ajuste de los parámetros del balizamiento en aeropuertos en los que la topografía presenta problemas, especialmente cuando se quieren conseguir condiciones de CATIII, puede ser realizado con ayuda del ordenador sin necesidad de seguir un proceso de ajustes sucesivos.

Los programas de simulación disponibles hasta ahora, a veces procedentes de casas comerciales, tratan los problemas de balizamiento y propagación de ondas empleando métodos de aproximación bidimensionales muy simples, o a veces en una versión actualizada y mejorada. No obstante, estos programas son poco útiles cuando se trata de aeropuertos donde la topografía es problemática.

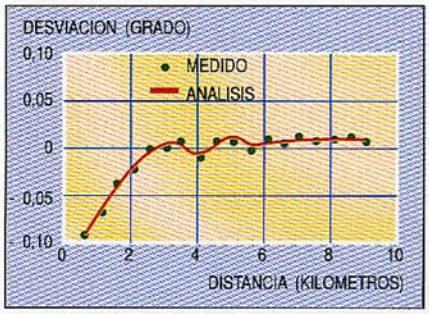


Figura 5 - Comparación de los resultados del análisis y optimización aritmética, con lecturas de datos realizadas sobre el balizamiento de senda de planeo en el aeropuerto de Colonia

La teoría empleada por este programa de ordenador se basa en posteriores desarrollos de la teoría de la difracción geométrica/teoría de la difracción geométrica uniforme (GTD/UTD). La topografía se modela asintóticamente mediante planos de nivel, pieza a pieza (Figura 4). Inicialmente, la teoría GTD/UTD fue desarrollada para tener en cuenta la difracción tridimensional sobre bordes y relieves utilizando parámetros básicos diferentes. Ambos efectos de difracción se simulan de forma realista sobre un modelo tridimensional del terreno. En los cálculos se pueden incluir edificios. El programa tiene en cuenta los haces heterodinos, directos, reflejados y difractados, así como los términos mixtos hasta de tercer orden, correspondientes al proceso físico de la propagación de ondas de radio.

Dentro de una nueva serie de acciones tendentes a construir un balizamiento ILS de senda de planeo, se ha puesto énfasis en el registro preciso sobre el terreno de datos cuantitativos utilizando mapas (p. ej., escala 1:1000) o tomando lecturas específicas de altura usando teodolitos. Los resultados de esta optimización asistida por ordenador

Foto D - Sección de un balizamiento de localización de altas prestaciones con antena de azimut MLS integrada en el aeropuerto de Frankfurt/Main

están orientados a conseguir en el terreno en cuestión:

— datos geométricos tridimensionales de los componentes del haz (altitud, desplazamiento longitudinal, desplazamiento transversal)

— datos eléctricos de los componentes del haz (amplitudes y en especial, las fases)

— anticipar características eléctricas optimizadas (ángulo de descenso, estructura DDM, simetría, etc.)

El diagrama de la Figura 5 muestra el resultado final de la optimización, comparando con el cálculo por ordenador y las lecturas de datos de vuelo para el factor de guiado DDM, representado por el error angular (una desviación de 0° corresponde a un DDM de 0 mA en un ángulo de descenso nominal de 3°). En las pruebas iniciales con datos de vuelo, y tras su optimización asistida por ordenador, se consiguieron precisiones de 0,01° a 0,02°, incluso en casos en los que intervenían terrenos difíciles. Este extremadamente complejo programa de ordenador puede ser utilizado para teoría o programación sobre la última generación de ordenadores personales (p. ej., el 486) y con tiempos de proceso razonables. Está también prevista su utilización futura en ordenadores portátiles para realizar esta operación sobre el propio terreno y poder tomar en consideración otros factores no previstos.

Desfasaje de zona despejada - una mejora efectiva del sistema ILS para requisitos de CATIII

Normalmente, los denominados sistemas de frecuencia dual se usan en los sistemas ILS para CATIII, mientras que los subsistemas de senda y de zona despejada constituyen subsistemas ILS completamente independientes, que realizan una transmisión que utiliza un haz con un desplazamiento diferencial de aproximadamente 9 kHz. El receptor ILS a bordo de la aeronave puede diferenciar entre los dos subsistemas con la ayuda de los "efectos de captura", en el caso de que las amplitudes de las dos señales difieran suficientemente. Esto se aplica al sistema ILS de senda de planeo (tipo-M o "pendiente de planeo del efecto de captura") y también al sistema ILS de localización.

Los balizamientos de localización de frecuencia dual vienen diseñados (Foto D) de forma tal que el diagrama de propagación del balizamiento de la zona despejada se transmite mediante una pequeña antena de balizamiento de poca ganancia débilmente enfocada, mientras que el diagrama de propagación del balizamiento de trayectoria de planeo se transmite a través de una gran antena altamente enfocada, lo que produce una gran atenuación de los lóbulos laterales. De esta forma, en el lado de la senda de planeo, la señal para la aproximación resulta dominante, produciendo una potente guía, y con una muy precisa supresión de interferencias, a la aeronave en aproxima-

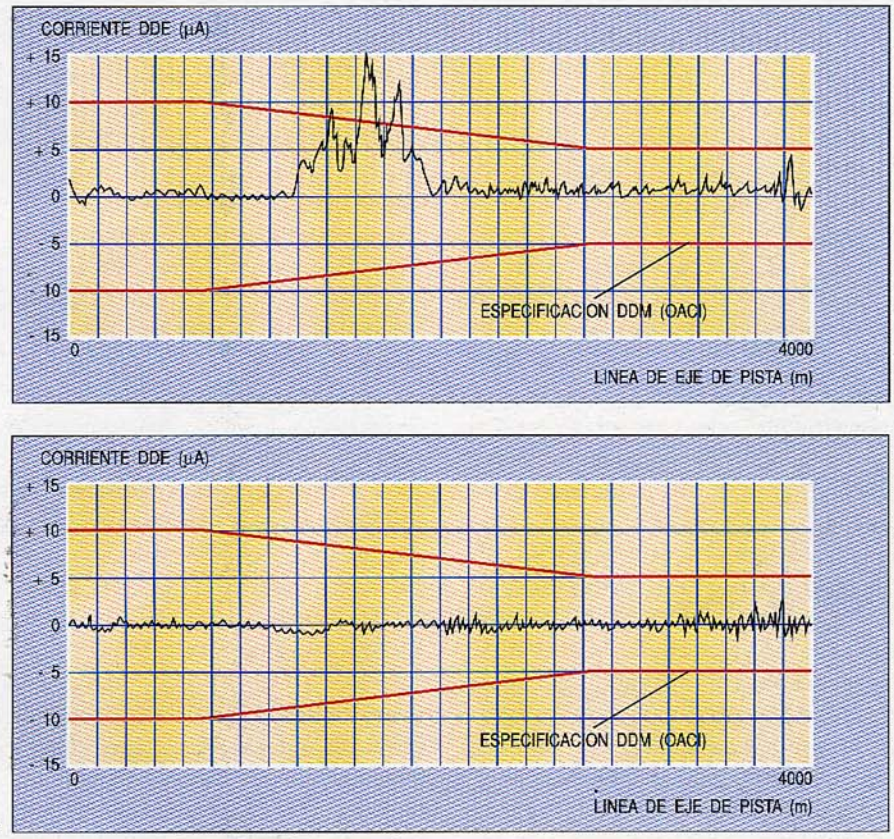


Figura 6 - Secuencia DDM sobre el eje de la pista de vuelo de un sistema localizador normal S-4000 (arriba) y con desfase de zona despejada optimizada a 18° (abajo) en el nuevo aeropuerto Munich 2

ción. En la zona denominada "libre de obstáculos", las señal dominante es la del balizamiento de zona despejada (> ±5-10° de lóbulo lateral sobre la antena de balizamiento de aproximación), con la ayuda del cual, la aeronave se conduce de forma aproximada a la senda o distancia de planeo hasta que las señales de senda de vuelo toman el relevo en el proceso de guiado.

El fundamento de esta idea, y principalmente el desacoplo entre los dos sistemas sobre la senda de vuelo por medio de una relación de captura mayor de 10 dB tal como especifica el OACI (relación entre las señales de balizamiento de planeo con respecto al balizamiento de zona despejada), se viene poniendo en cuestión en muchos aeropuertos, debido a las interferencias por reflexión en hangares y grandes edificios. Las especificaciones CATIII ya no pueden ser mantenidas (Figura 6, arriba). Algunas investigaciones recientes han podido establecer que la especificación del OACI de relación de captura mayor de 10 dB no es suficiente para funcionar en CATIII de forma realista. Es más, la relación de captura en el receptor podría ser incluso inferior a 10 dB, debido al efecto de heterodinación de las señales de zona despejada directa y reflejada en los grandes aeropuertos modernos (p. ej., Munich 2).

Si el objeto que crea la interferencia cae dentro de la zona especificada de cobertura de ±35°, entonces las soluciones propuestas hasta el presente para resolver el problema siempre crean otros inconvenientes mayores como:

— cualquier reducción de la potencia de transmisión del sistema de zona libre de obstáculos siempre conlleva problemas de cobertura
— el aumento de la potencia de transmisión del transmisor o de la ganancia de la antena de balizamiento de planeo para una salida transmisora de planeo dada conduce a un efecto adverso de alcance excesivo, y a posibles riesgos causados por campos y densidades de potencia altos
— las restricciones a la forma del diagrama de propagación de la antena de zona despejada requiere grandes, y posiblemente adicionales, antenas. Ello lo hace excesivamente costoso.

La solución altamente eficaz realizada por Alcatel SEL comienza a nivel de sistema ILS y tolera el deterioro de la relación de captura debido a reflexiones al considerarlas como algo inevitable. Se emplean las bandas de tolerancia para el fasaje de la modulación de 90 Hz y 150 Hz, y más especialmente la envolvente global de la modulación a 30 Hz, usadas las unas en relación con las otras, y que se conoce como el fasaje para el método del desfase en la zona despejada.

Mediante análisis teóricos y pruebas cuantitativas sobre un número de receptores ILS pudo establecerse que existen una serie de valores de fasaje de 30 Hz optimizados [4] para los cuales desaparece la interferencia DDM sobre la senda de planeo, incluso en relaciones de captura muy pobres. En la selección del número de fases de 30 Hz se consideró como un criterio importante la aplicación de la condición DDM en la zona de transición entre el planeo y la zona libre de obstáculos. Se encontró además que los valores de fasaje optimizados son dependientes de la posición relativa de la fuente de interferencia con respecto a la senda de vuelo. Al final se solucionó usando equipos que utilizan de forma extensiva las ventajas de una modulación generada digitalmente, y programas de control del transmisor ILS del SISTEMA 4000. Se pueden seleccionar mediante conmutadores cuatro fases optimizadas del sistema de 30 Hz, efectuándose la adaptación en el aeropuerto respectivo, depen-

diendo de si la fuente de interferencia está situada en uno o ambos lados de la senda de planeo. En el caso del aeropuerto de Munich 2, que tiene un hangar en el lado de los 150 Hz, y cuyo sistema está ya aprobado para funcionar en CATIII, la fase de 30 Hz se fijó en 18°. La interferencia DDM ha sido enteramente suprimida (Figura 6, abajo).

La ventaja de este procedimiento reside principalmente en su eficacia (lo que abre nuevos horizontes a la libertad de levantar edificios y desarrollar operaciones en los aeropuertos modernos más importantes), así como en su coste reducido y en la flexibilidad de adaptación.

Conclusiones

El rápido progreso en el desarrollo tecnológico requiere una continua atención al producto y su actualización. Las mejoras del producto mediante la incorporación de nuevas ideas como las descritas anteriormente se ven cada vez mas afectadas por las técnicas de producción, y en consecuencia, afecta la forma en que se dispone el producto debido a la dinámica de utilización de componentes. La consecuencia es que cada vez se utilizan más frecuentemente elementos montados en superficie (SMD), incluso en el SISTEMA 4000, en combinación con una integración a gran escala (LSI). Parece lógico alargar la vida útil del SISTEMA 4000 mediante modificaciones del producto, que a su vez permiten optimizar los interfaces del sistema y reducir los costes de una forma significativa, y continuar este proceso hasta que el producto sea reemplazado por futuros sistemas de navegación.

El interfaz gráfico de usuario normalizado MS Windows, que ya se utiliza en la operación del MLS, sustituirá las pantallas alfanuméricas del ADRACS a medio plazo. Adicionalmente, el procesado y análisis de los datos se beneficiará de nuevas mejoras, siendo posible la transferencia dinámica de datos por medio de los extendidos procesadores de texto, hojas de cálculo y bases de datos. Los procedimientos de puesta en servicio y de supervisión de errores soportados por ordenadores personales mejorarán la eficacia de las funciones de operación y mantenimiento.

Las mejoras efectuadas sobre el ILS SISTEMA 4000 por la función desfase en la zona despejada, en la forma anteriormente descrita, entrarán próximamente en la producción en serie, y se verán complementadas por la supervisión digital de cualquier nuevo parámetro de la señal.

El sistema de aterrizaje instrumental ILS continuará siendo utilizado durante una largo tiempo tras el período de transición ILS/MLS, por su eficiencia, resultante de la calidad del producto y de la duración de su vida de servicio. Es más, la aceptación del MLS en el mercado es todavía débil. La futura participación en el mercado vendrá determinada por el número cada vez menor de nuevas instalaciones y de los programas de sustitución, al lado de la posición de superioridad técnica, y en especial, de la reducciones de coste introducidas por el SISTEMA 4000.

Bibliografía

1 Kleiber, H.; Knoppik, N.; Vogel, H.: SISTEMA 4000 de ayudas a la navegación. Publicación técnica de Alcatel (1984).

2 Limbach, F.; Pählig, K.: Estructura de equipo y programación del SISTEMA 4000. Publicación técnica de Alcatel (1984).

3 Zhu, N.Y.; Landstsorfer, F.M.; Greving, G.; Zeitz, R.: Accurate prediction of three dimensional terrain influence on the glide path of the Instrument Landing System with extended UTD. URSI, Inter. Symposium on Electromagnetic Theory, Sidney, Agosto 1992.

4 Greving, G.: ILS CATIII site problems - a new verified system solution. 7th Intern. Flight Inspection Symposium, Londres, Junio 1992.

Gerhard Greving nació en Ahaus/Westfalia en 1944. Terminó sus estudios de ingeniería eléctrica general en la Universidad Técnica de Aquisgrán en 1972 obteniendo el título de ingeniero. Hasta 1980 estuvo ocupado en la investigación de los problemas teóricos asociados a las antenas y al cálculo aritmético tridimensional relativos a campos electromagnéticos. En 1979 se doctoró en su Universidad con una disertación centrada exclusivamente en el cálculo aritmético del campo próximo de las antenas tridimensionales. Está en Alcatel SEL desde 1980 y dirige el departamento de desarrollo de antenas y balizamientos, al que pertenece el desarrollo del balizamiento de ayudas a la navegación. Es responsable de la realización de una gama de nuevos balizamientos de sistemas de ayudas a la navegación para ILS, VOR/DVOR, TACAN/DME, GPS y MLS.

Georg Mandelka nació en 1955 en Limburg/Lahn. Estudió ingeniería eléctrica y amplió estudios en el campo de ingeniería de señales en la Universidad Técnica de Darmstadt, graduándose en 1981. Ingresó a continuación en Alcatel SEL en donde trabajó inicialmente sobre la planificación técnica y la ingeniería de proyectos de los sistemas de navegación de las series 3000 y el SISTEMA 4000, dedicándose posteriormente a proyectos de exportación. Desde 1987 ha sido responsable de los productos de sistemas de control de tráfico aéreo, de la coordinación de procedimientos de todos los productos relacionados, y del rediseño del SISTEMA 4000.

Christoph Pfuhl nació en Stettin-Altdamm en 1942. Estudió ingeniería eléctrica en la Universidad Tecnológica de Lübeck, graduándose en 1967. A continuación trabajó en Alcatel SEL como ingeniero de sistemas en el sector de la tecnología de radio direccional, y posteriormente pasó al departamento de estaciones base para satélite militares. Se encargó de las ventas de los sistemas de navegación de las serie 3000 y del SISTEMA 4000, siendo nombrado director de ventas de sistemas de radionavegación. Tras trabajar como responsable de producto de los sistemas de localización avanzados, en 1990 fue designado director del grupo de productos de sistemas de control de tráfico aéreo.

Sistema de control y guía del movimiento en tierra

F.-G. Monzel Alcatel SEL, Stuttgart, Alemania
A. Bories Alcatel ISR, Evry, Francia

La seguridad del movimiento en tierra de aviones y vehículos en aeropuertos cada vez con más tráfico, demanda sistemas automáticos de detección y de control capaces de soportar el trabajo de los controladores de tráfico.

Introducción

Según estudios realizados en Estados Unidos, el retraso en los vuelos se produce la mayoría de las veces en los aeropuertos; en Europa la situación no es muy diferente. En 1989, el 23% de los vuelos internos europeos tuvieron un retraso de 15 minutos ó más.

La principal causa de este problema es bien conocida; el número de pasajeros que ha utilizado los servicios del transporte aéreo en Europa se ha duplicado en cada una de las últimas décadas.

Se prevé en las dos próximas décadas un incremento anual del 6,5% para el tráfico mundial de pasajeros y del 8,5% para el tráfico de carga [1].

Esta situación no se tomó en consideración en el pasado y, como consecuencia, los sistemas de control de tráfico aéreo (ATC) y de aeropuertos no se han desarrollado a igual ritmo.

La capacidad y eficacia de los sistemas de tráfico aéreo son asuntos clave, pero la meta final de todas las actividades debe ser el mejorar la seguridad en el transporte aéreo.

Al contemplar los actuales medios y métodos con los que se maneja el tráfico en tierra en los aeropuertos bajo los aspectos de seguridad y eficiencia, se puede establecer que:

— hay importantes defectos en la seguridad
— la actual capacidad, infraestructura y mano de obra de los aeropuertos no se utiliza eficazmente.

Aspecto de seguridad

Especialmente en condiciones de poca visibilidad, como durante la noche, con niebla, con fuertes lluvias o nevadas, el proceso de llevar el avión en tierra hasta la puerta de embarque ó desde la puerta de embarque a su posición de despegue es una de las fases más críticas de todo el ciclo puerta de embarque-a-puerta de embarque de un avión. Algunos graves accidentes muestran la falta de seguridad del actual tratamiento del tráfico de superficie. Un ejemplo - el accidente más grave de la historia del tráfico aéreo - es la colisión en 1977 en Tenerife de dos Boeing 747 que estaban rodando por la pista, accidente en el que murieron 583 personas. El origen más común de los errores es el desconocimiento de la posición de aviones y vehículos de tierra para controladores, pilotos y conductores de vehículos.

Aspectos de capacidad y eficacia

Cuando se diseñaron la mayoría de los aeropuertos actuales se subestimó drásticamente el crecimiento del tráfico aéreo. Consecuentemente, muchos de ellos están hoy cerca de su saturación. Por diferentes razones, la construcción de nuevas pistas de aterrizaje o despegue, de pistas de rodaje ó el aumento de las zonas de estacionamiento sólo se puede realizar en casos excepcionales. Para obtener una mayor capacidad, se ha incrementado la complej-

La congestión de tráfico en los aeropuertos es usual todos los días

Los controladores de tráfico dependen mucho del sofisticado equipo de control y guía, especialmente en la oscuridad y en condiciones de poca visibilidad

dad de las operaciones y de los sistemas de las pistas de estacionamiento y de rodaje, con la desventaja de un aumento del riesgo en condiciones poco seguras.

Sin embargo, con los actuales métodos de gestión de tráfico, no se puede utilizar en muchos casos, al menos no eficazmente, la capacidad teórica disponible de infraestructura del aeropuerto. Todos las partes involucradas, pasajeros, compañías aéreas, responsables de aeropuerto y de aviación civil, tienen que soportar los problemas resultantes.

Junto a las pérdidas económicas, las consecuencias de un sistema poco eficaz respecto a la contaminación del entorno son cada vez más importantes.

Partes involucradas

En las operaciones del tráfico en tierra intervienen:

— *organizaciones*: responsables de aviación civil y de aeropuerto, industrias de transporte aéreo (compañías aéreas), aviación en general

— *personas*: controladores, pilotos, conductores de vehículos

— *equipos*: aviones de cualquier tamaño que van a las posiciones de aparcamiento ó de despegue y aviones remolcados; toda clase de vehículos, por ejemplo los utilizados para servicio y mantenimiento de las pistas de rodaje y de estacionamiento por los sistemas técnicos aéreos, servicio de bomberos, búsqueda y rescate (SAR), policía y un gran número de vehículos para servicio de los aviones (carga, descarga, reabastecimiento de gasolina, avituallamiento, mantenimiento) en la zona de estacionamiento, que no entran en las pistas de rodaje ó en las pistas de estacionamiento; objetos perdidos ó intrusos que afectan a la seguridad.

A mitad de 1991 se habían registrado en el aeropuerto de Francfort más de 11000 vehículos, cerca de 4000 autónomos y más de 7000 remolcados.

Control actual del tráfico en tierra en los aeropuertos

Desde el punto de vista del controlador las cuatro funciones principales de la gestión del tráfico en tierra son:

— *planificación y proceso*, para gestionar el flujo de tráfico

— *seguimiento del tráfico en tierra*

— *comunicación vía radio*, para mandar aclaraciones e instrucciones a los pilotos y conductores de vehículos y dirigir comunicaciones a otros controladores ú otras organizaciones para coordinar

— *información de guía visual*, para pilotos y conductores de vehículos.

Las funciones que hoy en día tiene que realizar un controlador se basan en los datos del plan de vuelo y en las cintas impresas del progreso de vuelo. La planificación de tráfico y el procesamiento de la información recogida de las diferentes fuentes es básicamente un proceso mental realizado por el controlador.

El seguimiento se realiza principalmente por observación visual directa de los controladores desde la torre de control junto con los informes de posición de los pilotos. En algunos aeropuertos, en condiciones de baja visibilidad como en horas nocturnas ó con mal tiempo, el controlador está apoyado por un radar de vigilancia de movimientos en tierra (SMR) - también llamado equipo de detección en tierra de aeropuerto (ASDE). La presentación que hace este tipo de radar primario, que no puede aún dar información de los objetos detectados, la tiene que interpretar el controlador.

Especialmente en condiciones de baja visibilidad el controlador tiene que construir, junto al proceso mental de planificación del flujo de tráfico, en su mente una "imagen" de la situación de tráfico, lo cual es una tarea extremadamente exigente.

Todas las instrucciones de control se transmiten vocalmente a los pilotos y conductores a través de canales de radio parcialmente sobrecargados, lo que da lugar a una carga adicional de trabajo para controlador, siendo además fuente de diferentes tipos de equívocos ó ambigüedades.

Como la guía y control del movimiento en tierra es, en general, una tarea compartida entre el responsable del aeropuerto en la zona de estacionamiento y el responsable de aviación civil (ATC) en las pistas de estacionamiento y en las de rodaje se requiere un esfuerzo adicional de coordinación, que se realiza actualmente por medio de teléfonos, líneas directas ó facilidades de intercomunicación. No se dispone de una central automática de datos.

La información de guía visual se da mediante luces de eje de pista controladas manualmente, barreras de parada y límites de permiso, señales de tráfico y otros medios visuales definidos en el manual de diseño de aeródromos de la ICAO.

La navegación de aviones y vehículos es responsabilidad única de los pilotos y conductores de vehículos. Para realizar esta tarea los pilotos y los conductores tienen que fiarse de la observación y orientación visual. Solamente se dispone en la actualidad de un limitado soporte técnico, como son las luces de eje de pista y las señales de tráfico.

En resumen, en la actualidad la guía y control del movimiento en tierra se basan principalmente en la observación y orientación visual de controladores y pilotos/conductores y en el intercambio de preguntas, instrucciones y aclaraciones a través de comunicación vocales. Los medios técnicos que soportan a controladores y pilotos/conductores ó que les liberan considerablemente de su rutina de trabajo están poco introducidos.

Como mejorar la situación

Un análisis de las fuentes de los problemas lleva a la conclusión de que se requieren unos conceptos de sistemas nuevos, basados en estándares consensuados, que hagan uso de las tecnologías básicas ya existentes y que apliquen tecnologías avanzadas de información y comunicación.

Alcatel, con la experiencia obtenida durante muchos años en el diseño, desarrollo, producción e implantación de sistemas ATC, ha elaborado un concepto de sistema de control y guía de movimiento en tierra (SMGCS) que soluciona defectos de los sistemas actuales. Soporta al controlador en la gestión del creciente tráfico mediante vigilancia basada en sensores y herramientas automatizadas de control y planificación.

El objetivo global de un sistema de control y guía de movimiento en tierra se puede definir como: *el asegurar un flujo de tráfico seguro, ordenado y eficaz aún en condiciones de baja visibilidad y tiempo adverso.*

Requisitos

Los requisitos fundamentales que debe cumplir un sistema SMGC se describen en el *manual de los sistemas de control y guía del movimiento en tierra (SMGCS), Doc 9476-AN/927* de la ICAO, y aunque constituye una base válida, no está lo bastante especificado como para cubrir un sistema sofisticado al estado del arte como el que se necesita para eliminar los problemas del tráfico en tierra de los futuros aeropuertos. Varios grupos de trabajo nacionales e internacionales donde participan todas las partes involucradas (usuarios, operadores del sistema, centros de investigación, universidades, industria) están tratando este tema.

Teniendo en cuenta la información obtenida de estas y de otras fuentes, y utilizando la experiencia de Alcatel obtenida en este campo a lo largo de más de diez años se han generado los "principales" requisitos.

Requisitos operacionales

Desde el punto de vista operacional los más significativos son:

— Determinación precisa de la posición de los aviones, vehículos y obstáculos
— Determinación de la velocidad y dirección del movimiento de los aviones y vehículos
— Identificación clara y automática de los aviones y vehículos

Vista del aeropuerto de Francfort que da una idea de las actividades de los controladores de tráfico en el área de estacionamiento

— Presentación de la situación de tráfico en la posición del controlador
— Detección, aviso y resolución de conflictos
— Comunicación de datos para reducir la comunicación vocal
— Automatización de la planificación y coordinación de tráfico
— Reducción de la carga de trabajo de pilotos y controladores
— Aplicabilidad bajo cualquier condición del tiempo por debajo de un alcance visual en la pista (RVR) de 50 metros
— Suministro de información de guía a los pilotos y conductores de vehículos
— Interconexión con otros sistemas de ATC, de aeropuertos y de compañías aéreas.

Requisitos técnicos

Además y parcialmente resultante de los anteriores requerimientos de operación, un SMGCS debe cumplir los siguientes requisitos técnicos específicos:

— Aplicación - cuando sea posible - de tecnologías básicas ya existentes, como el radar primario, SSR Modo S y de tecnologías de ordenador y de comunicación estandarizadas para evitar los desarrollos específicos caros y largos.
— Empleo de la electrónica aeronáutica existente para evitar las desventajas de la introducción de nuevos sistemas de a bordo (costes, espacio, peso, procedimientos de normalización y certificación).
— El sistema debe ser modular para asegurar que se puede adaptar a diferentes topologías de aeropuertos y a diferentes requisitos de usuarios.
— El sistema tiene ser mejorable para que los avances tecnológicos, como los sistemas basados en el conocimiento ó facilidades adicionales, se puedan integrar ó implantar posteriormente.
— Se necesitan interfaces abiertos y normalizados para asegurar la interconexión con otros sistemas de ATC, de aeropuertos y de compañías aéreas.

Arquitectura del sistema

Una perfecta evaluación de estos requerimientos lleva a una arquitectura del sistema como la mostrada en la Figura 1. Sus elementos son:

— sistema de sensores
— sistema de proceso de datos, con interfaces con otros sistemas de ATC, de aeropuertos y de compañías aéreas
— estación de trabajo del controlador
— sistema de comunicaciones de voz y datos
— sistema de guía.

Sistema de sensores

Los sensores, los "ojos electrónicos" del controlador, son una parte esencial del sistema. Su función básica es detectar y recoger información del cualquier objeto. Con los datos de entrada, el sistema de proceso genera la imagen de la situación de tráfico real.

Al diseñar el sistema de sensores se deben de tener en cuenta una serie de aspectos.

Tipos de objetos a seguir

Los objetos a adquirir y seguir por los sensores son - como se mencionó anteriormente - aviones de todos los tamaños, todo tipo de vehículo (automóviles ó remolcados y de todos los tamaños) y una variedad de objetos que podrían afectar a la seguridad del tráfico de superficie. Es necesario distinguir entre objetos cooperativos y no cooperativos. Los objetos cooperativos tienen un equipo, por ejemplo transpondedores, adecuado para la comunicación o cooperación con el SMGCS. Los objetos no cooperativos sólo se pueden detectar pasivamente por el sistema. Son objetos no cooperativos, por ejemplo, los aviones no equipados adecuadamente ó vehículos u objetos de cierto tamaño perdidos en zonas donde operan los aviones.

Zona a ser vigilada

Con respecto a la zona de vigilancia, hay que distinguir entre zona de maniobra, que comprende las pistas de estacionamiento y las pistas de rodaje, y zona de estacionamiento, utilizada para carga ó descarga, reabastecimiento de combustible, aparcamiento ó mantenimiento del avión.

En una primera aproximación se asume que todos los objetos de la zona de maniobra se vigilan automática y permanentemente por el SMGCS y que una imagen completa del tráfico en esta zona se presenta al controlador.

También se necesita un control completo de la zona de estacionamiento. No obstante, debido al elevado número de objetos dentro de esta zona no es factible presentar todo su tráfico en la posición del controlador. Una solución podría ser que en la zona de estacionamiento, aparte de todos los aviones activos, el sistema seleccione solamente aquellos objetos que puedan causar un conflicto con al avión y presentarlos a la atención del controlador.

Precisión a alcanzar

La precisión que se debe alcanzar no está aún especificada pero se asume que para algunas aplicaciones se requiere una precisión menor de 10 metros. Los factores que influyen son: la velocidad de los objetos, la de renovación y transmisión de datos, las condiciones ambientales y de trabajo y las limitaciones de precisión inherentes a la tecnología de los sensores.

Condiciones ambientales y de trabajo

El rendimiento de un sensor específico se puede ver sensiblemente

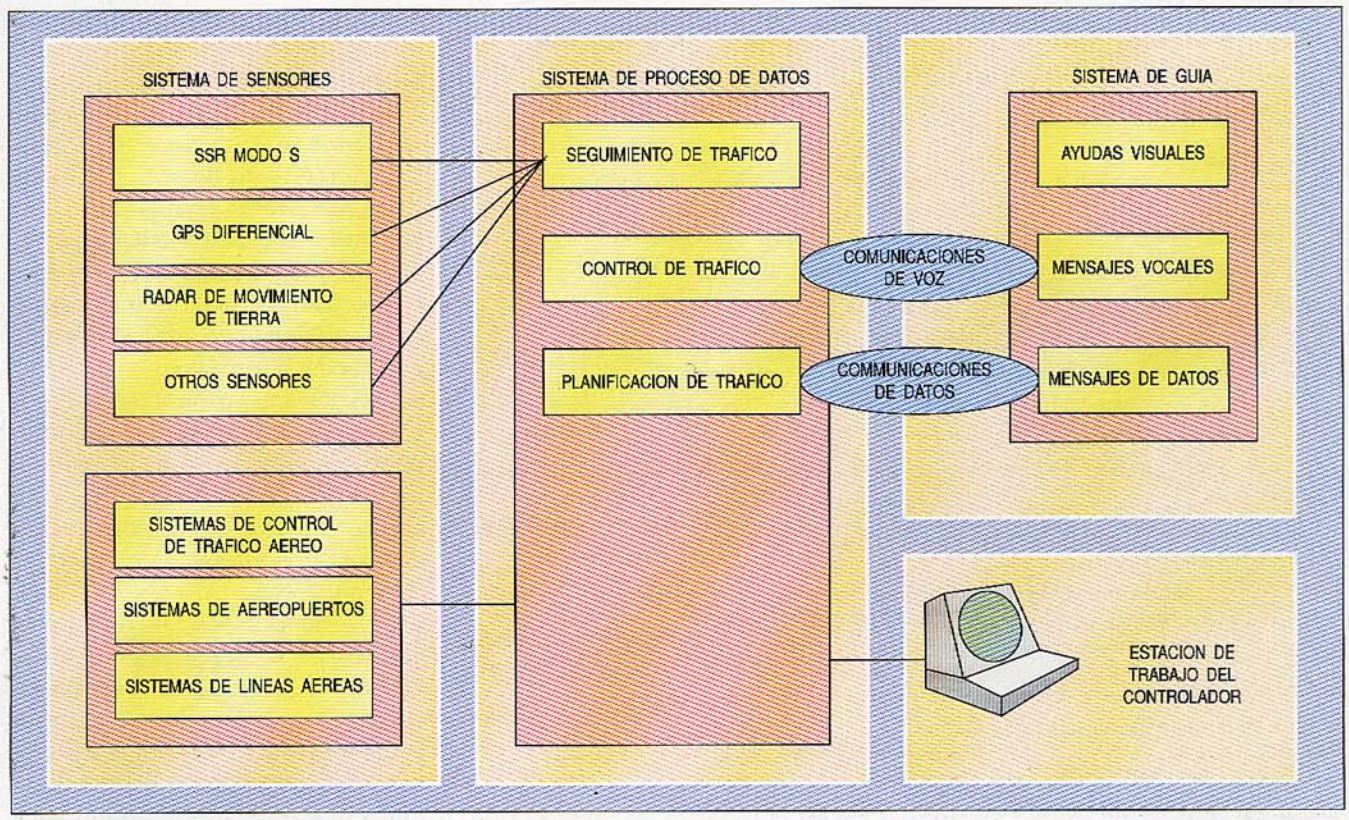


Figura 1 - Arquitectura del SMGCS

impactado por condiciones de operación y entorno adversas, como las reflexiones, la propagación multicamino, las interferencias eléctricas ó las condiciones adversas del tiempo. Mientras que las pistas de estacionamiento y de rodaje están normalmente relativamente libres de obstáculos permanentes desde el punto de vista de los sensores, la vigilancia de la zona de estacionamiento puede ser difícil debido al deterioro ó ensombrecimiento de la señal provocado por edificios, aviones aparcados u otras clases de objetos.

Disponibilidad de canales de comunicación

Hay que tener en cuenta que en la mayoría de los aeropuertos los canales de radiofrecuencia están sobrecargados por comunicaciones de voz, y que rara vez se dispone de nuevos canales. El cableado de componentes de sensores remotos ó muy distribuidos puede ser también muy difícil y costoso.

Considerando todo esto, investigaciones intensivas y numerosos debates de expertos han llegado a la conclusión de que no se puede alcanzar la funcionalidad requerida con un único tipo de sensor. Se necesitan subsistemas de sensores diferentes y complementarios que alimenten los datos recogidos en un sistema común de recogida y proceso de datos.

El concepto propuesto para un sistema multisensor combina y aprovecha las ventajas de la potencialidad específica de las tecnologías de sensores disponibles.

Este sistema multisensor se basa en el radar de vigilancia secundario (SSR) Modo S, en el GPS diferencial (D-GPS) y en el radar de movimiento de tierra (SMR); se pueden integrar otros subsistemas de sensores con los interfaces adecuados.

SSR Modo S

La mejora más significativa del SSR Modo S es su posibilidad para direccionar selectivamente el transpondedor individual del avión. Esta selectividad es la base de otra nueva característica importante del SSR Modo S, la comunicación de datos bidireccional junto al intercambio de datos de seguimiento del Modo A/C. El proceso de estandarización del Modo S está bastante avanzado y también cubre formatos de mensajes específicos a aplicaciones del SMGCS (*esperando mensaje, en tierra, supresión de todas las llamadas*). Como el Modo S es la base del sistema de alerta de tráfico y evitación de colisiones (TACAS), que será equipo obligatorio en aviones de un determinado tamaño que operen en el espacio aéreo de EE.UU., y para el programa EASIE de Eurocontrol (gestión mejorada del tráfico aéreo e implantación del Modo S en Europa), cada vez más aviones se equiparán en los próximos años con los transpondedores Modo S.

Los transpondedores Modo S, instalados en aviones y posible-

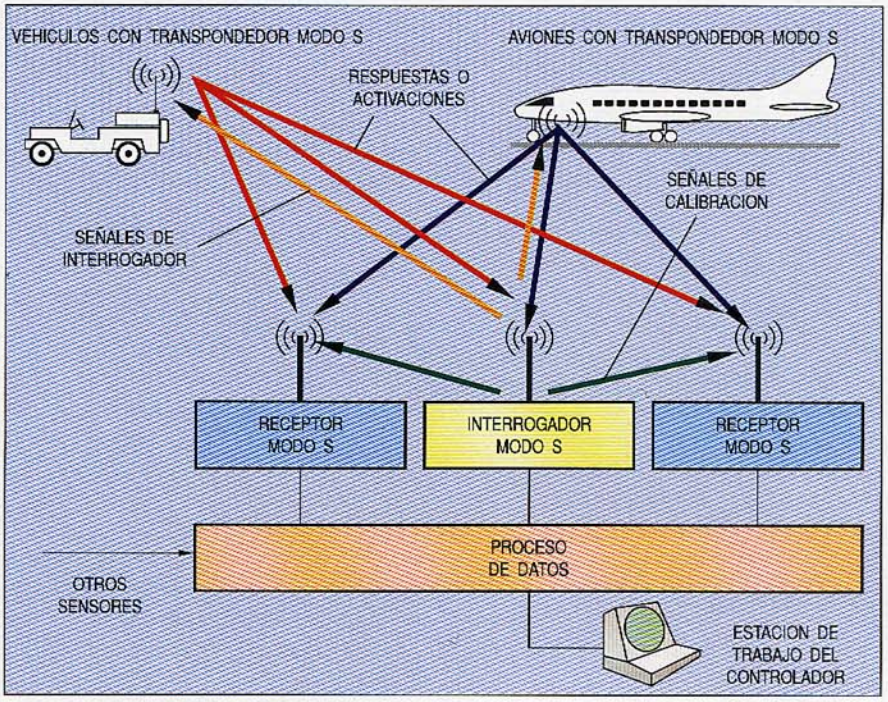


Figura 2 - Sistema de sensores SSR Modo S

mente en vehículos, emiten espontáneamente una señal llamada activación intencionada (*squitter*) una vez por segundo. Además para suministrar una identificación clara y no ambigua, esta señal la utilizan los sensores de tierra Modo S en la aplicación SMGCS para determinar la posición del avión ó del posible vehículo.

Fijación de la posición

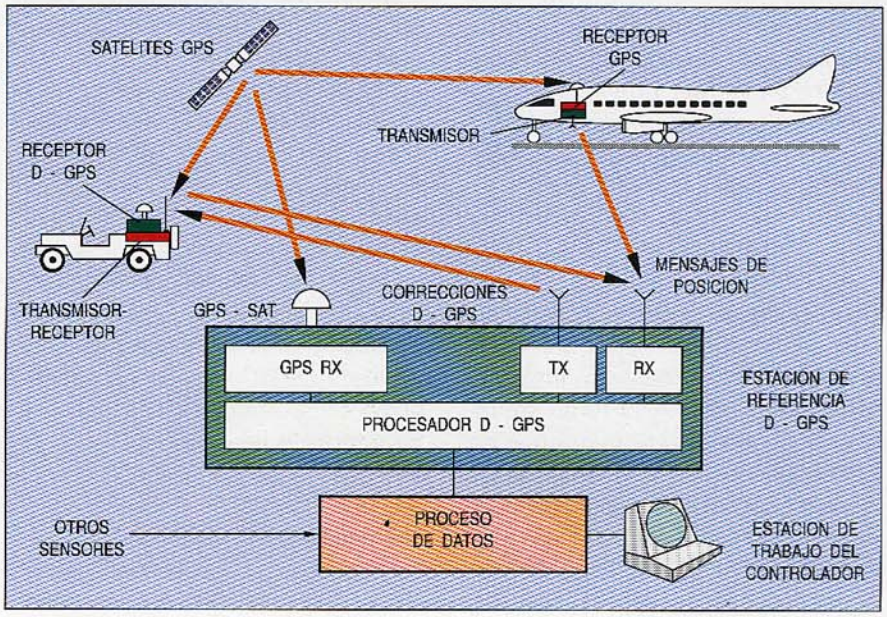
Debido a la exactitud que se requiere para fijar la posición no se puede realizar con una sola estación de tierra Modo S, como es el caso de la vigilancia de la zona terminal ó en ruta. En el entorno de aeropuertos se introducirá un sistema de sensores de tierra Modo S distribuidos de forma simplificada. El número de sensores que se requieren y su posición depende básicamente de la complejidad de la topografía del aeropuerto, pero también del método de determinación de la posición, que se puede basar o en el principio de multilateración (fijación hiperbólica de la posición) o en el principio de multi-triangulación (fijación de la posición por intersección de marcaciones). A causa de la simplicidad de los sensores, Alcatel ha elegido el principio de multilateración (Figura 2). El principio de operación es realizar el fijamiento de la posición principalmente de forma pasiva, lo que se logra evaluando las señales squitter recibidas, en vez de interrogar activamente al transpondedor Modo S del avión ó vehículo. Las señales ó respuestas squitter SSR de los aviones ó vehículos se reciben en tres estaciones terrestres. Los tiempos de llegada (ToA) de estas señales se transmiten junto con las identificaciones de sus originadores al proceso de datos, donde se calculan los objetos más importantes siguiendo principios de radionavegación hiperbólica.

No obstante, para obtener mayor precisión, por ejemplo, también debe ser posible la interrogación activa. Por esta razón, y naturalmente para la comunicación de datos bidireccional, al menos una estación de sensores Modo S debe tener la funcionalidad de un interrogador.

Cada sensor tendrá, según su entorno operativo, o una antena omnidireccional ó una antena sectorial en azimut con un diagrama de radiación vertical optimizado para tener una mínima interferencia con las estaciones SSR vecinas.

En el sistema de proceso de datos los datos que se reciben desde los sensores Modo S y de otras fuentes se evalúan y se preparan para su presentación en la estación de trabajo del controlador.

Figura 3 - Subsistema de sensores D-GPS



GPS diferencial

El sistema de posicionamiento global basado en satélites (GPS) jugará un papel importante en la aviación civil del futuro. Por esta razón es también un sensor candidato para el SMGCS. No obstante, la precisión del GPS especificada para las aplicaciones civiles no cumple los requisitos del seguimiento del movimiento en tierra del aeropuerto. Por ello se necesitan tomar medidas especiales para mejorar la exactitud de la determinación de la posición por el GPS. Por los bien conocidos procedimientos GPS diferencial (D-GPS) se pueden eliminar los errores de GPS correlacionados espacialmente, mejorando así significativamente el rendimiento del sistema. Ya se emplean ampliamente receptores GPS normales, pero aún no se ha completado la normalización del D-GPS.

El D-GPS como subsistema de sensores para el SMGCS tiene los siguientes componentes (Figura 3):

— una estación de referencia D-GPS en una posición explorada exactamente para determinar las señales de corrección del GPS
— receptores GPS ó D-GPS instalados en vehículos o aviones
— un enlace de datos entre la estación de referencia y los receptores GPS ó D-GPS.

El D-GPS se puede aplicar de dos maneras en un SMGCS. La primera consiste en que el usuario realice la corrección de la posición:

— la estación de referencia distribuye los datos de corrección a todos los usuarios a través del enlace de datos
— el usuario con un receptor D-GPS determina su propia posición por procedimiento normal GPS
— el usuario corrige su posición GPS con los datos de corrección recibidos
— a continuación el usuario transmite la información de la posición corregida con su identificación a la estación de referencia para su posterior proceso.

En la segunda manera es la estación de referencia la que corrige la posición del usuario:

— el usuario determina su propia posición con procedimientos GPS normales
— el usuario transmite su posición sin corregir junto con los datos más relevantes del satélite y su identificación a través del enlace de datos hacia la estación de referencia
— la estación de referencia calcula la posición correcta del usuario
— si se requiere, la estación de referencia transmite por el enlace de datos la posición corregida del usuario al mismo.

Hay que evaluar ambas formas para determinar cual es la mejor solución a aplicar en un SMGCS.

Radar de vigilancia de movimientos en tierra

Como se dicho antes un requisito previo del SSR Modo S y del D-GPS es la disponibilidad de un equipo cooperativo a bordo. No obstante, como ya se ha mencionado, también se requiere un sistema de sensores que pueda detectar objetos no cooperativos. El radar de vigilancia de movimientos en tierra (SMR) basado en técnicas de radar primario es tal tipo de sensor. Los SMR, también llamados ASDE, han estado funcionando en los principales aeropuertos durante muchos años. Actualmente, los controladores solamente los utilizan principalmente en condiciones de poca visibilidad. Los ASDE de alto rendimiento de la nueva generación utilizan exploradores-convertidores y presentan, en pantallas de alta resolución, los datos de posición y velocidad de todos los objetos que pueden ser detectados por el radar primario pero, aún, no suministran su seguimiento e identificación. El seguimiento e identificación es una función que permitirá al controlador de tráfico aéreo identificar aviones que estén bajo el control de la torre.

El seguimiento se puede realizar mediante proceso de la imagen de video (tras la conversión del video del radar con un convertidor explorador digital) e identificación por correlación con la información de llegadas/salidas (en el caso de un sistema autónomo). En el caso de varios sensores, la identificación deberá ser realizada en el módulo de proceso automático de datos.

Sensores adicionales

Una arquitectura modular del sistema facilita la integración de otras tecnologías de sensores como los bucles electromagnéticos, sensores de infrarrojos ó cualquier otro tipo de sensores complementarios con interfaces adecuados.

Otros componentes del sistema

A continuación se da una breve visión de otros componentes del SMGCS y de su funcionalidad.

Sistema de proceso de datos

El módulo de proceso de datos recoge y evalúa los datos recibidos de las diferentes fuentes, control de aproximación, responsables del aeropuerto y líneas aéreas. Estos datos de entrada se correlacionan y se fusionan para generar una imagen clara de la situación del tráfico, con información de la posición, velocidad e identidad. El sistema debe así dibujar una situación de predicción y alertar a los controladores de cuando puede ocurrir una colisión entre objetos que se mueven (p. ej., aviones, coches, camiones, etc.). Junto al programa de asignación de puertas de embarque (sistema experto que optimiza la asignación de puertas de embarque en función de las puertas disponibles, número de pasajeros, tiempo de estancia en la puerta de embarque, facilidades, etc.) y a un optimizador de rutas, se puede utilizar

como ayuda para planificar el tráfico de tierra.

La Figura 4 muestra un ejemplo de un posible sistema de proceso de datos automático.

El SMR puede generar información de radar primario. Esta información se procesa por un convertidor explorador digital y la imagen de video resultante se procesa en un trazador.

Una posible mejora puede ser la identificación de aviones y vehículos empleando inteligencia artificial (redes neurales) para analizar las señales de radar.

El módulo de adquisición de datos recoge los datos del radar, del SSR Modo S, del D-GPS y de otros sensores, así como los datos del plan de vuelo, que provienen del sistema de información de llegadas/salidas (para los aviones que salen).

A continuación, los datos se correlacionan y fusionan para obtener una imagen "reconocida" del tráfico de tierra. Estos datos se presentan en la consola del controlador en la torre.

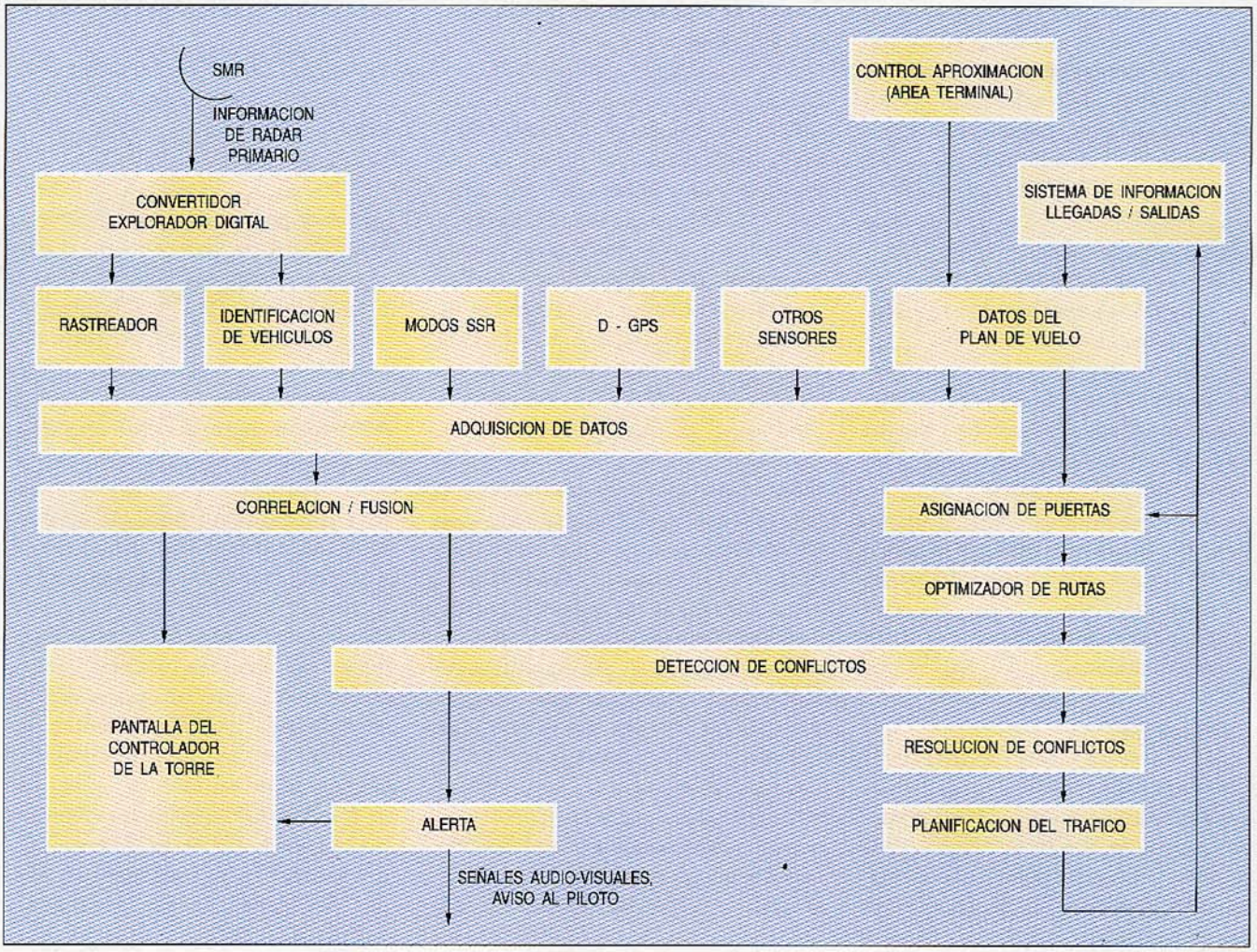
Entonces se procesan para detectar posibles colisiones; las señales se envían a diferentes ayudas audiovisuales que pedirán a los pilotos detenerse.

Se puede añadir un sistema paralelo para la planificación. Los datos del plan de vuelo se utilizan por el programa de asignación de puertas de embarque (sistema experto) y por un optimizador de rutas (optimiza la trayectoria por las pistas de estacionamiento y rodaje). El módulo de detección de conflictos puede después detectar posibles colisiones, y un sistema experto intenta encontrar las soluciones para evitar los conflictos generados. Esto permite mejorar las herramientas de planificación de tráfico y dar datos más exactos al sistema de información de llegadas/salidas para horarios planificados.

Estación de trabajo del controlador

La posición de trabajo del controlador, el interfaz hombre-máquina, es una parte muy esencial del SMGCS, ya que el objetivo final de este sofisticado sistema puede alcanzarse solamente si el controlador, como responsable último, puede gestionar segura y eficazmente el sistema,

Figura 4 - Ejemplo de un sistema de proceso de datos automático



aparte de la responsabilidad del piloto durante el movimiento del avión en tierra.

Sistema de comunicaciones de voz y datos

En un futuro SMGCS, la comunicación de voz permanecerá como un elemento indispensable de control. No obstante, para reducir la necesidad de la comunicación de voz es necesario que las peticiones de guía, instrucciones, aclaraciones y otras informaciones importantes sean - algunas automáticamente - intercambiadas por un enlace de datos entre usuarios y controladores. Existen tres posibles medios diferentes a utilizar por el ATC como enlace de datos. Son la radio VHF, el SSR Modo S y la comunicación de datos por satélite. La disponibilidad de una suficiente capacidad del enlaces de datos será el principal problema a resolver.

Sistema de guía

Los medios visuales para la guía del tráfico en tierra del aeropuerto están recogidos en el Anexo 14 del "Manual de diseño de aeródromos" de la ICAO. El control de estas ayudas visuales, como barreras de parada, límites de permisos y luces de eje de la pista de rodaje, tiene que estar integrado en el SMGCS. Si en el futuro se dispone de la capacidad suficiente de enlaces de datos será posible transmitir información de guía a las pantallas de los pilotos y de los conductores de vehículos, por ejemplo una ruta marcada sobre un mapa digital del aeropuerto.

Conclusiones

La aplicación de las existentes tecnologías avanzadas en un sistema muy modular y abierto es la clave para solucionar los problemas actuales y futuros del tráfico en tierra de los aeropuertos.

La transición desde el actual método "manual" de manejo del tráfico en tierra a un sistema futuro automatizado no puede realizarse de una vez. El llegar a un sistema que cumpla los requerimientos mencionados anteriormente sólo es posible mediante una aproximación paso a paso. En la primera fase se tiene que mejorar el conocimiento de la función de seguimiento y de situación por los controladores aplicando sofisticadas tecnologías de sensores, por ejemplo el SSR Modo S, el D-GPS, el SMR ú otros sensores, como se ha descrito anteriormente. Durante esta fase se puede desarrollar e implantar la automatización de las funciones de control y planificación. En la siguiente fase hay que poner énfasis en la transmisión de la información de guía para soportar al piloto ó al conductor a bordo del avión ó del vehículo.

Como miembro de varios grupos de trabajo nacionales e internacionales en SMGCS, Alcatel está contribuyendo a la mejora de la gestión del tráfico de tierra en aeropuertos lo cual llevará a una mejora de la situación del tráfico aéreo.

Bibliografía

1. ICAO Journal, Enero 1992, Strong Air Traffic Growth Forecast For 20-Year Period.

Franz-Georg Monzel nació en Alemania en 1955. Obtuvo su graduación de Diplom Ingenieur of Communications en la Universidad Técnica de Aquisgrán en 1982. Después ingresó en la división de Defensa y Aereoespacio de SEL. Ha trabajado sucesivamente en actividades de administración y planificación ATC, como jefe de proyecto de los proyectos ATC de aeropuerto llave en mano y jefe de producto de los nuevos sistemas ATC. El Sr Monzel es miembro de diferentes grupos de trabajo del Instituto Alemán de Navegación, miembro del WG41 de EUROCAE (control y guía del movimiento en tierra), presidente del AECMA Airports Working Group y delegado de Alcatel SEL en SC-66 de RTCA (requerimientos de usuario para los sistemas futuros CNS de área terminal y aeropuerto).

Alain Bories se graduó en la Escuela Politécnica de París en 1979. Después obtuvo el título de ingeniero aeronáutico en Sup Aero en 1981 y un Master de Ciencias en el Instituto Tecnológico de Massachussets (EE.UU.) en 1982. También está licenciado en economía aplicada en la Dauphine University de París. Como ingeniero de armamento en el Ministerio Francés de Defensa, fue responsable de los sistemas French Airforce C3I de 1982 a 1987. Ingresó en Alcatel ISR en 1987 con el cargo de Director adjunto de Marketing y Estrategia. Actualmente dirige dentro de Alcatel ISR el Departamento Air Traffic Management, y también está a cargo del Air Traffic Control Segment dentro del Grupo Alcatel de Radio, Defensa y Espacio.

Euteltracs: Servicio de satélite europeo para vehículos terrestres

J.-N. Colcy, R. Steinhäuser Eutelsat, París, Francia
K. Mock Qualcomm, Nanterre, Francia

Euteltracs proporciona a la industria europea de transportes un servicio integrado de intercambio de mensajes e informes de posición, que tiene como objetivo mejorar los costes, aumentando radicalmente la eficacia, la seguridad y la flexibilidad de las empresas.

Introducción

Euteltracs es el primer servicio europeo de satélites para vehículos terrestres y está en funcionamiento comercial desde Enero de 1991. Su área de negocio es fundamentalmente la industria europea de transporte por carretera, y el servicio comprende comunicaciones bidireccionales en tiempo real entre flotas de vehículos y sus sedes y una precisa información de la posición. Finalmente, el sistema puede también llevar información de la carga y del estado. Euteltracs opera vía satélite proporcionando un área de cobertura que comprende a toda Europa, y a zonas significativas del Norte de Africa y Oriente Medio.

Euteltracs se basa en el mismo diseño del sistema OmniTRACS® desarrollado en EE.UU. por Qualcomm Incorporated y en funcionamiento comercial desde 1989. El sistema fue probado por Qualcomm y Eutelsat, organización europea de satélites de comunicaciones, en Junio y Julio de 1989 en siete países europeos. Tras ello, el consejo de países firmantes de Eutelsat decidió implantar Euteltracs en Europa. Durante 1990, se realizaron con éxito pruebas y demostraciones exhaustivas en todas las zonas de cobertura de los satélites Eutelsat (Figura 1), lo que dio como resultado la introducción en Enero de 1991 del servicio comercial.

Euteltracs está comercializado por un joint venture entre Alcatel y Qualcomm; su red la opera Eutelsat. Se introdujo para solucionar la creciente y cada vez más aguda necesidad europea de un servicio de comunicaciones móviles y de informes de posición que permitiera a la industria del transporte por carretera responder a la fuerte competitividad y a la mayor demanda de calidad de servicio, donde un mayor énfasis en puntualidad de los servicios, en seguridad y en economía ha hecho de las comunicaciones sobre el terreno un factor vital en la ecuación económica del transporte por carretera.

El objetivo de Euteltracs es simplemente la mejora de la productividad y seguridad de las operaciones de la flota de transporte, proporcionando en tiempo real el intercambio bidireccional de mensajes e informes de posición, así como el facilitar la integración de los datos en los sistemas de gestión de los clientes. El negocio explota la potencial cobertura paneuropea de los satélites Eutelsat y la existente tecnología del sistema de comunicaciones móviles OmniTRACS para ofrecer un servicio seguro de bajo coste y alta eficacia.

Arquitectura del sistema

Los cinco elementos básicos del sistema Euteltracs, mostrados en la Figura 2, son:

— el ordenador del cliente en el centro de mando (y su conexión a un centro de gestión de red del suministrador del servicio), que permite al cliente enviar y recibir mensajes y acceder a la información de posición de su flota móvil
— el centro de gestión de red del suministrador del servicio (SNMC) y su conexión a la estación central, que procesa y mantiene los datos de todas las transacciones con los clientes
— la estación central, que consta de dos antenas y sus secciones aso-

Figura 1 - Area de cobertura del servicio Euteltracs

ciadas de multifrecuencia (RF), y las utilidades del terminal central (HTF), cuyas principales funciones son procesar, controlar y supervisar el flujo de tráfico (mensajes e información de posición) entre los centros de gestión de red del suministrador del servicio y los móviles terrestres. En particular, las utilidades del terminal central proporcionan todas las funciones necesarias para controlar el acceso al satélite en ambas direcciones (base a móvil y móvil a base)

— los satélites Eutelsat, que son usados para transmitir la portadora del enlace emisor (transmitida por la antena central primaria a los móviles), y las portadoras del enlace de retorno (transmitidas por los móviles hacia la antena central primaria) y el radiofaro de exploración (transmitido por la antena central secundaria)

— el terminal de comunicaciones móviles Euteltracs (MCT), instalado en el vehículo, por medio del cual el conductor puede recibir mensajes de su base y transmitir sus mensajes de respuesta. El mismo terminal de comunicaciones móviles se usa para realizar las medidas necesarias del servicio de informes de posición.

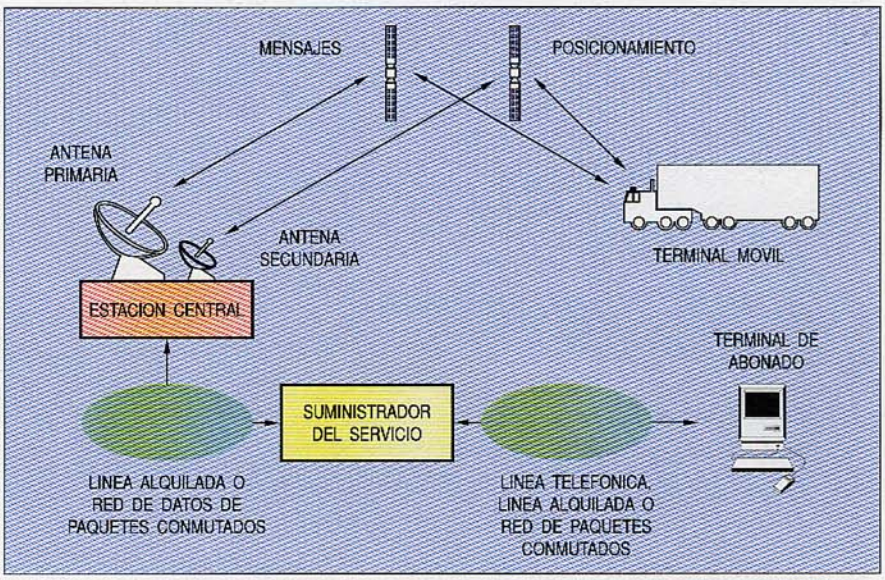


Figura 2 - Arquitectura de la red Euteltracs

El servicio de mensajes de Euteltracs opera a través de dos transpondedores de un satélite donde la anchura de banda y potencia se asignan al enlace emisor y al de retorno respectivamente. El enlace emisor es un enlace de "potencia", que requiere normalmente un transpondedor saturado para maximizar la densidad de flujo de potencia sobre la superficie terrestre. Los enlaces de retorno son enlaces "de anchura de banda", que requieren hasta 36 MHz de anchura de banda (para 45 000 móviles) pero poca potencia.

El enlace emisor es un enlace de comunicación de portadora única, transmitida por la estación central y recibida por el MCT. La forma de onda del enlace emisor se mezcla con una forma de onda "chirp" para mitigar las posibles interferencias desde/hacia los satélites próximos y la atenuación de caminos múltiples. La señal del enlace emisor es de 2 MHz de anchura. La información de datos se envía a velocidades de 4960 bit/seg (BPSK, velocidad 1/2 Golay codificada) llamada velocidad 1X ó 14880 bit/seg (QPSK, velocidad código 3/4) llamada velocidad 3X. Esto da como resultado una forma de onda PSK constante de 9,92 ksímbolos/segundo que ocupa 9,92 kHz de anchura de banda. La elección de la velocidad real utilizada por cada MCT individual se realiza dinámicamente por la estación central y depende del medio de recepción del móvil.

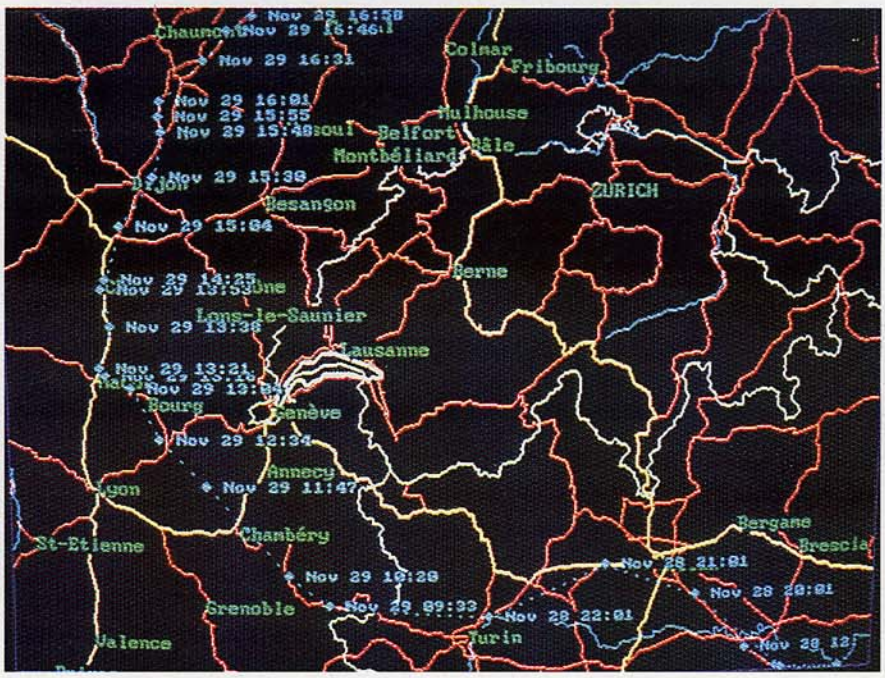
El enlace emisor se divide en 25 canales multiplexados por división de tiempo (TDM). El ordenador central de gestión de la red (HNMC) recoge los mensajes de datos y los empaqueta, añadiendo automáticamente la información de cabecera. Los paquetes son entonces enviados a los canales TDM del enlace emisor.

El número de canales del enlace de retorno (la capacidad máxima del enlace de retorno) se calcula basándose en su anchura de banda, que va desde 5 MHz hasta la anchura del transpondedor (36 MHz). El MCT empaqueta los datos de los mensajes y la información de posición, añadiendo la información de cabecera necesaria.

Como en el enlace emisor, el de retorno puede usar, bajo control de la estación central, dos velocidades diferentes, dependiendo del entorno del móvil, ó 55 bit/seg (1X) ó 165 bit/seg (3X).

Para que el MCT pueda transmitir y utilizar el enlace de retorno, el enlace emisor se debe seleccionar de tal forma que se puedan obtener las instrucciones para usar el canal de retorno de frecuencia adecuado y además el MCT debe apuntar correctamente hacia el satélite. El operador del MCT no tiene control para forzar el uso del enlace de retorno y debe tener una recepción adecuada del enlace emisor por el MCT para operar a través de los canales del enlace de retorno. Los MCT solo transmiten datos sobre el enlace de retorno como respuesta a un paquete del enlace emisor (datos, secuencia de exploración o gestión de red). El tráfico del enlace de retorno está totalmente coordinado y controlado por el HNMC.

El método de determinación de posición Euteltracs Automatic Sate-



Ejemplo de mapa Euteltracs mostrado en la pantalla del vehículo

llite Position Reporting (ASPR), diseñado por Qualcomm, requiere el uso de una señal de baja potencia del enlace emisor transmitida por la antena central secundaria a través de un segundo satélite denominado satélite explorador. Antes de comenzar la transmisión, el MCT mueve su antena direccional hacia el explorador para una adquisición rápida de su señal de exploración. El MCT calcula la diferencia de tiempo entre las dos formas de onda de las señales de mensajes y de exploración recibidas (tiempo Delta) y la incluye en la transmisión hacia el HNMC en un mensaje en el enlace de retorno. Esta diferencia de tiempo es utilizada por el HNMC, mandándola junto con otros datos de tiempos a la posición del MCT en tierra.

Servicio de mensajería

Cualquier mensaje de formato libre enviado vía Euteltracs, o desde el puesto de mando de la flota a sus vehículos, o desde cualquier vehículo hacia su puesto de mando, puede tener hasta 1900 caracteres. Alternativamente, se pueden usar hasta 63 macro mensajes (mensajes normalizados preformateados con blancos para rellenar) en ambos sentidos, desde o hacia el vehículo para ahorrar tiempo de transmisión y costes e incrementar la facilidad de uso. En el MCT se pueden almacenar hasta cien mensajes recibidos y transmitidos.

Aplicaciones de la mensajería de textos son el reparto de, por ejemplo, asignaciones de carga, direcciones, cambios en la programación de repartos e informes de estado. Hay también una opción de mensaje de emergencia de atención inmediata.

Además de los mensajes de texto, el sistema también soporta la transmisión de paquetes binarios. Estos paquetes son mensajes arbitrarios de muestras de bits, que se entregan a la unidad de comunicaciones MCT usando el protocolo de interfaz móvil. El interfaz usa un protocolo síncrono desarrollado por Qualcomm y utiliza una línea física RS-232. Los paquetes binarios originados en un dispositivo externo permiten un método sencillo para pasar datos cifrados si se desea.

Son aplicaciones de los paquetes binarios la transmisión de información de carga, camión o trailer.

Las transferencias de todos los mensajes y paquetes binarios son transacciones con total reconocimiento en ambas direcciones, enlace de emisión y de retorno. Todas las transferencias incluyen un chequeo de errores para asegurar la validez de los datos. Solo los mensajes que superan la validación son reconocidos y procesados por el sistema.

Servicio de informes de posición

El sistema Euteltracs proporciona al puesto de mando un informe de posición de cada móvil bajo su control, con una precisión de ±300 m.

El cálculo de la posición se obtiene por la transmisión de una señal al móvil vía dos satélites diferentes en órbita geoestacionaria. El MCT mide la diferencia de tiempos entre las dos formas de onda y la retransmite hacia la estación central. Además, durante el intercambio de datos la estación central mide el retardo secundario (RTD) desde la estación central al MCT y su vuelta de cada MCT de la red. Estas dos señales de información de tiempos las usa (conjuntamente con una base de datos de modelos de altitud) el ordenador de la estación central para calcular la posición del vehículo por multilateración.

La información de la posición del vehículo es procesada por el ordenador personal del puesto de mando, equipado con una aplicación software especializada, para:

— visualizar en pantalla los vehículos en su posición actual sobre un mapa que presenta las carreteras y ciudades más importantes
— cambiar la escala del mapa presentado (diferentes ampliaciones de la cobertura total del satélite hasta 60 x 90 km)
— visualizar hasta 120 posiciones previas de cualquier vehículo sobre el mapa
— proporcionar la fecha y la hora de cada posición de vehículo sobre el mapa

— visualizar las posiciones de los vehículos tanto en forma de texto, dando la distancia (en millas o kilómetros a elección) y la orientación de la ciudad/pueblo/lugar geográfico más próximo o indicando la longitud y latitud, como gráficamente sobre un mapa de carreteras de toda Europa, incluyendo los países de Europa del Este
— mostrar la distancia aproximada desde un vehículo seleccionado hasta cualquier ciudad o lugar geográfico en todo momento
— visualizar los vehículos que se encuentran a una distancia dada de una posición específica para permitir al puesto de mando el enviarles un mensaje
— apuntar a un determinado vehículo o posición geográfica, u obtener una panorámica de todo el territorio del mapa utilizando las funciones de zoom y de panorámica
— incluir posiciones determinadas (almacenes, locales de clientes, etc.) bien como posiciones geográficas en el mapa, bien en forma de texto.

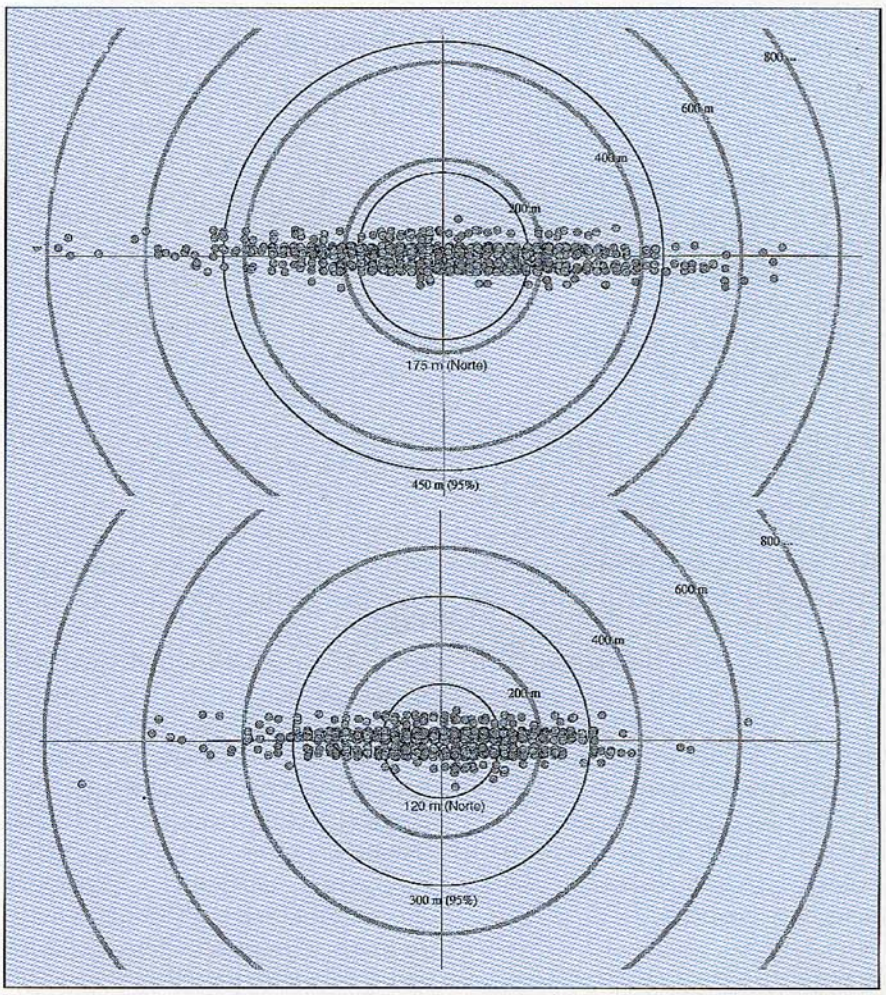


Figura 3 - Informes de posición de Euteltracs. El diagrama superior muestra los resultados de 1050 medidas tomadas con una separación angular de 6°. El inferior muestra los resultados de 1000 medidas tomadas con una separación angular de 9°. Arriba el Norte.

Precisión en el cálculo de la posición

Para evaluar la precisión del sistema de información de posición de Euteltracs, se realizó una prueba de campo.

Coches equipados con terminales de comunicaciones móviles se condujeron en diferentes clases de entornos. Los conductores pararon en puntos predeterminados describiendo lo más precisamente posible su posición exacta. Una vez parados enviaron varias decenas de mensajes y las latitudes/longitudes del informe de posición se registraron con una resolución igual a una diezmilésima de grado de arco (alrededor de diez metros) para poder realizar un análisis estadístico de la precisión del sistema de informes de posición.

Se establecieron las posiciones exactas usando mapas de alta precisión y/o un receptor GPS (sistema de posicionamiento global).

Los errores de posición se han analizado teniendo en cuenta dos componentes:
— un error sesgado de posición entre el valor medio medido dado por el sistema de informe de posición y las coordenadas exactas, que se debe principalmente a la falta de precisión del modelo de altitud (error norte-sur)
— un error aleatorio entre las diferentes medidas de una posición determinada, que puede describirse en términos del valor medio y de la desviación típica o en términos de error máximo con un intervalo de confianza dado. Este tipo de error es repetitivo y su media y desviación típica dependerá de la separación angular entre los dos satélites, de la precisión temporal de las diferentes señales y de la precisión de posicionamiento de los dos satélites.

Las medidas se realizaron en diferentes posiciones, incluso en terrenos con colinas y montañosos, con una separación angular de los satélites igual a 9°, 6° y 3° y con una latitudes que iban desde 25°N (desierto del Sahara) hasta 70°N (Finlandia).

Estas medidas demostraron claramente que uno de los principales parámetros a considerar para la precisión del informe de posición es la separación angular entre los dos satélites. El valor medio de la preci-

sión mejora de 500 a 120 metros y la precisión garantizada (nivel de confianza del 95%) mejora de 1200 a 300 metros cuando el ángulo varía de 3° a 9°.

Este efecto pude verse claramente en los dos diagramas de dispersión mostrados en la Figura 3, que representan los valores medidos cuando el vehículo estaba posicionado en el mismo punto. Estos resultados confirman que el error aleatorio es inversamente proporcional a la separación orbital entre los dos satélites.

Otras pruebas han mostrado que la precisión (nivel de confianza del 95%) mejora hasta 250 metros con una separación angular mayor de 14,5°.

La Figura 4 muestra la precisión del informe de posición respecto a la separación angular de los satélites.

Se puede indicar que la configuración espacial usada actualmente en el sistema Euteltracs da una precisión de alrededor de 300 metros (valor medio 120 metros) con un 95% de nivel de confianza.

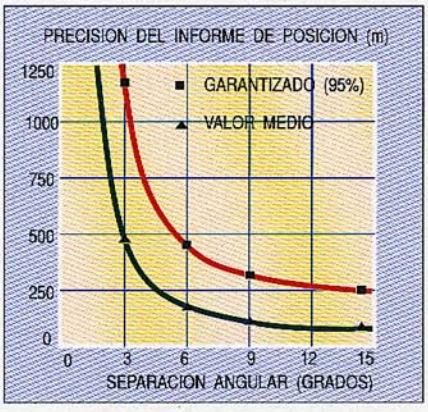


Figura 4 - Precisión del informe de posición respecto a la separación angular del satélite

Despliegue comercial

En términos de despliegue comercial, Euteltracs opera por suministradores de servicios nacionales o regionales, cada uno de ellos conectado a la estación central operada por Eutelsat desde una base en las afueras de París. El usuario final tiene por tanto la doble ventaja de poder explotar productos y servicios paneuropeos y al mismo tiempo tratar directamente las necesidades de cada día con una gestión de servicios local y accesible inmediatamente.

Con ello, la responsabilidad total del servicio Euteltracs se reparte principalmente entre tres partes. Como suministrador de la red, Eutelsat proporciona el segmento espacial, la capacidad del satélite, y la facilidad de estación central. También es responsable de la supervisión y control de la red durante las operaciones de Euteltracs. Todos los aspectos relativos al hardware y software del sistema y a los mismos terminales móviles los realiza Alcatel Qualcomm, que también tiene la responsabilidad total del marketing. Finalmente, los suministradores regionales del servicio negocian con los usuarios finales y actúan como interfaz entre sus clientes y el suministrador de red. Los suministradores del servicio explotan centros individuales de gestión de red de servicios (SNMC) en su propia región, desde donde canalizan el tráfico de sus clientes hacia la estación central; consecuentemente, son los suministradores del servicio quienes facturan a los usuarios finales las transacciones, el equipo y software así como la instalación, mantenimiento y entrenamiento.

Para el operador de la flota de vehículos, Euteltracs es una herramienta valiosa dirigida a incrementar la eficacia, reducir la carga, mejorar la competitividad, asegurar la calidad aprobada, con una máxima seguridad y mejora de la puntualidad de las entregas.

La coordinación de las actividades de la flota de vehículos con el sistema Euteltracs proporciona un menor tiempo perdido en la carretera, un significativo descenso del kilometraje en vacío y una planificación más eficaz. Se ha demostrado que los gastos de carburante y mantenimiento se han reducido, que las fechas de entrega se pueden garantizar con un mayor grado de precisión y que aumenta significativamente la flexibilidad de las flotas.

Las ventajas del sistema para la supervisión de entregas críticas y el suministro de información en tiempo real del estado de mercancías perecederas son considerables, como lo son las facilidades de seguimiento y transmisión de avisos de emergencia de mercancías peligrosas y cargas valiosas.

Finalmente, al tiempo que las industrias de producción continúan esforzándose por alcanzar márgenes más estrechos y producción más racionalizada empleando los últimos métodos de producciones puntuales, las compañías de transportes pueden usar Euteltracs para reencaminar cargamentos o cambiar los puntos de recogida dinámicamente, reduciendo así retrasos e incrementando la flexibilidad del transporte.

A diferencia de cualquier competidor, o existente o posible, en el campo de las comunicaciones móviles terrestres, Euteltracs ofrece ventajas específicas a los usuarios finales hechas a la medida de las necesidades de la industria europea del transporte como:

— un sistema de informes de posición y mensajería totalmente integrado: no se necesita equipo o coste extra debido al informe de posición
— un sistema de bajo coste de entrada: el desarrollo de una tecnología de comunicaciones que puede explotar la capacidad de satélites no dedicados - precisa incluso cuando están en órbita inclinada - ha dado como resultado un sistema que ofrece disponibilidad garantizada, a largo plazo y una gran rentabilidad
— un servicio comercial completo y único: el usuario final obtiene el servicio completo de un único vendedor incluyendo, subscripción, terminales, transacciones, software, instalación, mantenimiento y financiación
— cobertura total del territorio: los satélites Eutelsat aseguran el

acceso permanente total al sistema en toda Europa incluso en zonas montañosas y áreas de baja densidad de tráfico
— está diseñado para aplicaciones regionales europeas: solo se necesita una estación central, lo que lleva a una gestión de red optimizada y de respuesta rápida
— un sistema comprobado: la tecnología Euteltracs está bien establecida y un gran número de terminales están ya instalados en todo el mundo
— comunicaciones de ordenadores integrada: los mensajes se transmiten como datos compatibles con ordenadores, y pueden utilizarse en un proceso posterior en ambos extremos del enlace de datos
— sistema totalmente armónico en aplicaciones móviles terrestres: la modulación, codificación y esquema de acceso al satélite, así como los protocolos empleados, están adaptados para hacer frente a las condiciones ambientales radioeléctricas y topográficas de los móviles terrestres
— sistema de grupo cerrado de usuarios seguro: no puede haber intrusiones en el sistema.

Conclusiones

Euteltracs es un servicio de satélite para móviles terrestres que ofrece un completo e integrado servicio de mensajería e informes de posición a operadores de flotas de vehículos para toda Europa, Norte de Africa y Oriente Medio. Todas las opciones de comunicaciones trabajan en tiempo real y los datos comunicados se transmiten en formato digital que se pueden usar directamente en procesos suplementarios de ordenadores. Los usuarios finales pueden gozar de los beneficios de un servicio paneuropeo teniendo al mismo tiempo acceso directo a los suministradores regionales del servicio, lo que asegura la gestión del sistema a nivel local.

Jean-Noël Colcy nació en Tarbes, Francia, en 1953. Se graduó como Master en Electrónica, Ingeniería Eléctrica y Automoción por la Universidad de Provenza, Francia, en 1977, y recibió el titulo de ingeniería en comunicaciones de radio y radar en la Escuela Superior de Electricidad de Gif-sur-Yvette, Francia, en 1980. Desde 1980 hasta 1987 estuvo en Matra Space and Defence en Francia, donde participó en la planificación y desarrollo de nuevos sistemas de comunicación por satélite en I+D y producción. En 1987 entró en la organización de Eutelsat, en París, donde actualmente se encarga de las comunicaciones personales y móviles dentro del departamento técnico. Su trabajo está principalmente relacionado con las futuras comunicaciones avanzadas personales y móviles. El Sr Colcy es el representante de Eutelsat en el grupo de normalización de las estaciones de tierra para móviles terrestres del ETSI.

Rafael Steinhäuser nació en Buenos Aires en 1959. Obtuvo la graduación de Master en Ciencias en Ingeniería Aeroespacial por la Universidad Técnica de Berlín en 1984. Después de su graduación trabajó durante cinco años en el centro de Standard Elektrik Lorenz AG y Siemens AG como ingeniero de ventas y de proyecto de Sistemas de Navegación Aérea y equipos de telecomunicación para Control de Tráfico Aéreo. En 1990 trabajó como director del departamento de marketing y ventas de la compañía de comunicaciones vía satélite Locstar SA. En 1991 entró en Eutelsat como director de Servicios Móviles. Es responsable de la implantación y promoción del Servicio de Satélite para móviles Terrestres de Euteltracs. Además, El Sr Steinhäuser dirige el desarrollo de los servicios móviles de Eutelsat y la implantación de la estrategia futura.

Kimberly Mock nació en Evansville, Indiana, en 1961. Recibió la licenciatura en Historia del Arte por la Universidad de Denison en 1983, mas tarde estudió durante un año en la Sorbona y en Ciencias Políticas. Posteriormente trabajó en pleitos sobre corporaciones, patentes y marcas registradas en Nueva York. En 1989 obtuvo el Master en Lenguaje y Literatura Francesa por la Universidad de Boston. En 1990 fue directora de Marketing de Comunicaciones de Alcatel Qualcomm, joint venture destinado a introducir el negocio Euteltracs en Europa. En Noviembre de 1992 la Sra Mock pasó al Departamento de Publicidad y Relaciones Corporativas de Alcatel Radio Espacio y Defensa.

Herramientas de simulación de una MAN Alcatel: Resultados del funcionamiento de una red real

L. Vivoli, S. Pimazzoni
Alcatel Italia, Sesto Fiorentino, Italia

La evaluación del funcionamiento y el dimensionado de las redes de banda ancha requiere la realización de unas simulaciones y medidas muy precisas en la etapa de planificación. Un conjunto de herramientas, desarrolladas por Alcatel Italia, proporcionan a partir de los parámetros mas relevantes una evaluación realista del comportamiento de una MAN.

Introducción

Las herramientas de software comúnmente utilizadas se consideran inadecuadas para simular el sistema de MAN (red de área metropolitana) de Alcatel descrito en este artículo, en lo que se refiere a los aspectos de arquitectura, funcionalidad y operatividad.

El funcionamiento de la MAN Alcatel y de las LAN (redes de área local) interconectadas se ve afectado no solo por el protocolo de acceso al bus dual de colas distribuidas (DQDB) sino también por todos aquellos parámetros que toman parte en el funcionamiento global del sistema. Se deben considerar no solo las características de las aplicaciones que funcionan de ordenador a ordenador, sino también las demás condiciones de contorno, siendo las más importantes las siguientes:

— las condiciones generales de tráfico de las LAN interconectadas, y el comportamiento de las LAN en función del tráfico total
— el comportamiento real de la MAN: la modalidad de los protocolos DQDB de transporte y de interconexión de subredes: con reagrupamiento de paquetes o utilizando un intervalo de tiempo para el transporte entre subredes, es decir en la pasarela
— las características del interfaz de usuario (funcionalidad de conexionado o encaminamiento).

Dado que todas estas condiciones son importantes a la hora de simular una red real, es evidente que un simulador clásico del bus DQDB no es suficiente para evaluar el funcionamiento del sistema global.

Con el conjunto de herramientas desarrolladas por Alcatel SIETTE, en particular "LAN MODEL", "AMAN SIMUL" y "DQDB SIMUL", se puede simular el comportamiento de una red real, en lo relativo a aplicaciones de usuario y a todos los demás aspectos y condiciones anteriormente descritos.

El objetivo de este artículo es presentar este conjunto de herramientas, y mostrar un ejemplo de simulación que se refiere a una instalación futura de una MAN Alcatel en Florencia. Para mostrar con claridad los pasos necesarios que han de evaluarse en una simulación, se incluye una breve descripción de la MAN Alcatel.

Arquitectura de la MAN

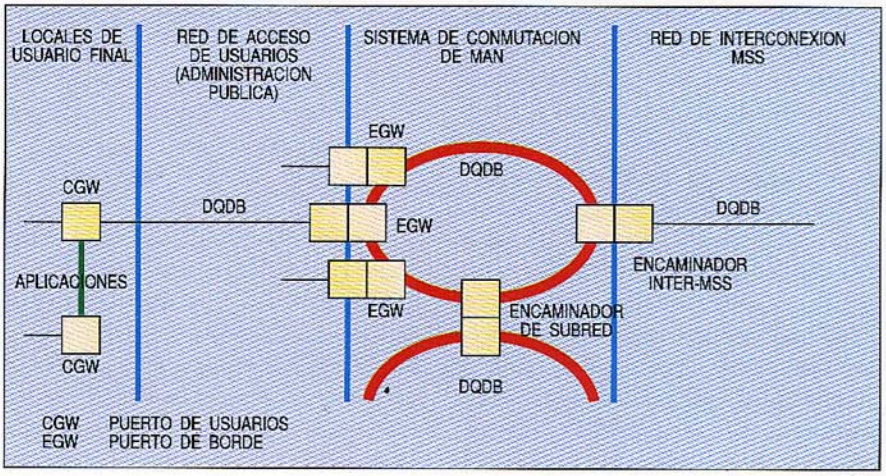
Los productos MAN [3,6], basados en normas IEEE y ETSI, funcionan en un medio de banda ancha, cuyos accesos se comparten entre varios nodos, controlados por un protocolo de acceso múltiple distribuido, llamado bus dual de colas distribuidas (DQDB).

En la Figura 1 se muestra una arquitectura genérica de una MAN, la cual se puede subdividir en varios niveles de conmutación:

— las instalaciones del usuario
— la red de acceso de los usuarios (CAN)
— el sistema de conmutación de la MAN (MSS)
— la red de interconexión del MSS (I-MSS)

En el nivel local del usuario se encuentra la denominada *pasarela de usuario*, que ofrece los interfaces físicos con los terminales de usuario distante (LAN, codec, múltiplex, etc.).

Figura 1 - Arquitectura de la MAN Alcatel



La CAN (red de acceso de usuarios) es una subred DQDB, que interconecta el puerto de usuario con la *pasarela frontal*, que representa el punto de acceso al MSS, donde se realizan las funciones de gestión, incluyendo las tareas de tarificación.

La CAN puede estar parcialmente distribuida en un campus privado o en un edificio, con el objeto de interconectar físicamente las pasarelas de usuario pertenecientes a un mismo área, y de encaminar su tráfico hacia el MSS externo.

El MSS es la espina dorsal de la red pública, y puede estar compuesto de múltiples subredes DQDB interconectadas, usando el dispositivo de *encaminamiento de subred MAN*. Una subred DQDB puede dar cobertura como máximo a un área de unos 100 km de diámetro, mientras que una MAN de encaminamiento con conexiones punto a punto entre subredes DQDB no tiene limitación. Ello hace posible cubrir áreas urbanas, e incluso zonas geográficas mas amplias con un único MSS.

En la actualidad, los enlaces de transmisión usan líneas de 34 ó 140 Mbit/seg basadas en la recomendación G.703. En el futuro se adoptarán líneas de baja velocidad a 2 Mbit/seg y líneas JDS (velocidades de 155 Mbit/seg y superiores).

Los sistemas múltiples de conmutación de MAN se interconectan mediante un dispositivo especial de encaminamiento inter-MSS.

La instalación física de la MAN requiere la definición de los recursos físicos necesarios para la realización del esquema topológico, de acuerdo con la jerarquía de emplazamientos (1), bastidores (2), unidades (3) y módulos físicos (4).

Los emplazamientos son los espacios físicos en donde se van a montar los bastidores, ya sea en las instalaciones del usuario o del suministrador del servicio.

Cada bastidor debe contener las unidades que constituyen los nodos físico de una subred DQDB. Las unidades se componen de varios equipos enchufables que proporcionan la interconexión con los equipos terminales de transmisión, y suministran las señales de sincronización, la generación de la trama DQDB y el control de reconfiguración, así como otras funciones rutinarias.

Los módulos físicos se instalan en las ranuras de las unidades, y constituyen la plataforma de equipamiento que permite la implantación de los servicios definidos por la parte lógica de la instalación.

El módulo enchufable más importante es la unidad de acceso y de proceso de paquetes (PPAU), que realiza el protocolo DQDB sobre los datos que se transportan en la MAN. Un procesador de paquetes, dentro de la misma unidad, conectado a un módulo de pasarela con la LAN, constituye la plataforma física de una pasarela de usuario.

Las pasarelas frontales consisten en dos procesadores de paquetes conectados mediante un módulo interfaz, dando cada uno de ellos acceso a un bus dual diferente, bien CAN ó MSS. Uno de los procesadores se instala en una unidad del CAN y representa así la *pasarela frontal CAN*, mientras que el otro se instala en una unidad del MSS, y realiza las funciones de *pasarela frontal MSS*. Esta arquitectura de red, que se corresponde con las versiones 1.0, 1.1A y 1.1B del producto, permanecerá sin modificaciones hasta mediados de 1993 cuando se añadirán nuevos equipos y servicios en la versión 1.1C.

Descripción de las herramientas

En las herramientas normales de simulaciones de redes de área local, el comportamiento de una aplicación real se simula mediante procesos de Poisson y Gauss para realizar aproximaciones de las fuentes de tráfico. Existen múltiples razones por las que este modelo se acepta "universalmente", y por las que se considera como "correcto" para este objetivo.

No obstante, aunque la función mas importante de una red de área metropolitana es la interconexión de redes LAN remotas, para su simulación se requieren múltiples herramientas generadoras de tráfico que utilizan de forma común procesos de Poisson y Gauss. Si bien este modelo puede ser correcto para un estudio general de los protocolos MAC y su comparación, presenta un elemento restrictivo cuando se trata de simular el comportamiento de una red real.

En las instalaciones MAN reales, las redes Ethernet y Token Ring interconectadas retardan y limitan la transmisión hacia la red exterior de los paquetes generadas por aplicaciones reales. Este hecho limita la anchura de banda disponible y representa un verdadero cuello de botella para el sistema global de interconexión. En una correcta representación del sistema real, los "protocolos de LAN" se deberán considerar y simular de forma similar a los de la MAN.

Otro aspecto importante no considerado por los simuladores clásicos es que tratan con protocolos MAC de acceso, pero no con el comportamiento de redes *reales* atendiendo a su diseño, funcionalidad y aplicaciones.

En el caso concreto de la red MAN Alcatel en una configuración pública, que consta de múltiples subredes DQDB interconectadas y con diferentes tipos de interfaz de usuario, para que una herramienta de planificación sea eficaz debe ser capaz de simular la interconexión entre subredes, así como los diferentes tipos de interfaz de usuario en las pasarelas a nivel de encaminador y los accesos isócronos.

En una estimación correcta del funcionamiento del sistema global (aplicaciones, redes LAN y MAN para conexiones distantes) se debe evaluar cada paso, y si es posible, simular en tiempo real, a fin de poder prever la forma en que el sistema global reaccionará ante los estímulos externos.

Este problema se resuelve mediante el juego de herramientas software LAN MODEL, DQDB SIMUL y AMAN SIMUL. Se han desarrollado en el sistema operativo DOS con la

versión 6.0 del sistema de desarrollo C Professional de Microsoft y la base de datos c-tree, versión 4.3, de Faircom.

LAN MODEL

Las más importantes aplicaciones de una MAN se obtienen mediante el servicio de interconexión de LAN distantes.

En lo que se refiere a las actividades de simulación, el modelado de fuentes de tráfico por métodos tradicionales (p. ej., Poisson o Gauss) es aceptable para la simulación de una LAN, pero no para una MAN en una configuración pública, donde hay que considerar la existencia de la LAN entre la aplicación del usuario final y la red MAN. Es más, la propiedad matemática por la que una combinación de varios procesos de Poisson independientes genera otro proceso de Poisson deja de ser válida en este caso. De hecho cada paquete compite con los demás para ganar el acceso al canal, de forma que los tiempos entre llegadas ya no son enteramente independientes.

Con la herramienta LAN MODEL se consiguen unas fuentes de tráfico entre redes LAN más precisas. El fin de esta herramienta es modelar el tráfico generado por las aplicaciones reales de una LAN, como Ethernet o Token Ring y que se encamina hacia una red exterior. Cada paquete se procesa de acuerdo con su aplicación específica en la LAN, a fin de evaluar de forma real el retardo introducido por los protocolos de acceso, (CSMA/CD, Token Passing).

El modelo

La idea básica de la herramienta LAN MODEL es simular el tráfico generado en las LAN por aplicaciones reales sin referirse necesariamente a todos lo protocolos de acceso, sino, de una forma más rápida y más simple, concentrándose en la obtención de las curvas básicas de eficiencia (retardo de transferencia medio en función del flujo de información) con los resultados de la simulación disponibles.

Los resultados de eficiencia obtenidos por este método difieren de los resultados teóricos hasta en un 10%: aproximación que puede ser lo suficientemente buena, especialmente en lo relativo a la reducción del tiempo de procesamiento requerido.

Las curvas matemáticas reflejan el retardo medio de los paquetes transmitidos con relación a la utilización de la red (flujo). Estas curvas dependen de dos parámetros:

— el protocolo de la LAN (CSMA/CD ó Token Ring)
— la longitud media de los paquetes transmitidos.

El modelo consiste en describir una familia de curvas por cada tipo de LAN. Cada curva define, dada una longitud de paquete, el retardo medio de los paquetes transmitidos en función del tráfico en el bus.

En el algoritmo, los paquetes procedentes de una estación individual se generan mediante unos generadores seudoaleatorios. A continuación, cada paquete se retarda o rechaza de acuerdo con las condiciones momentáneas del tráfico de la LAN y de la curva definida por la longitud media del paquete. Este programa, en particular, evalúa el retardo medio esperado en función de la curva. Este parámetro se redistribuye posteriormente de acuerdo con el tipo de LAN a fin de calcular el retardo final de cada paquete.

Normas

El programa LAN MODEL es capaz de simular el tráfico generado por aplicaciones reales que funcionan en las siguientes LAN basadas en IEEE 802.X:

— Ethernet a 10 Mbit/seg IEEE 802.3
— Token Ring a 4 Mbit/seg IEEE 802.5
— Token Ring a 16 Mbit/seg IEEE 802.5
— Token Bus a 1 Mbit/seg IEEE 802.4
— Token Bus a 5 Mbit/seg IEEE 802.4.

En lo que respecta a las aplicaciones de la MAN Alcatel, solo se utilizan las tres primeras normas.

Entrada y salida

Los parámetros primarios de entrada necesarios para definir un entorno de aplicaciones que funcionan en una LAN son el tipo de LAN y el número de aplicaciones. Por cada aplicación, hay que especificar:

— duración media
— dirección del nodo destinatario
— promedio de paquetes generados por segundo
— longitudes de los paquetes generados
— porcentaje de cada longitud de paquetes.

Los resultados de la simulación se graban en dos ficheros. El primero contiene estadísticas generales del tráfico de la LAN, incluyendo la longitud media de los paquetes, flujo, retardo medio de transferencia, etc. El segundo define el tráfico generado por el LAN MODEL, y corresponde al tráfico generado por la LAN y enviado a una LAN distante a través de la MAN. Este fichero es la entrada para la herramienta AMAN SIMUL y consta de una serie de registros, uno por paquete, que contienen la información siguiente:

— el instante (en μseg) en que el paquete alcanza la pasarela de la LAN
— la longitud del paquete en bytes
— el punto de destino de la CGW (pasarela de usuario) hacia donde debe transferirse el paquete.

DQDB SIMUL

La herramienta DQDB SIMUL permite simular el comportamiento del protocolo de comunicación y de acceso al bus denominado DQDB, que ha sido normalizado por el grupo IEEE 802.6 [3]. Puede ser utilizada

para evaluar el comportamiento del protocolo DQDB bajo diferentes condiciones de tráfico y para compararlo con otros protocolos. Es el programa básico de la AMAN SIMUL, que simula la MAN Alcatel.

El protocolo simulado por DQDB SIMUL es el borrador Versión C.0 de la norma IEEE 802.6, que es la empleada en la implantación de la red por Alcatel. La subred DQDB se simula mediante un par de buses contradireccionales, sobre los que se transmite las tramas cada 125 µseg. La trama se representa por un número entero de intervalos de tiempo. La información adicional de principio y fin de la trama así como las correspondientes a los intervalos de tiempo se concentran en el primer intervalo, el cual no se utiliza para el transporte de información en el programa de simulación. Esta realización del programa de simulación es particularmente adecuada para sistemas de transmisión plesiócronos G.703 a 34 y 140 Mbit/seg, en los que la trama se representa en intervalos de 1+6 y 1+27, respectivamente.

La composición de la trama, con intervalos dedicados a comunicaciones isócronas y otros asignados para ser accedidos a través de colas del tráfico de datos, se determina con los datos de entrada al programa, de forma que también se pueden evaluar durante la simulación comunicaciones isócronas.

La velocidad de la luz en el sistema de transmisión se fija a 200 000 km/seg y es un dato del programa no modificable. El número y distribución de nodos sobre el bus se define mediante los datos de entrada.

La fuente de tráfico de cada nodo de la subred se realiza de acuerdo con un modelo de Poisson. La longitud de cada paquete es igual al tamaño del intervalo de tiempo y se requiere la transmisión de un único intervalo sobre el bus DQDB (es decir, un mensaje de un único segmento).

El tráfico total ofrecido a la subred debe ser definido como dato de entrada. Este parámetro se describe por el número de paquetes por intervalo. El valor máximo de este número es función de la composición de la trama en términos de los intervalos dedicados a comunicaciones isócronas y los asignados a colas. Puede advertirse que el intervalo dedicado a la información adicional, así como los dedicados a los canales isócronos, reduce el ancho de banda disponible para intervalos asignados a colas. Por ejemplo, en un bus DQDB a 140 Mbit/seg, donde se simularon 28 intervalos a 125 µseg, la anchura de banda disponible se redujo desde un valor teórico máximo de 2,0 a un valor de 1,92, debido a la información adicional de inicio y fin de trama. Este valor numérico corresponde a la anchura de banda total disponible, que es igual a:

27*(64 bytes*2)/125 µseg = 221 Mbit/s

El máximo ancho de banda disponible puede dimensionarse con la fórmula siguiente:

(Número de intervalos asignados a colas)*(64 bytes)/125 µseg

El tráfico total puede compartirse entre los diferentes nodos de la subred, bien uniformemente por defecto, o definido para cada nodo por datos de entrada.

En cada nodo, el tráfico sobre el bus A ó B se puede elegir entre una distribución uniforme, es decir el número de paquetes transmitido sobre el bus es proporcional al número de nodos que existan en el camino descendente, o una distribución arbitraria. El primer criterio se selecciona por defecto, mientras que el segundo se define mediante datos de entrada.

Al final de la simulación, DQDB SIMUL genera un fichero con los parámetros de funcionamiento de cada nodo:

— flujo, en número de paquetes por intervalo y de paquetes perdidos, si procede
— retardo de acceso medio, en microsegundos, que consta del tiempo medio de espera en la cola y del tiempo medio de transmisión

AMAN SIMUL

Es un programa que simula el comportamiento real de una MAN Alcatel, especialmente en lo que respecta a interfaces de usuario e interconexiones con subredes. Permite simular el comportamiento de una MAN Alcatel configurada como red pública, que consta de una subred simple MSS (sistema de conmutación MAN), con subredes de accesos de usuarios múltiples, cada una interconectando un gran número de aplicaciones de MAN (p. ej., interfaces con LAN).

En la actualidad, esta herramienta no considera composiciones de tramas con intervalos dedicados a canales y asignados a colas, ya que la mayoría de las aplicaciones se basan en mecanismos de asignación a colas para el transporte de tráfico de datos.

En esta herramienta, el concepto de nodo se asocia con un módulo de la MAN Alcatel llamado PPAU (unidad de acceso y proceso de paquetes).

Esta herramienta usa como red de referencia la versión 1.1A de la MAN Alcatel, en la actualidad instalada en pruebas de campo europeas. Sin embargo, la flexibilidad del entorno de programación garantiza su ampliación hacia nuevas herramientas, para simular futuras versiones de la MAN Alcatel.

Concretamente, las versiones 1.1C y 1.1D de la MAN Alcatel se caracterizarán por nuevos módulos como las HPPA (PPAU tipo A de alta eficiencia), basadas en nuevos procesadores RISC (ordenador de conjunto de comandos reducido) con mayor capacidad de proceso, y nuevas configuraciones de arquitectura, que incluyen nuevos servicios como el SMDS (servicio de conmutación de datos multimegabit a 1,5 y 45 Mbit/seg), el CBDS (servicio de datos de banda ancha sin conexión a 2 y 34 Mbit/seg) y un repetidor de tramas (2 y 34 Mbit/seg). La herramienta AMAN SIMUL se modificará a su debido tiempo, para incluir estas nuevas características.

Esquema de direccionamiento

Cada subred CAN (numeradas de 1 a N, siendo N el número de CAN interconectadas por el MSS, y N<100) está constituida por un número arbitrario de nodos M_n ($1 \leq n \leq N$). Cada nodo posee su propia dirección m, local a la subred CAN, fijada a lo largo del bus A desde 0 a M_n-1 (es decir $0 \leq m \leq M_n-1$):

— los nodos con dirección local de 0 a M_n-2 representan las denominadas pasarelas de usuario (CGW), que corresponden a las aplicaciones de usuario

— el nodo con dirección M_n-1 es la pasarela de frontera o borde CAN (EGW-CAN), que es responsable de interconectar CAN y MSS

— el nodo del lado del MSS, correspondiente a EGW-CAN, se denomina pasarela de borde MSS (EGW-MSS). Su dirección varía entre 0 y N-1, correspondiendo cada una de ellas al número (n) de la CAN interconectada.

El CGW con dirección local 0 corresponde al nodo más distante del nodo EGW-CAN, y el CGW con dirección local M_n-2 al más próximo al nodo EGW-CAN (cuya dirección es M_n-1).

Cada pasarela de usuario se representa por un interfaz de pasarela de LAN (LB) y una PPAU. La subred MSS (subred número 0) consta de N nodos, correspondiendo cada uno a una EGW-MSS. Dichos nodos se numeran de 0 a N-1 a lo largo del bus A. La dirección de cada nodo se asigna de acuerdo a la fórmula (n*100+m).

La Figura 2 muestra el esquema de direccionamiento utilizado para la simulación de la MAN Alcatel.

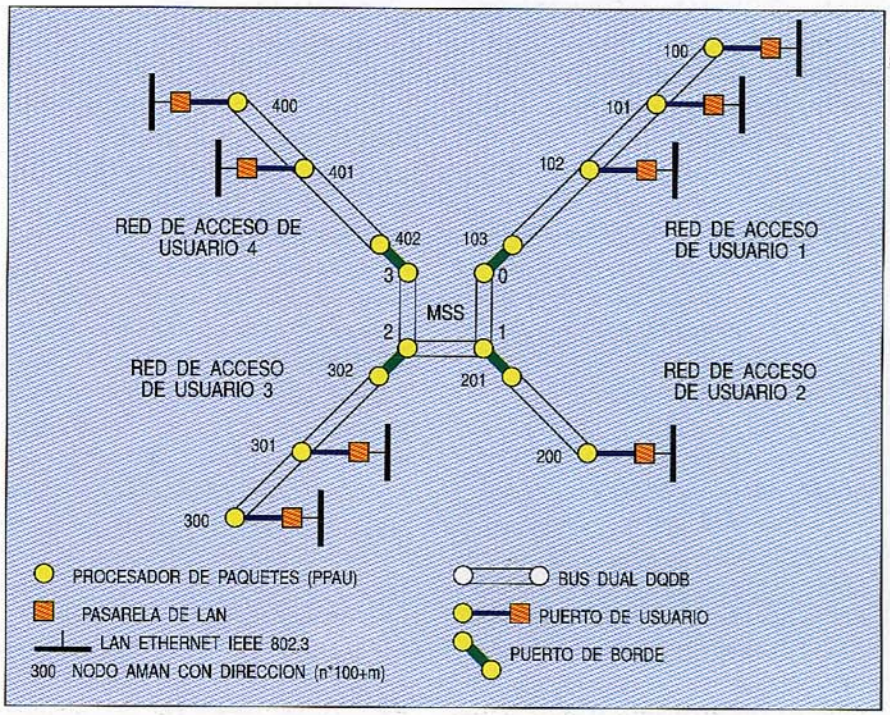


Figura 2 - Esquema de direccionamiento en la MAN Alcatel simulada

El modelo

La pasarela de LAN se simula por dos colas FIFO, una para la recepción de los paquetes procedentes de la LAN, y otra para la transmisión de los paquetes con destino a una LAN distante, a través de la PPAU.

La PPAU consta de cuatro colas FIFO, dos para el lado de la pasarela LAN, y dos para el bus DQDB. Las dos primeras colas se utilizan para la transmisión y recepción de los paquetes de la LAN, desde y hacia la pasarela LAN. Las otras dos colas son para la transmisión de los intervalos de la CAN que se hallan bajo el control del protocolo DQDB.

Se supone que no se producen colas en la recepción del bus DQDB, ya que los chips de la PPAU (circuitos que realizan el protocolo DQDB en la MAN Alcatel) tienen una gran capacidad de tráfico.

Cada CGW consiste en una pasarela LAN y una PPAU, mientras que la EGW consta de dos PPAU conectadas espalda contra espalda, una que accede a la CAN (EGW-CAN) y otra al MSS (EGW-MSS). Estos módulos, simulados de acuerdo al modelo descrito anteriormente, generan un retardo por cada paquete (tiempo de servicio). Este retardo depende de la longitud del paquete y del tráfico local.

La velocidad de la luz en el sistema de transmisión se fija a 200 000 km/seg, como dato no modificable, en la herramienta. El número y la distribución de los nodos son datos de entrada.

Entrada y salida

En cada interfaz LAN de AMAN, la fuente de tráfico se corresponde con los paquetes generados en las LAN por las aplicaciones locales y con destino a una LAN remota; la información de tráfico se graba en un fichero, en el formato definido por modelo de la LAN.

AMAN SIMUL requiere, por cada interfaz LAN, la presencia de un fichero denominado INFILEn.m (siendo n la dirección de la CAN conectada a la LAN, y m la dirección del nodo CGW dentro de la CAN).

El programa LAN MODEL genera los ficheros INFILEn.m de acuerdo con el número y tipo de aplicaciones definidos por los datos de entrada, a fin de simular el tráfico sobre la LAN conectada. Este fichero consiste en una serie de registros, uno por paquete, tal como se describió anteriormente.

Los índices n y m se definen de acuerdo con el esquema de direccionamiento ya descrito.

Completada la simulación, el programa genera, por cada destino remoto CGW y por cada nodo importante de la AMAN (las PPAU de EGW-

CAN y EGW-MAN), un fichero de salida llamado OUTFILEn.m que contiene la información fundamental necesaria para evaluar condiciones críticas de cada elemento, como puede ser la sobrecarga o un retardo excesivo.

Estos ficheros de salida consisten en una serie de registros, uno por paquete transmitido a través de la MAN, que contienen los siguientes parámetros:

— tiempo de llegada (en µseg)
— retardo del paquete desde su punto de partida
— dirección de origen en la AMAN
— dirección de destino en la AMAN
— longitud del paquete en bytes.

Estos ficheros se pueden procesar a fin de obtener estadísticas. Ejemplos de información valiosa que se puede obtener a partir de estos ficheros son el flujo y el retardo medio, parámetros importantes que varían según las diferentes condiciones de contorno y que deben ser tenidas en cuenta para verificar si la red puede definirse como *correctamente* diseñada.

En especial, el flujo medio evaluado en los nodos fundamentales de la red (en número de paquetes por segundo) no deberá exceder los límites de capacidad de los nodos.

Para la evaluación del flujo se genera el fichero THREPORT, que contiene dos tablas, grabadas cada 100 mseg de tiempo simulado. La primera tabla contiene el número de paquetes que introduce cada PPAU de la red AMAN, expresado en función de la longitud del paquete de la LAN. La segunda tabla contiene el número de paquetes que salen de cada PPAU, en función de la longitud del paquete de la LAN.

Aplicación a una topología de red real

En la Figura 2 hay que tener en cuenta algunas de las limitaciones de la configuración topológica que la herramienta es capaz de simular.

La herramienta permite simular el comportamiento de una MAN en una configuración de red pública, cuando la MSS consta de una única subred. En la versión actual de la herramienta no se puede simular la interconexión de una subred a través de una subred de encaminamiento, es decir cuando el transporte de información entre subredes se realiza sin mecanismos de reagrupamiento de información.

No obstante, la herramienta sí permite la simulación de la mayoría de las redes en pruebas de campo actuales, incluso las instaladas en Italia y otras más importantes de Europa. Como ejemplo, la sección siguiente se centra sobre una red a instalar próximamente en Florencia, mostrando la forma en que se puede utilizar el programa para anticipar, antes de su instalación, el comportamiento real en funcionamiento.

Es importante señalar que todos los detalles relativos a la arquitectura de red, desde las aplicaciones reales hasta la arquitectura de la LAN, desde el DQDB a la interconexión de las subredes, son evaluadas en este programa de simulación, por lo que los resultados de la simulación se pueden comparar con el comportamiento de la red real.

MAN Alcatel en Florencia

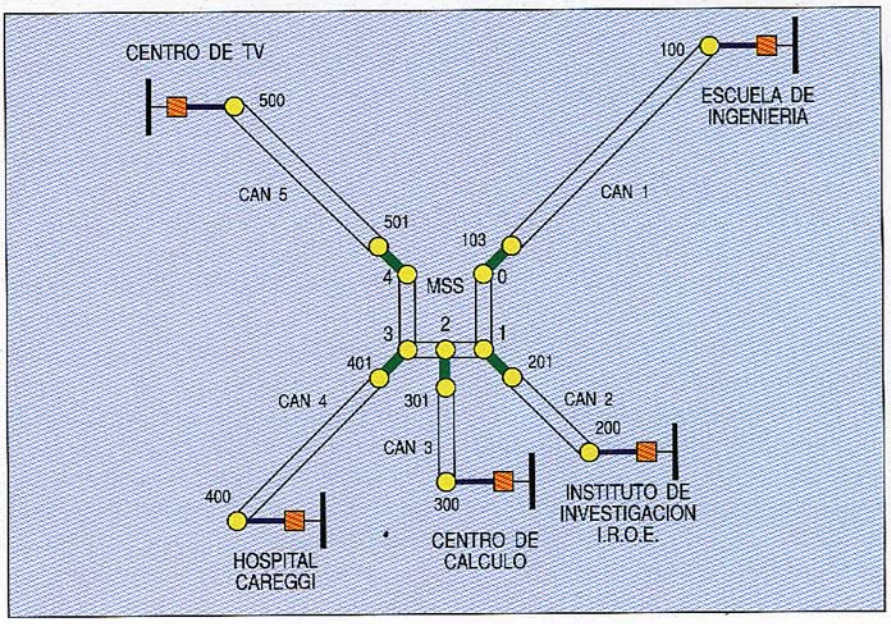
El proyecto MAN de Florencia [5], dentro del marco del proyecto de Telecomunicaciones del Consejo Nacional Italiano de Investigación (C.N.R.), constituye un estudio específico, en donde se puede verificar la precisión de las herramientas de planificación.

Desde el punto de vista de la topología, la red MAN de Florencia consta, en una primera fase, de cinco CGW conectadas a una subred central de MSS configurada en bucle a 140 Mbit/seg mediante cinco diferentes CAN de bus abierto a 34 Mbit/seg (Figura 3).

Las cinco EGW están agrupadas en tres bastidores situados en una central telefónica de Florencia, en donde también se hallan el NMC y las conexiones a la MAN correspondientes. Por esta razón, la longitud de la espina dorsal del MSS es de diez metros mientras que las CAN tendrán longitudes diferentes, desde uno a diez kilómetros.

Cada CGW proporciona un interfaz de pasarela LAN tipo IEEE 802.3 situado en una instalación de usuario separada, en donde también se encuentra el OLTE (equipo terminal de líneas ópticas) para su conexión

Figura 3 - MAN Alcatel en Florencia



	Escuela de Ingeniería	Centro de investigación I.R.O.E.	Centro de Cálculo	Area médica	Centro de TV
Escuela de Ingeniería	70 50	100 50	130 50	110	70 30
Centro de Investigación I.R.O.E.	100 50	50 30 10	20	200	80 50
Centro de Cálculo	130 50	20	5 25 40	20	120 30
Area médica	110	200	20	20 60	110 70
Centro de TV	70 30	80 50	120 30	110 70	5 50

Los valores indican el número de paquetes por cada aplicación

Tabla 1 - Matriz del tráfico desde cada CGW de origen (columnas) a cada CGW de destino (filas); se imprime, por cada aplicación, una evaluación de cada paquete generado

con la central pública mediante fibra óptica. Como se ve en la Figura 3, los usuarios serán:

— una escuela de ingeniería
— un centro de cálculo
— un centro universitario de medios audiovisuales
— el hospital Careggi (zona médica)
— el IROE, un centro de investigación del C.N.R.

En una segunda fase, se prevé añadir otras CGW, también conectadas al MSS público a través de CAN en bus abierto.

Resultados

Referidos a la topología de la MAN Alcatel descrita anteriormente, se presentan ejemplos de resultados de funcionamiento tal como han sido obtenidos mediante simulación; esta sección incluye la descripción de las condiciones de tráfico generadas en la LAN por aplicaciones reales que utilizarán este sistema de interconexión de redes.

Las máquinas que van a usar esta red de comunicaciones realizarán aplicaciones clásicas como:

— CAD/CAM
— estación de trabajo sin disco duro
— transferencia remota de ficheros
— transferencia de imágenes médicas para consulta a distancia y base de datos de archivo
— compartir recursos de cálculo, etc.

Las máquinas a emplear por los usuarios en sus comunicaciones distantes serán principalmente sistemas soportados por UNIX, pero también sistemas con DOS y OS/2 necesitarán acceso remoto.

Estas aplicaciones utilizan protocolos de nivel de red clásicos, fundamentalmente TCP/IP, DECnet y SPX/IPX de Novell, y cuyo volumen de tráfico dado en función de los diferentes tamaños de los paquetes, dependerá de la capacidad y eficiencia de los recursos informáticos.

Los protocolos TCP/IP emplean un mecanismo de ventanas para verificar la correcta recepción de la información de datos transmitida, mientras que el IPX/SPX necesita, por paquete de datos de información, recibir un paquete de confirmación antes de continuar enviando paquetes de información.

A partir de las características de estos protocolos, es posible definir el tipo, longitud y distribución de los paquetes generados por las distintas aplicaciones. Ya que:

— el 60% de las aplicaciones usan protocolos de transporte y de red TCP/IP
— el 30% usan protocolos de transporte y de red SPX/IPX
— y el 10% el resto de protocolos de red (DECnet, X.25, etc.)

y que para cada protocolo, la distribución de las longitudes de los paquetes es:

— protocolos TCP/IP: 3/5 del tamaño del paquete de 1514 bytes, y 2/5 del tamaño del paquete de 64 bytes
— protocolos SPX/IPX: 1/3 del tamaño del paquete de 1078 bytes, y 2/3 del tamaño del paquete de 64 bytes
— otros protocolos: la mitad del tamaño del paquete de 1078 bytes, y la mitad del tamaño del paquete de 64 bytes

se puede fácilmente calcular, y comprobar experimentalmente, la siguiente distribución de paquetes de datos:

— el 50% de los paquetes tiene una longitud de 64 bytes
— el 15% tiene un longitud de 1078 bytes
— el 35% de los paquetes tiene una longitud de 1514 bytes.

Las condiciones globales de tráfico pueden derivarse a partir de:

— la anterior caracterización de las aplicaciones de usuario
— el número de ordenadores conectados a las LAN de cada usuario
— la previsión de necesidades de interconexiones distantes.

En la Tabla 1, la matriz de tráfico se representa por las condiciones de tráfico máximas, o sea el caso más pesimista, cuando todas las máquinas se hallan trabajando durante la hora cargada. La diagonal principal de la matriz define el tráfico dirigido a aplicaciones locales (servidor y cliente se encuentran en la misma LAN).

A partir de la información previa, el programa LAN MODEL puede generar un fichero de tráfico (INFILEn.m) por cada nodo de entrada de la red de MAN Alcatel.

El fichero *means.out* contiene estadísticas de tráfico generado sobre cada LAN por las aplicaciones correspondientes, siendo las más importantes:

— promedios del tráfico total sobre una LAN durante el tiempo simulado
— el promedio de los tiempos de retardo de transferencia, producidos como consecuencia de las condiciones de tráfico de la LAN (por la retransmisión de protocolos de paquetes sobre el protocolo CSMA/CD)
— el número de paquetes no transmitidos dentro del tráfico total de la LAN

En la Tabla 2 se muestra un ejemplo del fichero de la LAN de la "Escuela de Ingeniería".

Hay que llamar la atención sobre el hecho de que el tráfico generado por estas LAN se encuentra cerca del máximo teórico, es decir, de 3 a 4 Mbit/seg. Si el tráfico ofrecido excediese lo indicado en la Tabla 2, ocurriría que tres de cada diez paquetes serían rechazados por el protocolo de la LAN, lo que quiere decir que las aplicaciones reales no podrían funcionar adecuadamente.

Tras la simulación de la MAN Alcatel, el fichero OUTFILEn.m contiene, por cada paquete transmitido, la información correspondiente relativa a las direcciones de origen y destino, longitud del paquete, tiempo de inicio y tiempo de retardo de transferencia.

A partir de estos datos se puede efectuar cualquier tipo de evaluación estadística, incluyendo:

— retardo de transferencia medio por cada tipo o longitud de paquete y por cada pareja de nodos de origen y destino (es decir desde la CGW origen a la CGW destino, desde la CGW de origen hasta la pasarela frontal de entrada del MSS, desde la CGW origen a la pasarela frontal de salida del MSS)
— retardo de transferencia medio de nodo a nodo de cada subred (CAN y MSS)
— flujo medio en cada nodo importante (CGW, EGW de entrada y salida) por cada pareja de direcciones de origen y destino
— promedios de flujo total en cada nodo de conmutación en las EGW ó CGW.
— flujo medio en cada CAN y en la red MSS.

ETHERNET DE:	ESCUELA DE INGENIERIA
VELOCIDAD	10 Mbit/s
LONGITUD MEDIA DEL PAQUETE	675 BYTES/PAQUETE
CARGA OFRECIDA	3,56 Mbit/s
FLUJO	3,56 Mbit/s
TIEMPO MEDIO DE RETARDO EN LA LAN	1,58 ms
PAQUETES GENERADOS (EN 3s)	1976
PAQUETES NO TRANSMITIDOS	0

Tabla 2 - Ejemplo del fichero "means.out" que contiene información del tráfico generado sobre la LAN, utilizando el LAN MODEL

A continuación se da una breve descripción de los resultados mas significativos relativos al funcionamiento, pero se pueden obtener otros muchos parámetros diferentes a partir de los ficheros de salida, en función de las necesidades específicas del usuario del programa.

Flujo en los nodos más importantes

Cada 100 mseg se puede evaluar el número de paquetes que entran y salen de cada nodo importante. La Tabla 3 muestra el flujo máximo de paquetes que entra y sale de las PPAU de las CGW y EGW.

Respecto a los parámetros de retardo de transferencia que se muestran en la siguiente sección, puede observarse que los valores son bajos, lo que indica que los límites de flujo máximo de los nodos no se han excedido en ningún momento, incluso cuando los interfaces de usuario han estado funcionando en las máximas condiciones de tráfico posibles.

Flujo en las subredes

Un segundo parámetro muy importante a considerar durante la simulación es la utilización del ancho de banda, que con frecuencia se considera una restricción importante en el funcionamiento del protocolo DQDB, ya que el protocolo entre los nodos pierde "ecuanimidad" cuando el tráfico requiere más de un 95% del ancho de banda.

La Tabla 4 muestra los parámetros de utilización de ancho de banda relativos a una red real, funcionando con aplicaciones reales, indicando el

Tabla 3 - Número máximo de paquetes que entran y salen de los nodos más importantes de la MAN, durante la simulación

	64 bytes		1078 bytes		1514 bytes	
Escuela de Ingeniería	34	29	10	7	20	16
Centro de Investigación I.R.O.E.	30	39	7	11	17	19
Centro de Cálculo	21	34	9	2	14	15
Area médica	34	34	11	9	19	21
Centro de TV	16	32	11	9	4	17
BORDE - 000 BORDE - 101	34	28	11	8	19	17
BORDE - 001 BORDE - 201	29	39	6	10	15	20
BORDE - 002 BORDE - 301	18	37	10	10	11	19
BORDE - 003 BORDE - 401	35	35	9	8	20	20
BORDE - 004 BORDE - 501	34	31	8	10	17	18

Número de paquetes salientes en 100 ms — Número de paquetes entrantes en 100 ms

SUBRED	INTERVALOS USADOS POR SEGUNDO EN AMBOS BUSES	INTERVALO DE TRAMA POR SEGUNDO EN AMBOS BUSES	PORCENTAJE DE UTILIZACION
CAN 1 - 34 Mbit/s	12782	96000	13.5
CAN 2 - 34 Mbit/s	11860	96000	12.5
CAN 3 - 34 Mbit/s	8473	96000	9
CAN 4 - 34 Mbit/s	12591	96000	13
CAN 5 - 34 Mbit/s	13611	96000	14.5
MSS - 140 Mbit/s	29685	432000	7

Tabla 4 - Tráfico en las subredes DQDB durante la simulación

porcentaje de utilización no solo de la subred MSS, sino también de las subredes CAN. También se muestra la anchura de banda disponible en cada subred en número de intervalos por segundo.

La Tabla 4 muestra que la utilización total de la anchura de banda, incluso en hipótesis de condiciones de tráfico máximo en las LAN de usuario, está muy lejos del máximo ofrecido por el protocolo DQDB, y garantiza "ecuanimidad" en la distribución de la anchura de banda y en los retardos de acceso al bus.

Incluso si se emplea una subred MSS a 34 Mbit/seg, la utilización de la anchura de banda nunca supera el 30 ó 35% del total, garantizando la imparcialidad entre las aplicaciones de usuarios.

La distribución de la anchura de banda no es un problema en el caso particular de una topología CAN (punto a punto), en donde en cada bus solo hay un nodo transmisor.

Otro hallazgo importante obtenido del análisis de estos resultados, es que la red puede ser ampliada con nuevos usuarios sin llegar a producir problemas de utilización de la anchura de banda.

Tabla 5 - Retardo de transferencia medio con longitudes de paquetes: a) 64, b) 1078 y c) 1514 bytes; en la primera columna las CGW de origen, en la primera fila las CGW de destino. Los valores vienen expresados en microsegundos

	ESCUELA DE INGENIERIA	CENTRO DE INVESTIGACION I.R.O.E.	CENTRO DE CALCULO	AREA MEDICA	CENTRO DE TV
ESCUELA DE INGENIERIA	0	a 10575 b 13386 c 13990	a 9932 b 11855 c 14044	a 11306 b 11955 c 13541	a 10992 b 11823 c 13332
CENTRO DE INVESTIGACION I.R.O.E.	a 10267 b 12583 c 13785	0	a 7603 b 9381 c 10813	a 11081 b 12680 c 13593	a 10870 b 11202 c 13907
CENTRO DE CALCULO	a 9120 b 10192 c 12727	a 9582 b 9934 c 11928	0	a 10388 b 10455 c 11998	a 9541 b 11505 c 12546
AREA MEDICA	a 9582 b 12360 c 13103	a 10030 b 12996 c 13448	a 9319 b 11876 c 13081	0	a 10199 b 11865 c 12919
CENTRO DE TV	a 11874 b 13195 c 14111	a 11643 b 13005 c 15196	a 10713 b 12853 c 14552	a 12130 b 13422 c 14675	0

Retardo de transferencia medio desde origen a destino

Observando una vez más el fichero OUTFILEn.m, es posible evaluar el tiempo de transferencia de cada paquete desde la LAN de origen hasta la de destino. Esta información es indispensable, ya que:

— algunas aplicaciones importantes dependen del retardo de transferencia desde la estación de origen a la de destino (especialmente la red IPX de Novell)

— un servicio importante previsto en esta red, el SMDS del CBDS europeo, impone unos límites exactos al retardo de transferencia de la red de conmutación.

La Tabla 5 da información relativa al tiempo medio de retardo entre CGW de origen y destino, el denominado retardo de extremo a extremo. Los tres valores en cada casilla de la tabla se refieren a los tiempos de retardo en microsegundos por cada longitud de paquete considerada, es decir, 64, 1078 y 1514 bytes.

El retardo de transferencia depende de varios parámetros:

— modalidad del protocolo de acceso DQDB

— el tráfico global en cada nodo de conmutación, incluyendo los paquetes largos y cortos

— el tiempo de procesado de cada paquete en cada nodo de conmutación.

Es importante notar que, incluso cuando la MAN está funcionando bajo condiciones de tráfico máximas en las LAN, el retardo nunca llega a ser excesivamente alto, de forma que el servicio a las LAN distantes está garantizado, sin que se vea perjudicada la calidad.

Comprobación de los resultados en una red instalada

Los resultados mostrados en este artículo se pueden comparar con resultados similares obtenidos con otras utilidades disponibles en el sistema de gestión de red de la MAN Alcatel.

La característica de evaluación del funcionamiento del sistema de gestión de red permite la medida del flujo. El operador puede así evaluar el tráfico que pasa por la red, a fin de advertir la posibilidad de sobrecarga en los nodos más importantes de la MAN o en las subredes.

Con las condiciones de tráfico descritas en la Tabla 1, correspondientes a cada LAN interconectada, se calculan y se muestran en los monitores del centro de gestión de red los resultados, idénticos a los de las Tablas 3 y 4.

En algunas aplicaciones especiales, como el "ping" (packet internet groper) del protocolo TCP/IP que trabaja en el interfaz de red de usuario, se puede evaluar el retardo de transferencia. También en este caso se pueden verificar con aplicaciones reales los resultados de la Tabla 5, que confirman que los modelos utilizados por las herramientas son correctos.

Conclusiones

La introducción de las redes de banda ancha requiere medios adecuados de planificación a fin de poder dimensionarlas y evaluarlas con precisión. Como la MAN representa la primera implantación real en los albores de la red digital de servicios integrados, las herramientas de planificación de las MAN son vitales.

Este conjunto de herramientas de planificación que evalúan la funcionalidad de las MAN Alcatel garantiza una evaluación fiable y completa de una topología de red MAN dada, bajo cualquier condición de tráfico.

Se pueden establecer comparaciones entre dos tipos diferentes de topologías de red evaluándolas bajo idénticas condiciones de tráfico, a fin de poder definir cual de ellas es preferible desde el punto de vista del funcionamiento.

Además, es posible aprovecharse de las características avanzadas de modularidad y flexibilidad de la red con el objetivo de poderla reconfigurar y ampliar dinámicamente, manteniendo tanto la calidad de servicio como las inversiones.

Bibliografía

1 J.F. Mollenauer: Standards for Metropolitan Area Networks, IEEE Communications Magazine, Abril 1988.

2 M. Capurro, L Vivoli: Telecommunication services evolution for LANs and MANs, EFOC/LAN 91, Londres, Junio 91.

3 IEEE 802.6, Proposed standard: Distributed Queue Dual Bus (DQDB) subnetwork of a Metropolitan Area Network (MAN), Ver. C.0, Noviembre 1988.

4 R.M. Newman, Z.L. Budrikis, J.L. Hullett: The QPSX MAN, IEEE Communications Magazine, Abril 1988.

5 M. Capurro: Evolution of the Florence high speed network infrastructure, IWACA'92, Munich, Alemania, Marzo 1992.

6 Reference configuration and evolution towards IBC-RACE Project 1044 Workpackage RCD & EPF, Joint Deliverable Report, Diciembre 1990.

Luca Vivoli nació en Florencia, Italia, en 1963. Se doctoró en ingeniería electrónica (*cum laude*) por la Universidad de Florencia en 1989, con una tesis sobre procesado de imagen y reconocimiento de secuencias. Desde entonces ha trabajado en Alcatel SIETTE, división de Alcatel Italia, en redes de área local y después en las MAN. Ha publicado numerosos documentos sobre planificación y diseño de MAN. En la actualidad, el Dr. Vivoli es responsable de instalaciones de MAN, y pertenece a grupo local de soporte al cliente, al equipo común de ingeniería y al de las pruebas de Florencia.

Stéfano Pimazzoni nació en Florencia en 1963. Se graduó en ingeniería electrónica (*cum laude*) por la Universidad de Florencia en 1991. Recibió el Premio SIP (compañía telefónica italiana) por una tesis sobre telecomunicaciones. Actualmente trabaja en Alcatel Italia, en el campo de las LAN y de la interoperatividad de redes. Desde 1992 colabora con el CeSIT, centro de cálculo de la Universidad de Florencia.

Componentes basados en arseniuro de galio para la industria de telecomunicaciones

G. Donzelli, F. Vidimari
Alcatel Italia, Division Telettra, Vimercate, Italie

Los componentes basados en arseniuro de galio están siendo cada vez más considerados en diversas áreas de telecomunicación tales como radio enlaces, telefonía celular, espacio y comunicaciones por fibra óptica. La división Telettra de Alcatel Italia, como centro competente en arseniuro de galio, está dedicada a la investigación, desarrollo y fabricación de componentes optoelectrónicos para microondas basados en arseniuro de galio a fin de convertirse en un potente suministrador interno de todo el grupo Alcatel.

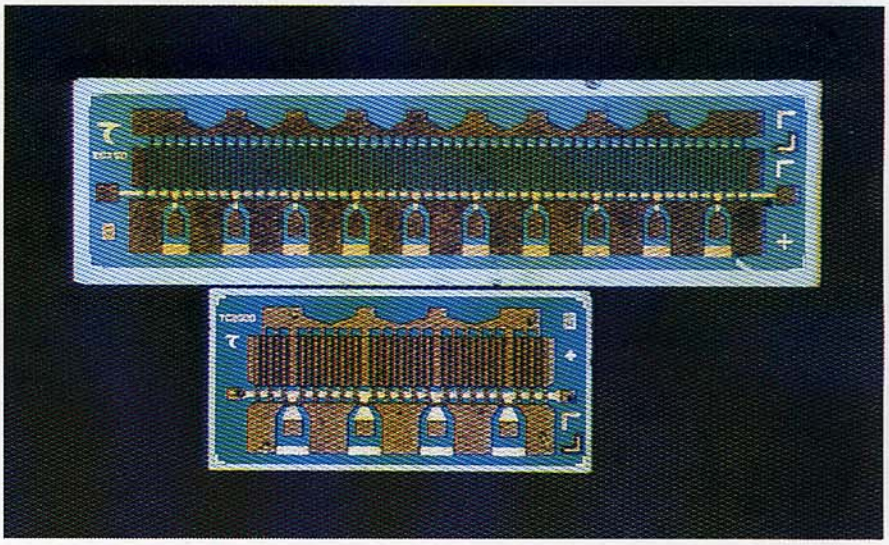


Foto A - Circuitos MESFET de AsGa de 2 y 5 W de potencia en banda-C

Introducción

El arseniuro de galio (AsGa) es, tras el silicio, el semiconductor más importante económicamente y actualmente sus aplicaciones están ampliamente extendidas, desde aplicaciones espaciales y de telecomunicaciones hasta el mercado de consumo. A pesar de que el arseniuro de galio no puede ser considerado como una tecnología monolítica, existen varias familias diferentes de dispositivos de AsGa orientados a la microelectrónica y a la optoelectrónica, se puede afirmar que ya no es solamente un producto de laboratorio sino una realidad industrial.

El AsGa se convirtió en un material importante y prometedor en la década de los setenta debido a la realización de eficientes MESFET (transistores de efecto campo metal semiconductor), capaces de operar a frecuencias de microondas (alrededor de 6 GHz), y de los primeros prototipos de láser semiconductor con doble heteroestructura trabajando en CW (onda continua).

En la década de los ochenta hubo un fuerte empuje al desarrollo de la tecnología de dispositivos de AsGa debido al progreso de técnicas avanzadas de crecimiento epitaxial tales como la epitaxia por haz molecular (MBE) y la epitaxia por fase de vapor metalorgánico (MOVPE), capaces de depositar una secuencia de capas delgadas de AsGa, y aleaciones con mayor banda prohibida con un parámetro de red cristalina adecuado tales como el AsGaAl y el InGaP, con interfaces muy definidos. De esta forma, y con estas técnicas de crecimiento epitaxial, ha sido posible la realización práctica de heteroestructuras semiconductoras de dimensiones reducidas, mostrando efectos cuánticos nítidos debidos a la discontinuidad de la banda prohibida, y con una alta calidad del interfaz; la fabricación de dispositivos fotónicos y electrónicos basados en estas estructuras, con mejores propiedades que los de película tipo convencional, se ha hecho realidad. Sin embargo los MESFET de AsGa son todavía el caballo de batalla en aplicaciones con componentes discretos de potencia para microondas y con circuitos integrados de alta velocidad, pero están emergiendo ahora otros componentes como candidatos potenciales de superiores prestaciones, como el transistor bipolar de heteroestructura (HBT) y el transistor seudomórfico con alta movilidad de electrones (P-HEMT) que muestran prestaciones prometedoras en aplicaciones digitales analógicas y mixtas hasta frecuencias de 70 GHz y velocidades de 30 Gbit/seg.

Los componentes optoelectrónicos basados en AsGa, superados claramente por los dispositivos basados en InP que emiten en las ventanas de fibra óptica de baja atenuación de 1300 y 1550 nm, están volviendo a cobrar importancia en aplicaciones de fibra óptica como láseres de muy alta potencia para bombeo óptico en amplificadores de fibra óptica dopada con erbio (EDFA) y como emisores de alta eficiencia y bajo umbral para interconexiones ópticas de corta distancia en placas, paneles traseros y bastidores.

La investigación y el desarrollo de los componentes basados en AsGa se ha convertido recientemente en un tema

importante en la política de Alcatel. Desde Abril de 1992 todas las actividades tecnológicas asociadas a componentes y circuitos basados en AsGa se han concentrado en la división Telettra de Alcatel Italia (donde ya existían actividades consolidadas de I+D y de fabricación de transistores MESFET de potencia desde 1984) con el objetivo de evolucionar hacia productos industriales y de crear un potente suministrador interno para todo el grupo.

Este artículo proporciona una visión general de la tecnología y dispositivos basados en AsGa necesarios en la industria de telecomunicaciones, con énfasis especial en las actividades llevadas a cabo en Alcatel Italia, describiendo los objetivos actuales y también considerando las posibles futuras aplicaciones que esta tecnología podría generar.

MESFET y MMIC de AsGa

Los MESFET discretos de AsGa se han estado utilizando desde principios de la década de los setenta para la realización de circuitos de microondas, y la tecnología desarrollada para fabricar estos dispositivos ha proporcionado la base para la realización de los MMIC (circuitos integrados monolíticos de microondas) de altas prestaciones, usándolos como componentes activos. La evolución natural desde los dispositivos discretos a los circuitos integrados se ha debida en gran parte al avance en las siguientes áreas:

— crecimiento térmicamente estable de substratos semiaislantes de AsGa no dopados con un número limitado de defectos y bajo nivel de dopado en el material de partida
— drásticas mejoras en la uniformidad de las propiedades de la capa activa, obtenida por medio de técnicas avanzadas de crecimiento epitaxial e implantación iónica
— avances en los procesos de fotolitografía y de grabado con objetivo en la submicra.

En la Figura 1 se muestra una sección transversal de un MESFET durante los diferentes etapas de su proceso básico.

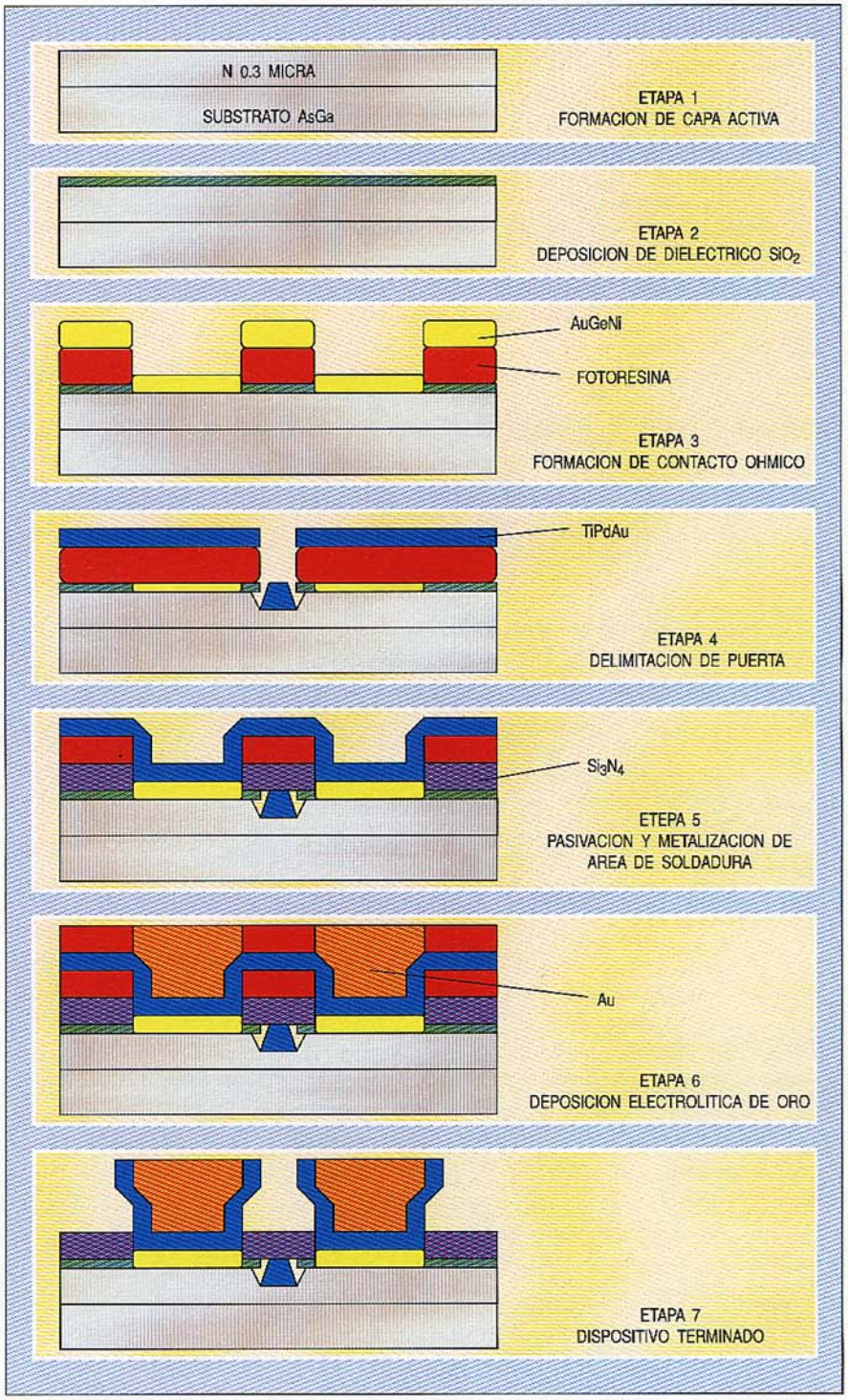


Figura 1 - Proceso tecnológico de un MESFET básico

La estructura física esta formada por una capa activa obtenida mediante implantación iónica directa sobre el substrato semiaislante o mediante crecimiento epitaxial. Cada dispositivo queda aislado grabando una estructura tipo mesa hasta el substrato o hasta la capa buffer, y se forman los contactos óhmicos de AuGeNi de la fuente y del drenador por evaporación y aleación con la capa activa. El canal se reduce mediante ataque hasta obtener el espesor adecuado para obtener la corriente de saturación deseada, la geometría de puerta queda definida por técnicas de evaporación y levantamiento (lift-off).

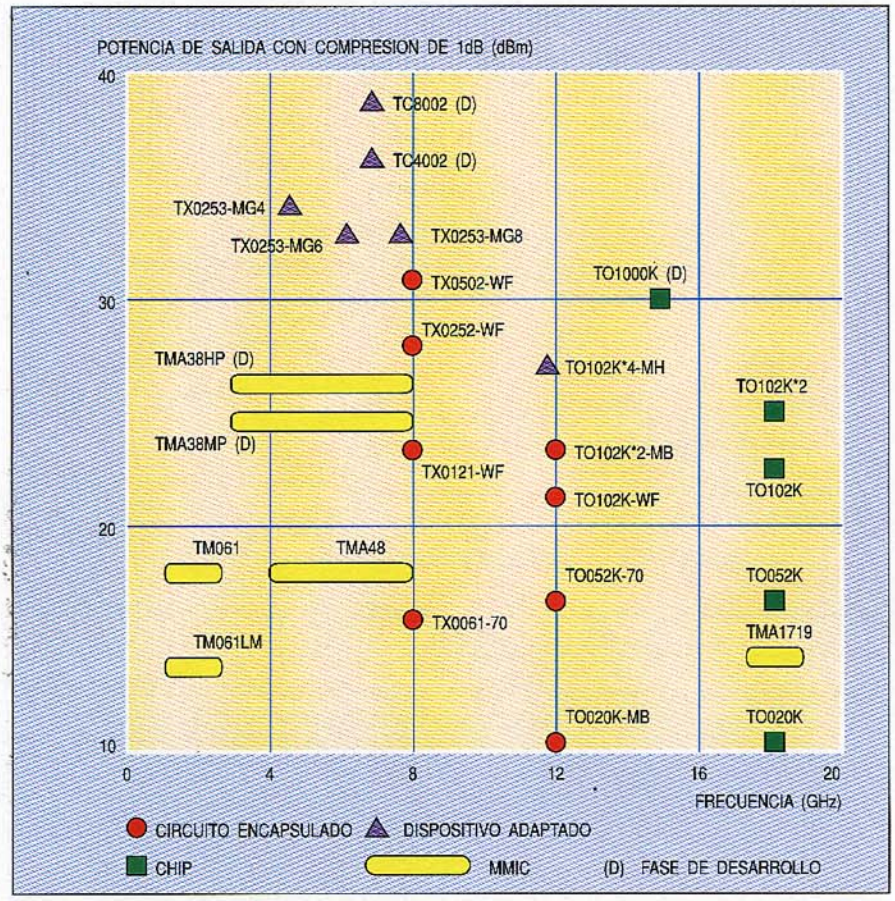
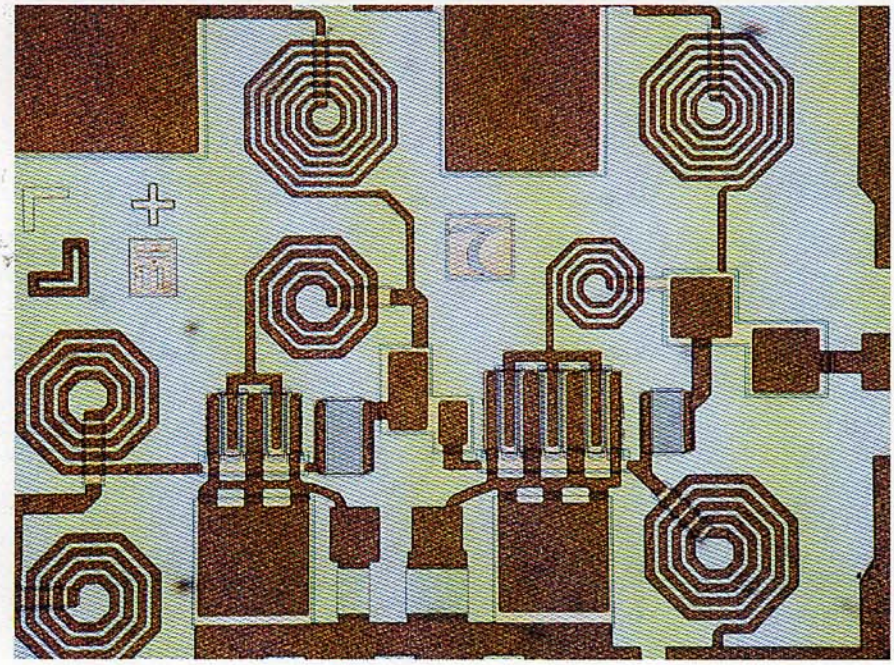


Figura 2 - Diagrama de potencia-frecuencia que ilustra los MESFET de AsGa y los MMIC en desarrollo y producción en la fundición de Alcatel Italia

Foto B - Amplificador MMIC AsGa de dos etapas de 19 dBm en banda-C



Posteriormente se pasiva el canal con nitruro de silicio PECVD y se adelgaza la oblea a algunas décimas de pulgada a fin de mejorar la disipación de calor. Finalmente, se separan los dispositivos y se montan en encapsulados de microondas para su prueba.

Actualmente el proceso utilizado en la división Telettra de Alcatel Italia se basa en una implantación iónica directa sobre substratos semiaislantes LEC (Czochralski en encapsulado líquido), utilizándose conexiones aéreas y a través de orificios para mejorar las prestaciones en microondas; una tecnología de disipador metalizado asegura una resistencia térmica muy baja para dispositivos de potencia.

Las principales aplicaciones de los componentes discretos e integrados basados en MESFET están en los radioenlaces con módulos de amplificación para transmisión hasta 12 GHz y en los módulos transmisores-receptores hasta 23 GHz, utilizando principalmente MMIC de media a baja potencia y MESFET de media a alta potencia (2 a 12 W). La Figura 2 muestra las familias de MESFET en AsGa realizados en Alcatel Italia representadas en un diagrama de potencia-frecuencia, y mostrando una gama completa de dispositivos, que están actualmente en producción o en desarrollo. La Foto A muestra circuitos FET de potencia de 2 W y 5 W en banda C y la Foto B presenta un amplificador MMIC de dos etapas de 19 dBm para operación en banda C. La prueba de RF de una oblea de AsGa para MMIC se muestra en la Foto C.

Los desarrollos a medio plazo estarán orientados a la mejora de la familia de componentes discretos de potencia MESFET hasta los 20 GHz, y de la biblioteca de MMIC, incorporando componentes activos con potencia de salida de 2 W en la gama de frecuencias de la banda C a la X. La tecnología estará basada en la implantación iónica con una implantación profunda en silicio asociada a una capa enterrada tipo p y fotolitografía con proyección de puerta de 0,3 micras para optimizar la ganancia y la eficiencia. Además se están considerando nuevos conceptos de dispositivos MESFET para una futura genera-

ción con ganancia y eficiencia muy alta empleando la tecnología MOVPE para permitir la realización de capas de pasivación de semiconductor intrínseco y capas buffer en heteroestructura.

Transistores en AsGa de heteroestructura

El MESFET de AsGa es la opción más común en aplicaciones hasta alrededor de los 20 GHz, pero a frecuencias más altas es obligatoria la utilización de dispositivos de heteroestructura tales como los HEMT (transistores de alta movilidad electrónica) ó los HBT (transistores bipolares de heteroestructura).

Las aplicaciones de muy alta ganancia, de bajo ruido y de media potencia requieren normalmente el uso de los HEMT, las aplicaciones digitales igualmente, y las aplicaciones altamente lineales y de alta potencia pulsada se realizan con HBT.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de bandas de una sección transversal de un HBT n-p-n básico. El emisor está formado por una capa de AsGaAl tipo n con amplia banda prohibida, mientras que la base y el colector están formados por AsGa tipos p y n respectivamente con menor banda prohibida. El HBT tiene una eficiencia de emisor alta y un tiempo de tránsito de base corto; de hecho, debido a la presencia de la heterounión emisor-base el espesor de la base puede reducirse a unas pocas décimas de nanómetro y su dopado puede ser incrementado substancialmente, sin que afecte a la resistencia de base con relación a los dispositivos bipolares de homounión. El alto dopado de la base induce una carga espacial grande en el emisor, lo que repercute en una baja capacidad de entrada.

En la Figura 4 se describe el diagrama de banda de conducción y la sección transversal de un HEMT convencional de AsGa/AsGaAl. La estructura del dispositivo está formada por una capa de canal de AsGa sin dopar, otra capa dopada de donadores de AsGaAl y finalmente una capa de AsGa fuertemente dopada para contacto. Debido a la mayor anchura de la banda prohibida

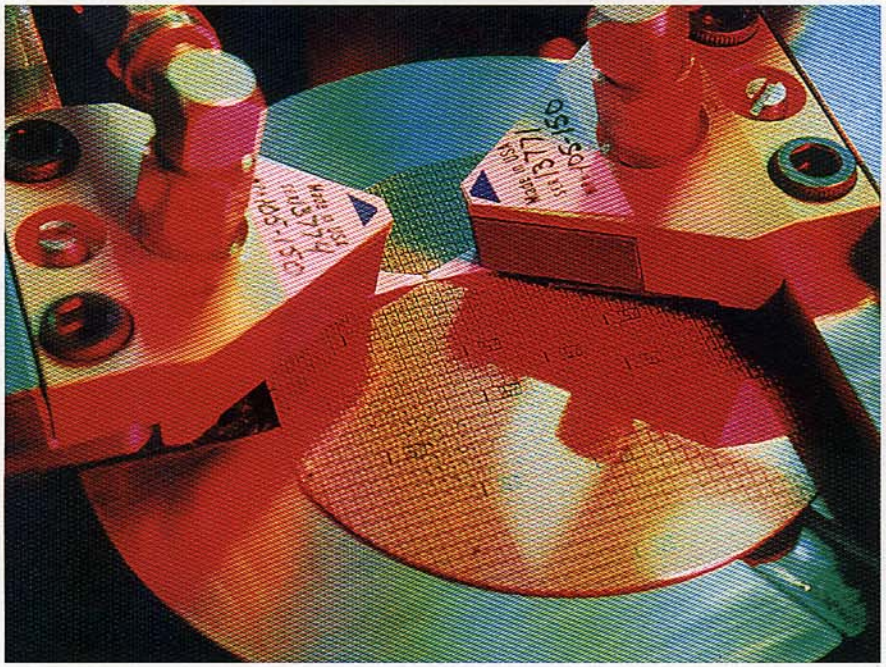


Foto C - Pruebas de microondas sobre obleas de MMIC de AsGa

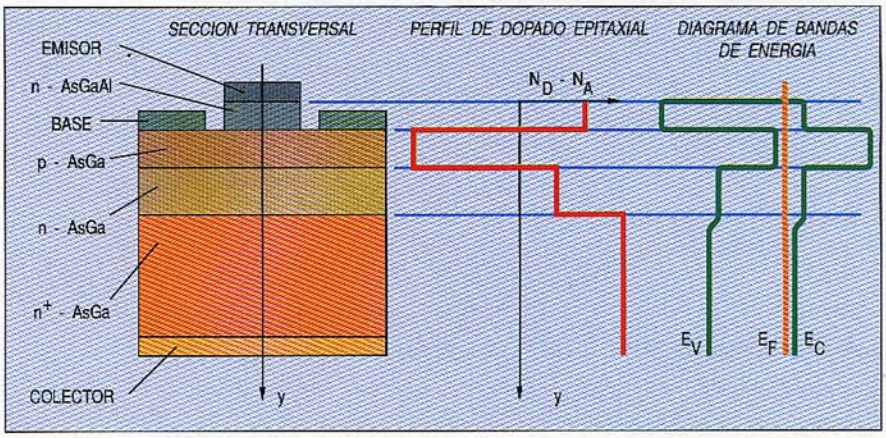
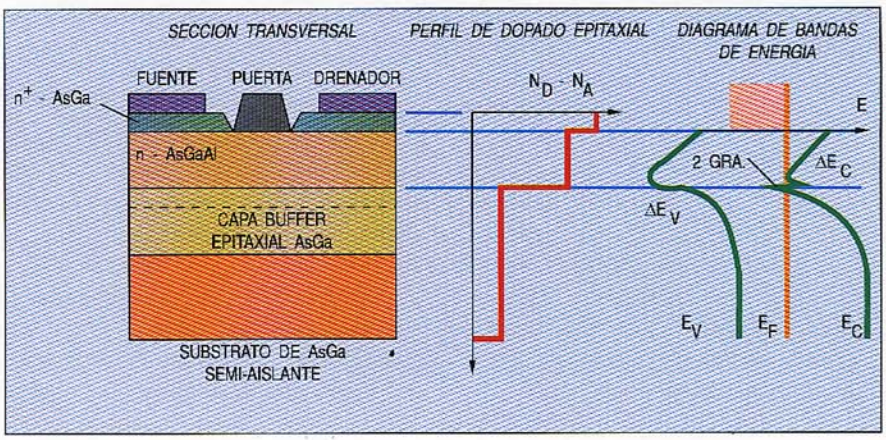


Figura 3 - Diagrama de bandas y sección transversal de un HBT de AsGaAl/AsGa

Figura 4 - Diagrama de bandas y sección transversal de un HEMT AsGaAl/AsGa



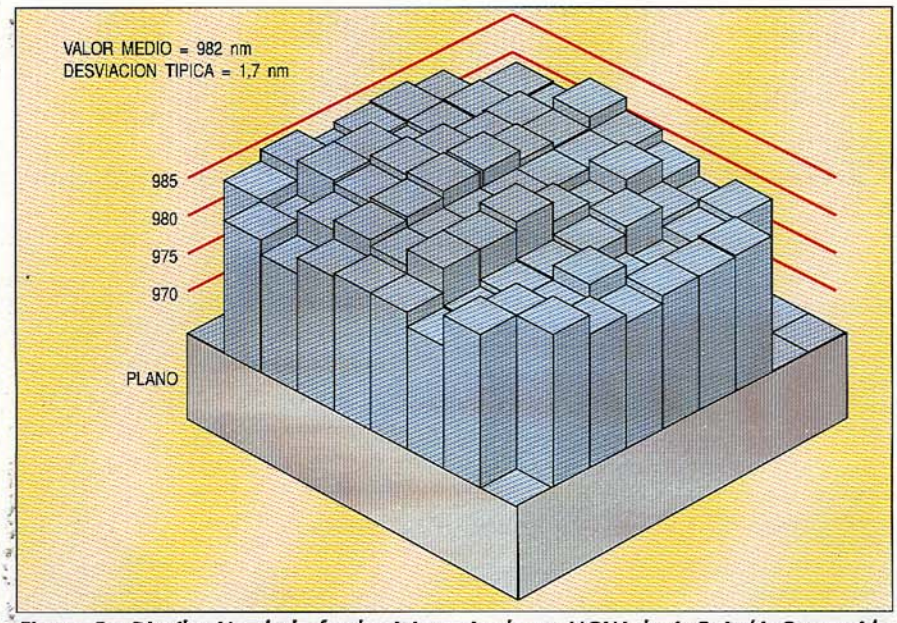


Figura 5 - Distribución de la fotoluminiscencia de un MQW de AsGaIn/AsGa crecido por LP-MOVPE sobre obleas de 2 pulgadas (el eje vertical representa la longitud de onda en nm)

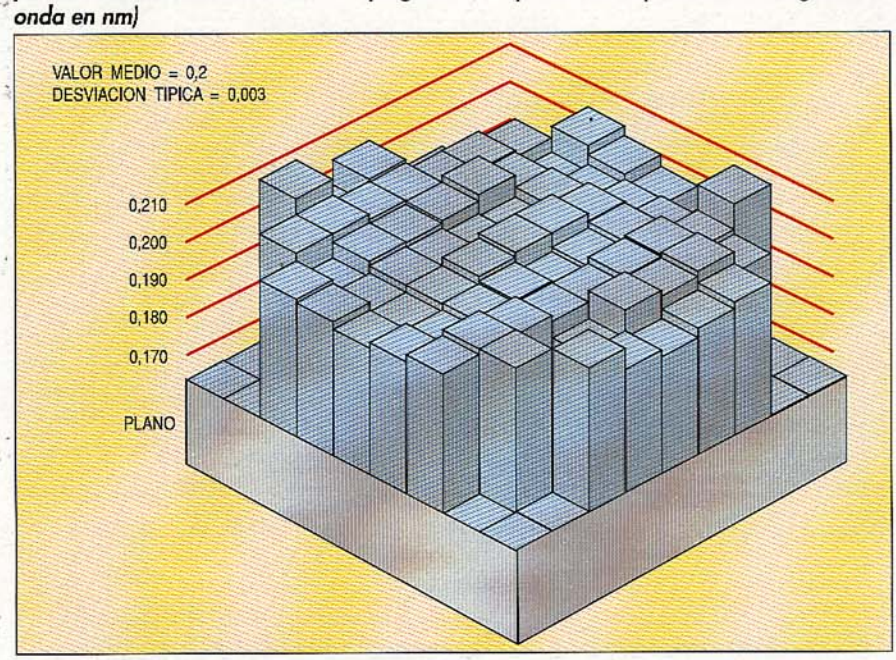


Figura 6 - Distribución de la fracción molar de Al de una capa de AsGaAl crecida por LP-MOVPE sobre obleas de 2 pulgadas de AsGa

del AsGaAl con respecto al AsGa, los electrones libres se difunden desde el AsGaAl al AsGa donde forman un gas bidimensional de electrones en el heterointerfaz. Las propiedades de transporte de este gas son superiores a las de los electrones libres en un MESFET debido a la ausencia de dispersión de Coulomb y a la alta velocidad de saturación de los electrones. Las propiedades de transporte de los portadores libres pueden mejorarse si el canal de AsGa se reemplaza por una película muy fina (algunos nanómetros) llamada de pozo cuántico (QW) de AsGaIn, (donde la concentración de In está entre el 15% y el 35%). Debido a que la red cristalina de la capa de AsGaIn no casa con los parámetros de red del AsGa, la estructura queda deformada y al dispositivo en cuestión se le denomina HEMT (P-HEMT) seudomórfico.

Al P-HEMT se le elige sobre todo para aplicaciones analógicas de alta frecuencia, debido a sus mejores prestaciones en términos de ganancia y potencia con respecto al HEMT convencional y en términos de ruido respecto al HBT. El proceso del tipo MESFET lo hace enseguida adecuado para la integración con componentes pasivos ya existentes en aplicaciones MIC en ondas milimétricas y microondas. La tecnología de la división de Telettra de Alcatel Italia está basada en el proceso MOVPE de baja presión, que permite el crecimiento de estructuras de AsGaAl/AsGaIn/AsGa de alta calidad con excelente morfología y uniformidad del espesor y de la composición sobre un substrato de dos pulgadas de AsGa. La Figura 5 muestra la distribución de longitud de onda fotoluminiscente de un MQW de AsGaIn/AsGa, y la Figura 6 la distribución de contenido en Al (X = 20%) sobre una oblea de dos pulgadas.

El proceso de fabricación del transistor es similar al proceso MESFET, pero más complicado y crítico, especialmente en lo que se refiere al rendimiento global, debido principalmente al número de etapas de ataque necesarias para realizar el empotrado de puerta y obtener las prestaciones óptimas del dispositivo.

Cuando se escribió éste artículo ya se habían obtenido resultados preliminares sobre dispositivos discretos HEMT; el dispositivo conseguido es un HEMT (con canal de AsGa) convencional de 0,5 micras de largo y 200 micras de ancho con una estructura epitaxial y proceso de fabricación no optimizados. Estos prototipos han mostrado una transconductancia en continua de 150 mS/mm y una ganancia de 7 dB a 12 GHz medida al 50% de la corriente máxima de saturación.

Como objetivo principal, la actividad sobre transistores de heteroestructura apunta a la realización de una biblioteca de componentes activos para una operación hasta los 40 GHz, orientada principalmente a aplicaciones de potencia mediante el desarrollo de unos P-HEMT con capas de donadores dopados en delta (espesor atómico) y tecnología con longitud de puerta de 0,3 micras.

Aplicación de los dispositivos electrónicos de AsGa en comunicaciones

Los dispositivos discretos y los circuitos integrados de AsGa son aplicables a varios segmentos del mercado, desde productos de consumo en alto voltaje tales como receptores DBS (satélites de radiotransmisión directa) a sistemas de altas prestaciones y de bajo volumen. Los circuitos integrados digitales incluyen tanto lógica (circuitos de ataque a láser, multiplexores, demultiplexores regeneradores etc.) como memorias, mientras que los circuitos analógicos incluyen los MMIC y los circuitos integrados para ondas milimétricas (preamplificadores, amplificadores, mezcladores, osciladores) y circuitos en banda base como los convertidores analógico digitales. A continuación se destacan algunas aplicaciones.

En el área de las telecomunicaciones por microondas, los MESFET de AsGa han tenido un importante papel en el desarrollo de los radioenlaces analógicos y digitales, permitiendo conexiones punto a punto de largo alcance; aún continúan siendo el núcleo de los osciladores locales, amplificadores lineales de alta potencia para operación en QAM de 4 a 64 y aplicaciones con amplificadores de potencia media hasta los 23 GHz.

En un futuro próximo, las configuraciones punto a multipunto en redes de área local se convertirán en una parte importante de los sistemas digitales de comunicaciones en microondas, con frecuencias de operación en la banda de 20 a 30 GHz. Estos sistemas requerirán una integración monolítica de circuitos basados en HEMT y MESFET de AsGa con funciones múltiples tales como amplificadores de bajo ruido, amplificadores IF, osciladores locales, convertidores ascendentes/descendentes y amplificadores de potencia.

La radio celular representa un mercado potencial de bajo coste y gran volumen con aplicaciones en servicios telefónicos fijos y móviles. Los sistemas digitales operan en la gama de frecuencias de 0,9 a 1,8 GHz. El papel del AsGa puede ser significativo pero confinado a los MIC de transmisores de alta eficiencia y de convertidores descendentes de frecuencia.

Los sistemas de comunicaciones a bordo de satélites representan un área de aplicación a pequeña escala y especializada. Sin embargo, los futuros satélites de haz múltiple harán gran uso de transmisores y receptores distribuidos que necesiten circuitos de AsGa, con el mayor impacto previsto en antenas activas para SAR (radar de apertura sintética) en las bandas C, X, y Ku. Las principales aplicaciones civiles se encuentran en terminales de empresas y terminales en barcos o aviones.

Se espera que las aplicaciones en el dominio de las ondas milimétricas cubran varios campos y que el uso de dispositivos de AsGa afectará casi exclusivamente a los MIC basados en P-HEMT para diferentes funciones de transmisión y recepción.

En Europa, las aplicaciones se encuentran en la banda de frecuencia entre 30 y 40 GHz para vigilancia de aeropuertos, control de trenes, V-SAT y LAN; entre 58 y 65 GHz para comunicaciones desde automóvil, centrales interurbanas, enlaces móviles, localización de trenes y altímetros para aviación; y por encima de 78 GHz para vigilancia de aeropuertos y evitar colisiones entre automóviles.

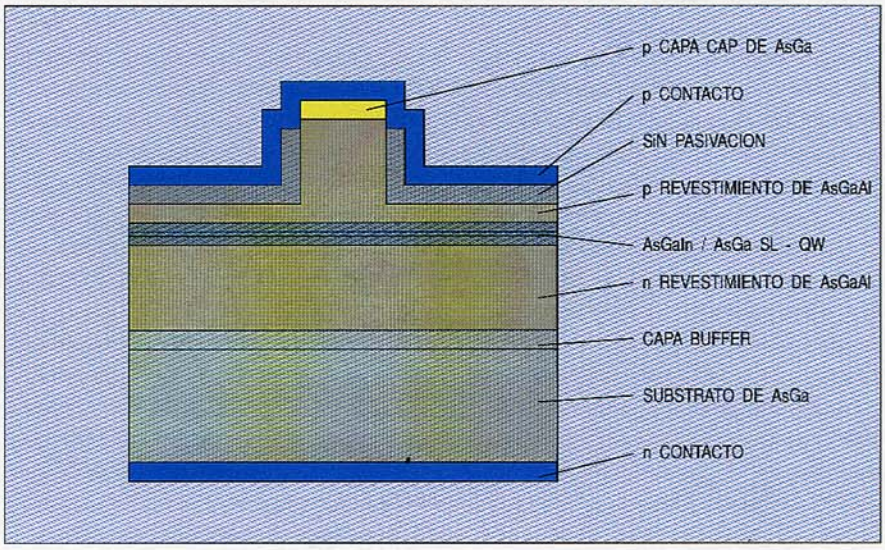
Las características de coste, transmisión y consumo de potencia son los aspectos más importantes de la electrónica para aplicaciones de alta velocidad con fibra óptica. La utilización de AsGa podría ser conveniente para algunas funciones a 2,5 GHz, pero es necesaria en aplicaciones para frecuencias de 5 Gbit/s y superiores. Las funciones pueden ser digitales (mux-demux, regeneradores, circuitos de ataque ópticos) y analógicas (preamplificadores de bajo ruido, amplificadores principales, distribución de relojes y circuitos de recuperación). La tecnología necesaria es de pequeña a mediana escala de integración y principalmente basada en P-HEMT ó HBT.

Láseres de potencia basados en AsGaIn/AsGa

Los láseres basados en pozo cuántico (QW) con una capa activa deformada, por ejemplo en AsGaIn/AsGa, emitiendo alrededor de 1000 nm, son muy interesantes para su utilización como fuentes eficientes de bombeo en amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio (EDFA) para tendidos de largo alcance y distribución terrestre, y en aplicaciones submarinas.

Prácticamente se pueden utilizar tres longitudes de onda con estos amplificadores, 850, 980 y 1480 nm; las estructuras relativas de los láseres deri-

Figura 7 - Sección transversal de una estructura de láser de bombeo en guíaonda con resaltes internos de 980 nm



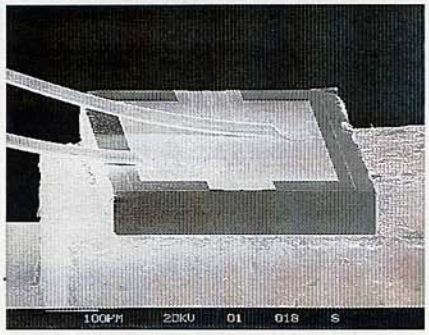


Foto D - Imagen obtenida con SEM de un láser de bombeo de guíaonda con resaltes internos de 980 nm

van respectivamente de la tecnologías InP (1480 nm) y AsGa (850 nm y 980 nm), pero la eficiencia de bombeo superior y el muy bajo ruido favorecen a la longitud de onda de 980 nm respecto a las otras.

La Figura 7 representa la sección transversal de un láser de bombeo de 980 nm. El diseño de las capas activas y de las capas de guía es extremadamente importante a fin de lograr la eficiencia óptima de conversión, longitud de onda de emisión y distribución en campo lejano, que son los parámetros más críticos para alcanzar una emisión eficiente de potencia y acoplamiento a la fibra óptica. La estructura de láser de bombeo de 980 nm que está desarrollándose actualmente en el Centro de Investigación de Telettra Alcatel Italia es el láser SQW-SCH-RW (pozo cuántico único, heteroestructura de confinamiento separada, guíaonda con resaltes internos).

Los efectos de cuantización que ocurren en láseres QW son mejores que en los dispositivos convencionales debido a la reducida corriente umbral, a la mayor ganancia diferencial y al mejor control de la longitud de onda láser, y al uso de un deformado QW de AsGaIn a fin de alcanzar los resultados deseados en longitud de onda, con una mejora adicional en la eficiencia de la conversión electroóptica y en la estabilidad del láser frente a la temperatura. El LP-MOVPE permite el crecimiento de estructuras de pozo cuántico de AsGaIn/AsGa de alta calidad con un contenido en In entre el 10% y el 30%, que presenta una uniformidad excelente en el grosor y composición a lo largo de un substrato de dos pulgadas de AsGa (Figura 5).

La Foto D muestra un diodo láser RW (guíaonda con resaltes internos) emitiendo a 980 nm, realizado en el centro de investigación de Telettra de Alcatel Italia, y la Figura 8 muestra las características de potencia óptica en función de la corriente para un láser de bombeo de 980 nm; la máxima potencia óptica obtenida en nuestros prototipos de láser fue de 320 mW. la Figura 9 muestra el espectro de salida.

En las Tablas 1 y 2 se detallan, respectivamente, las características típicas de las estructuras de láser de gran área y de los prototipos preliminares de láser de geometría estrecha (sin recubrir y cubiertos con AR/HR) obtenidos

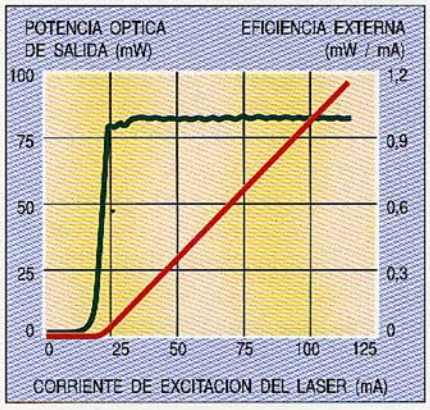


Figura 8 - Potencia óptica en función de las características de corriente y de eficiencia externa de un láser de bombeo en guíaonda con resaltes internos de 980 nm

en nuestros laboratorios.

La rápida evolución de los sistemas, junto a los objetivos de fiabilidad cada vez más exigentes, requiere la exploración de diversos materiales y estructuras de láser; de hecho la fiabilidad a largo plazo de los láseres que contienen Al está todavía en cuarentena y no parece seguro que las estructuras RW sean las más adecuadas para garantizar una operación estable monomodo a potencias ópticas muy altas (Po > 180 mW).

Se han llevado a cabo, en nuestros laboratorios, investigaciones preliminares sobre materiales libres de Al, investigaciones relacionadas con aspectos de proceso de estructuras basadas en InGaP y se han realizado láseres RW sobre estructuras crecidas externamente. El diseño de estas estructuras es muy similar al de las de AsGaAl descritas anteriormente. Se han obtenido y informado resultados muy prometedores en estructuras de láser de gran área basados en InGaP y de láseres de cara sin recubrir tipo RW, cuyos resultados aparecen en la Tabla 3.

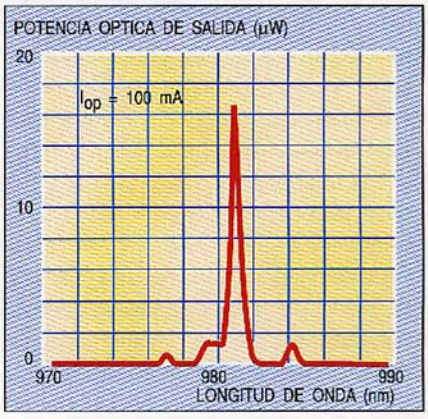
Es probable que se necesite una segunda generación de láseres de bombeo de 980 nm, por lo que el centro de investigación de Telettra de Alcatel Italia está dedicado a un trabajo de investigación sobre nuevas estructuras verticales a fin de reducir el ángulo vertical en campo lejano, sobre materiales libres de Al y sobre estructuras de guiado con índice real; los principales objetivos a conseguir son una alta eficiencia en acoplamiento a fibra, una mejor fiabilidad y un control más preciso de las características del modo láser a altos niveles de potencia.

Evolución y aplicación de láseres de AsGaIn/AsGa en comunicaciones

Los láseres basados en AsGaIn/AsGa se caracterizan por su funcionamiento de alta eficiencia y de bajo umbral, y por una longitud de onda de emisión que puede ajustarse, mediante un diseño apropiado del espesor del pozo (o pozos) cuántico y del contenido de In, entre 900 y 1050 nm.

Estas propiedades los hacen adecuados para una variedad de aplicaciones, siendo las más obvias e inmediatas

Figura 9 - Espectro de emisión de un láser de bombeo en guíaonda con resaltes internos de 980 nm



Absorción interna	5,4 cm^{-1}
Eficiencia cuántica interna	> 0,9
Transparencia	60 A/cm^2
Coeficiente de ganancia	7,2 A/cm
Angulo vertical en campo lejano	37 grados

Tabla 1 - Características típicas de láseres de AsGaIn/AsGa/AsGaAl de gran área

Parámetro	Sin recubrir	Recubierto con AR/HR
Potencia de salida	90 mW 200 mA	180 mW 200 mA
Corriente umbral	< 20 mA	< 23 mA
Eficiencia externa	> 0,45	> 0,9

Tabla 2 - Características típicas de láseres tipo RW de AsGaIn/AsGa/AsGaAl

Absorción interna	11,2 cm^{-1}
Eficiencia cuántica interna	0,95
Transparencia	68 A/cm^2
Coeficiente de ganancia	7,8 A/cm
Angulo vertical en campo lejano	36 grados
Potencia de salida	90 mW 200 mA
Corriente umbral	< 20 mA
Eficiencia externa	> 0,45

Tabla 3 - Características típicas de estructuras de láser sin revestimiento de AsGaIn/AsGa/InGaP de gran área y de geometría estrecha

las de su utilización como fuentes que emiten alrededor de 1010 nm para amplificadores de bombeo de fibra dopada que operan a 1300 nm; estos amplificadores se basan en fibras dopadas con tierras raras (p. ej., praseodimio); su estado de desarrollo está retrasado respecto al de las fibras dopadas con erbio, pero no están demasiado lejos de convertirse en realidad. Desde luego esto abriría el camino a las aplicaciones de amplificadores de fibra en redes ya existentes a 1300 nm.

Otra importante posibilidad de aplicación de los láseres de AsGaIns/AsGa es la interconexión óptica de placas (interna o entre ellas), paneles traseros y bastidores de equipos de telecomunicación, con el objetivo de minimizar la dimensión total y el consumo de energía, aumentar la velocidad y proporcionar inmunidad EMI (interferencia electromagnética) y EMC (compatibilidad electromagnética). Otras ventajas adicionales de las interconexiones ópticas son la baja degradación de la señal y la posibilidad de multiplexación por longitud de onda.

El papel de los láseres de AsGaIn/AsGa en este campo es muy prometedor, ya que los requisitos básicos para dichas aplicaciones lo constituyen las redes de láseres posiblemente realizados mediante elementos emisores superficiales con capacidad de sintonía de múltiple longitud de onda, corriente umbral por debajo del miliamperio, eficiencia externa mejor que 0,4 W/A, pequeño ángulo en campo lejano (< 20 grados), algunos mW de potencia de salida y una anchura de banda superior a un GHz.

Conclusiones

Los componentes de AsGa tienen un importante papel en las telecomunicaciones, pero se espera que aún sea mayor en un futuro próximo. Se ha dado una visión general de los componentes de AsGa para la industria de las telecomunicaciones, con énfasis espacial en las actividades llevadas a cabo por la división de Telettra de Alcatel Italia, en investigación, desarrollo y fabricación de dispositivos electrónicos basados en AsGa (FET y HEMT), circuitos integrados (MMIC), y láseres de bombeo de AsGaIn/AsGa. Su papel es cubrir las actuales necesidades de Alcatel y desarrollar las futuras tecnologías y componentes, estimulando a los usuarios para que busquen nuevas aplicaciones potenciales de dichos dispositivos.

Giampiero Donzelli nació en Milán en 1949. Se graduó en Física (especialidad Electrónica) en la Universidad de Milán en 1975. A continuación trabajó en los laboratorios CISE en el campo de investigación de la tecnología MMIC y MESFET de AsGa. Se incorporó a Telettra en 1983 y fue cofundador de la actividad tecnológica en AsGa con la responsabilidad del Laboratorio de Dispositivos. Actualmente está al cargo del I+D de componentes discretos en AsGa y de los MMIC del área de proceso de AsGa de la división de Telettra de Alcatel Italia.

Fabio Vidimari nació en Trieste en 1950. Se graduó en Física del Estado Sólido en la Universidad de Milán en 1975 con una tesis sobre diodos Gunn en AsGa. Trabajó en epitaxias, implantación iónica y MESFET AsGa como investigador en el CISE hasta 1983 en que se incorporó a Telettra. En 1984 fue cofundador de la actividad tecnológica en componentes AsGa con responsabilidad sobre el Laboratorio de Materiales, ampliado en 1989 para cubrir la actividad en dispositivos optoelectrónicos de InP. Actualmente está a cargo del laboratorio de componentes en heteroestructura en el centro de investigación de Telettra Alcatel Italia.

GLOBALSTAR* : un sistema transparente

D. Rouffet
Alcatel Espacio, Courbevoie, Francia

Introducción

En el estado del arte actual no se puede utilizar un único terminal manual para realizar llamadas de ámbito global. Existen facilidades de comunicaciones regionales y nacionales, pero no ofrecen una cobertura total. Las nuevas funciones de movilidad en redes públicas, que permiten conectarse a cualquier abonado independientemente de su ubicación, han hecho necesario modificar las redes que transportan la información y encaminan las llamadas. El mercado previsto para la red de satélites no es lo suficientemente grande como para justificar nuevos desarrollos o cambios en estas funciones. La única alternativa es incorporar la red de satélites en las redes móviles o conmutadas; esto requiere el uso de satélites de órbita baja.

En muchos países grandes con bajas densidades de población existen áreas en las cuales la inversión en facilidades convencionales de comunicaciones - redes celulares, fijas o de microondas - es demasiado alta para el volumen de llamadas tratadas. Para estas regiones, un sistema de satélites ofrecería una solución real, suponiendo que se cumplieran dos condiciones: un terminal de bajo coste y unos cambios mínimos en la red pública de conmutación. Aquí también la solución la dan los satélites de órbita baja.

La Conferencia Mundial de Administraciones de Radio de Torremolinos (WARC) reconoció esta situación asignando dos bandas de servicios móviles para satélites de órbita baja, cada una de 16,5 MHz de anchura, de 1610 a 1626,5 MHz, y de 2483,5 a 2500 MHz. Las decisiones de la Conferencia tendrán efecto en Octubre del 1993. Para permitir la expansión de este servicio, a partir del año 2005 se abrirán otras bandas de frecuencia.

El concepto

Las técnicas de satélites geoestacionarios se han demostrado inadecuadas para las llamadas que utilizan terminales portátiles. Esto es debido a que un enlace de alta calidad requiere antenas no plegables muy grandes y una significativa potencia de transmisión. Además este tipo de sistema de satélites está limitado en el número de canales y en la reutilización de frecuencias, y la distancia al satélite hace que la actual infraestructura de red móvil no puede utilizarse sin cambios importantes. Por lo tanto, se tuvo que recurrir a otras técnicas.

Esto condujo naturalmente a la consideración de satélites de órbita baja (LEO), debido a los terminales portátiles (con radiación no direccional), ya que cuanto más próximo a la tierra esté el satélite, menor es la dispersión de energía, y se requiere menos energía para garantizar un enlace. Sin embargo, al aproximar el satélite a la tierra, se pierde geosincronismo y se desvanece su rastro. Por ello se necesitan más satélites para conseguir una cobertura permanente.

Los antecedentes de la técnica de órbita baja se remontan a los años 60, cuando los vehículos de lanzamiento fueron incapaces de alcanzar la órbita de los satélites geoestacionarios. Desde entonces se han realizado importantes progresos en el análisis de constelaciones de satélites de órbita baja, estando ahora diversas constelaciones disponibles para los diseñadores de sistemas. Pueden dividirse en dos grupos según su funcionamiento:

— de órbitas polares, que proporcionan una cobertura total del planeta
— de órbitas inclinadas, que no proporcionan cobertura de los polos, y que pueden ser diseñadas específicamente para una banda de latitudes particular.

La comunicación de los satélites con los móviles implica un tipo especial de propagación de señales. Si existen pocos caminos múltiples, el camino satélite - tierra puede quedar obstruido por obstáculos (edificios, árboles) que atenúan la señal. Los modelos y medidas de propagación disponibles muestran que este problema disminuye a medida que aumenta la elevación del satélite. De 0° a 20°, las características del canal de satélite son similares a las de los de redes móviles terrenas, es decir hay caminos múltiples, y la recepción sufre bloqueos significativos por los obstáculos. De 20° a 40°, no hay prácticamente caminos múltiples excepto en forma de reflexiones difusas, y hay menos bloqueos en la recepción. Por encima de los 40°, el número de obstáculos disminuye y la recepción mejora. Mas allá de 70°, la propagación es siempre de excelente calidad. La transmisión por satélite difiere, por consiguiente, de la transmisión celular y el principal método de superar los defectos de propagación es asegurar la existencia de suficiente energía, particularmente en las elevaciones mas bajas.

* Marca registrada con el FCC por Loral Qualcomm Satellite Services para un sistema de satélites de órbita baja

Las únicas constelaciones que satisfacen un elevado criterio medio de elevación son las de órbitas inclinadas. La inclinación del plano del satélite para cubrir áreas pobladas es aproximadamente 50°. El único parámetro a determinar es entonces la altitud. La elección se sitúa o por debajo de los cinturones de Van Allen, con los primeros efectos negativos sobre los componentes electrónicos alrededor de los 1500 km, o por encima de ellos, más allá de los 9000 km.

Para conseguir la integración con las redes terrestres, el tiempo de propagación debe ser inferior a un umbral equivalente a una altitud de satélite de unos 6000 km. La existencia de los cinturones de Van Allen indica que no se debe pasar la altitud de 1800 km.

Esto nos lleva a un sistema de satélites LEO con órbitas inclinadas de 52° y una altitud de 750 millas náuticas (1389 km). La Figura 1 muestra un ejemplo de cobertura instantánea.

Transparencia y funcionamiento del sistema

El sistema se basa en dos conceptos de transparencia:

— transparencia del segmento espacial para que puedan coexistir diversos tipos de terminales normalizados
— transparencia ligada al funcionamiento conjunto con las diversas redes cubiertas por los satélites.

Transparencia de satélites

La transparencia simplifica considerablemente el segmento espacial y reduce los costes de inversión. La transparencia requiere una infraestructura de estaciones terrestres para proporcionar conexión a las redes públicas, con una densidad de estaciones de cerca de una por millón de km^2, equivalente a una en cada país europeo. De esta forma, con las suficientes estaciones terrestres para proporcionar una cobertura permanente, no se requieren uniones entre satélites. Además, cada país tiene una base de datos que gestiona la movilidad de los abonados. Esta infraestructura asegura que ningún operador en el mundo sea "puenteado" - todos los operadores tendrán el control de su propio tráfico y sus propias disposiciones de tarifas.

La transparencia implica también un método de trabajo similar al de las redes celulares. Para conseguir continuidad de conexión, particularmente cuando el tráfico se pasa de un satélite a otro, el móvil debe permanecer dentro del área de cobertura del controlador de la estación del satélite (SSC) con la que se estableció la llamada. Esto es posible sólo si el móvil permanece dentro de un cierto radio del SSC, lo que requiere que:

— la elevación de los satélites con los que el móvil se comunica sea cercana a la de los SSC en cuya área está situado el móvil
— el móvil no tenga problema de sincronización con el relevo de satélites
— se respeten las fronteras nacionales y los acuerdos que gobiernan el tráfico internacional.

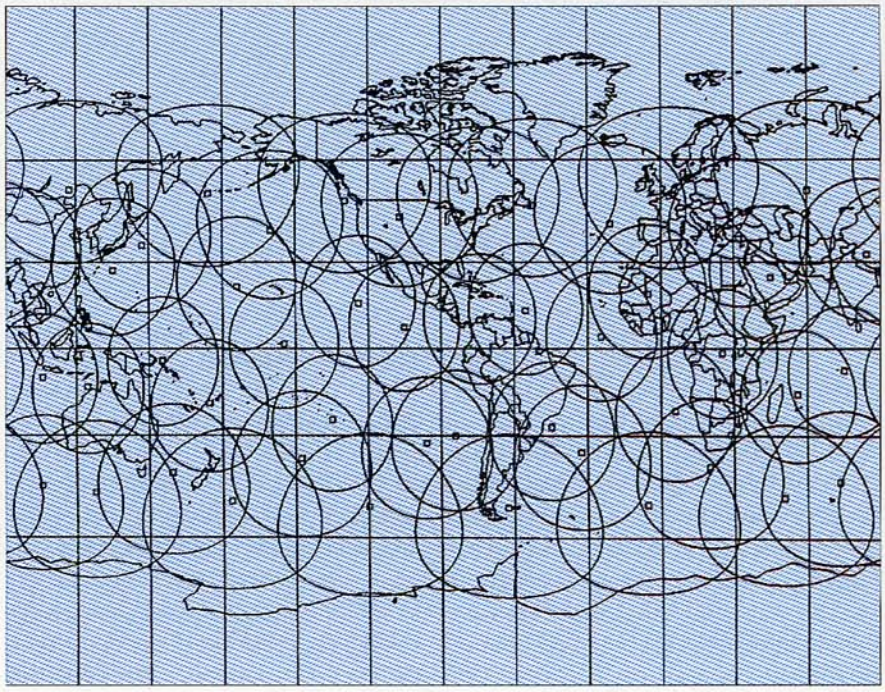
Establecimiento de la llamada

El método es el típico de un sistema transparente de comunicaciones de órbita baja.

Cuando se conecta, un terminal móvil trata de establecer si está en una red terrestre celular. Si puede comunicarse con una red, es registrado. Si no, el móvil envía al satélite una señal solicitando su localización y registro en un canal particular, tras un período de búsqueda de canales llamantes (Figura 2 arriba y centro).

Esta petición, que también contiene la señal de identificación internacional del abonado móvil (IMSI) es recibida por una estación que tiene la capacidad de proceso requerida para la función de localización. Durante el cálculo de la localización, la estación refrenda al usuario con la base de datos en la que él o ella está identificado (HLR: registro de posiciones base). Tras el refrendo y la localización, el móvil puede recibir información relativa a su registro con un SSC. A la recepción de esta información, el terminal móvil se sincroniza en el canal de señalización de la estación con la que se registra. La estación localizadora envía la información de registro del móvil a su HLR.

Figura 1 - Ejemplo de cobertura instantánea de un sistema de 48 satélites. Cada círculo representa un ángulo de 15° y cada cuadrado el punto bajo el satélite



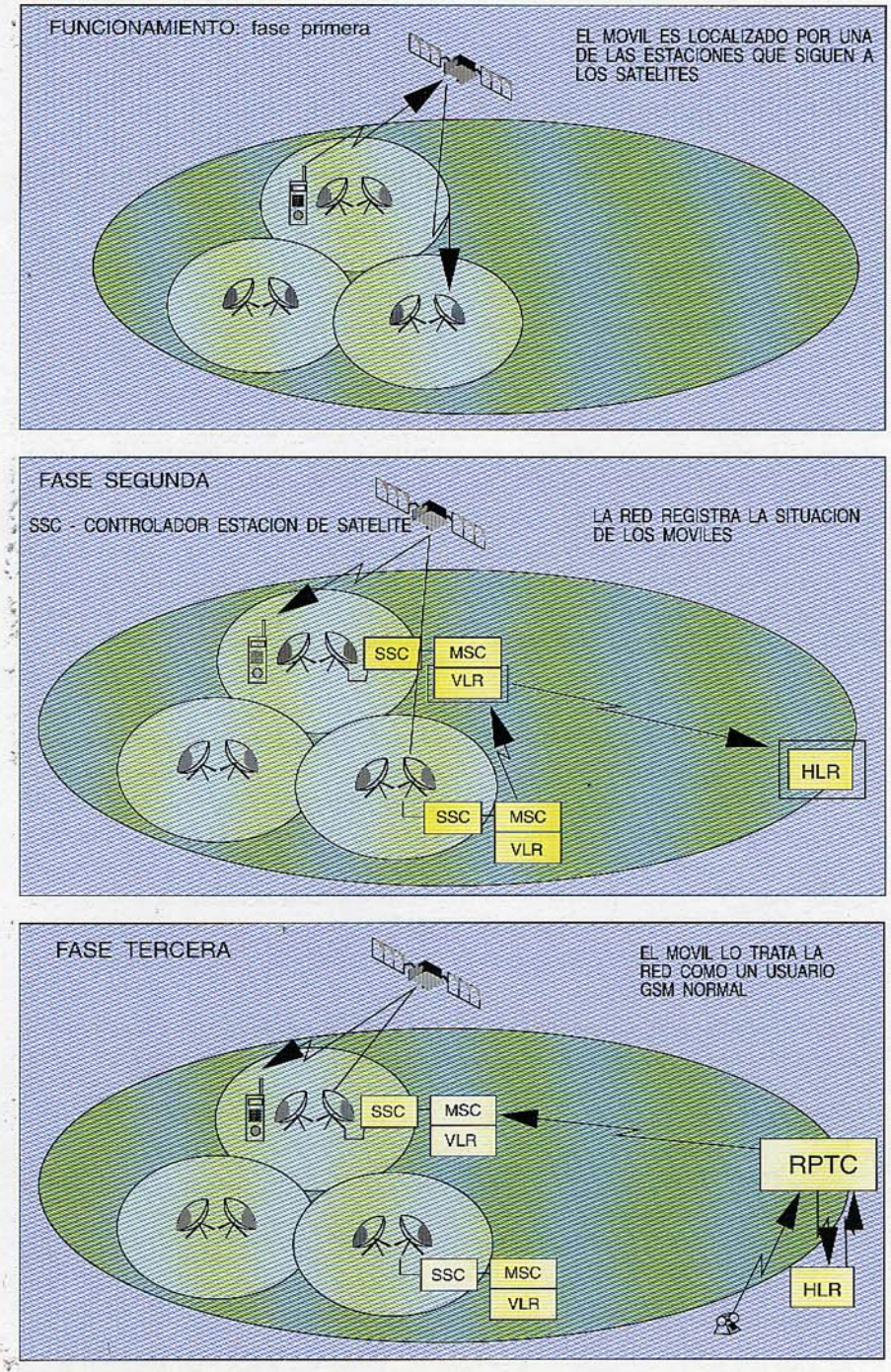


Figura 2 - Etapas involucradas en el acceso a la red vía satélite

A partir de este punto, la red puede encaminar llamadas hacia el móvil como en la red terrestre celular. Ello significa que la red de satélite puede integrarse con redes celulares y sus servicios adscritos: mismo plan de numeración, acceso a los servicios ofrecidos por las redes, etc. La transparencia es esencial para la integración con una red celular (Figura 2 abajo).

Segmento espacial

La constelación de satélites de órbita baja adoptada es una Walker 48/8/1/52°/1389 (48 satélites, distribuidos uniformemente en ocho planos, con desplazamiento de fase de 7,5° entre planos, 52° de inclinación y 1389 km de altitud). Proporciona cobertura de las latitudes entre 0° y 70° en las condiciones de elevación adecuadas. La Figura 3 muestra la elevación media en función de la latitud. Esta alta elevación media proporciona márgenes de propagación compatibles con las comunicaciones móviles.

Además, para construir esta constelación puede utilizarse una amplia variedad de vehículos de lanzamiento - Delta, Atlas, Ariane 4 y 5. La existencia de órbitas de transferencia a través de la rotación diferencial natural de los planos significa que los satélites pueden situarse en estación gradualmente, con lo que puede utilizarse toda la carga útil de los vehículos de lanzamiento. Esta característica es específica de las órbitas inclinadas, ya que las polares no ofrecen esta rotación diferencial (deriva nodal).

Los lanzadores de satélites individuales podrían utilizarse para sustituir los satélites en órbita, pero esto es un requisito no deseado por las propiedades auto-ajustadoras de la constelación. Desde cualquier punto terrestre, pueden verse siempre dos satélites, lo que significa que varios satélites podrían perderse sin que se interrumpiera el servicio.

La plataforma, con una masa de unos 350 kg, transporta una carga útil de 90 kg y una energía eléctrica de 500 W. El factor de fiabilidad será aproximadamente 0,7 durante el tiempo de vida planificado (ocho años); esto significa una fiabilidad del satélite de aproximadamente 0,5. En relación con la constelación, este factor de fiabilidad puede parecer bajo, pero ha sido reducido para conseguir un ahorro sustancial, asumiéndose la aparición de fallos sólo cuando se haya reemplazado la primera generación de satélites.

Los contratos para el segmento espacial se otorgarán a la Alianza (Aeroespacial, Alcatel, Alénia, DASA, Space System LORAL).

Transmisión

La transmisión emplea diversas técnicas: TDMA, FDMA y CDMA. La dis-

persión de frecuencias es necesaria debido a las regulaciones de radio, especialmente las concernientes a las limitaciones de flujo de energía emitida por terminales y satélites. El sistema de transmisión debe:

— utilizar energía del satélite para lograr un máximo de capacidad
— emplear los recursos espectrales de reserva compartiéndolos con otros servicios
— respetar las regulaciones, en especial para que las frecuencias puedan coordinarse con los servicios que actualmente ocupan las bandas asignadas
— ofrecer un alto nivel de disponibilidad de alta calidad para las señales de voz o datos de propagación de móviles
— proporcionar una solución potente a la auto-interferencia que surge de la cobertura múltiple.

La técnica adoptada es el acceso múltiple por división de código, debido a su rendimiento y a las limitaciones de la densidad de flujo de energía emitida por el terminal y el satélite, así como a la energía isotrópica radiada (EIRP). Esta técnica se muestra en la Figura 4.

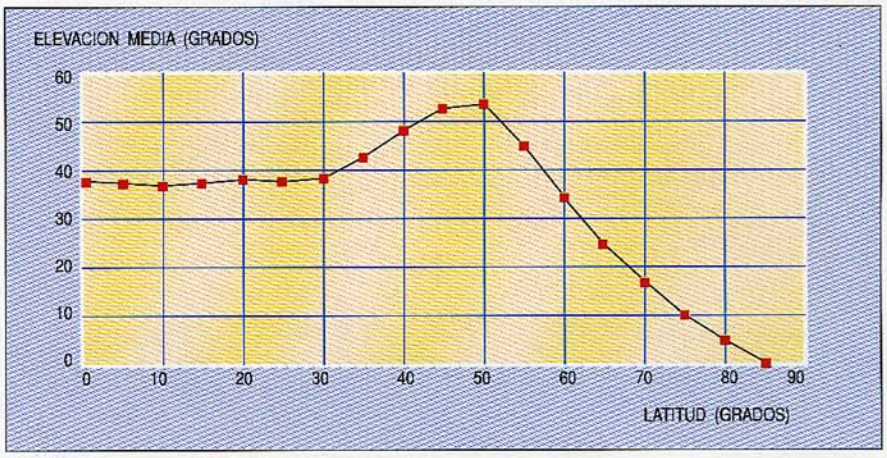
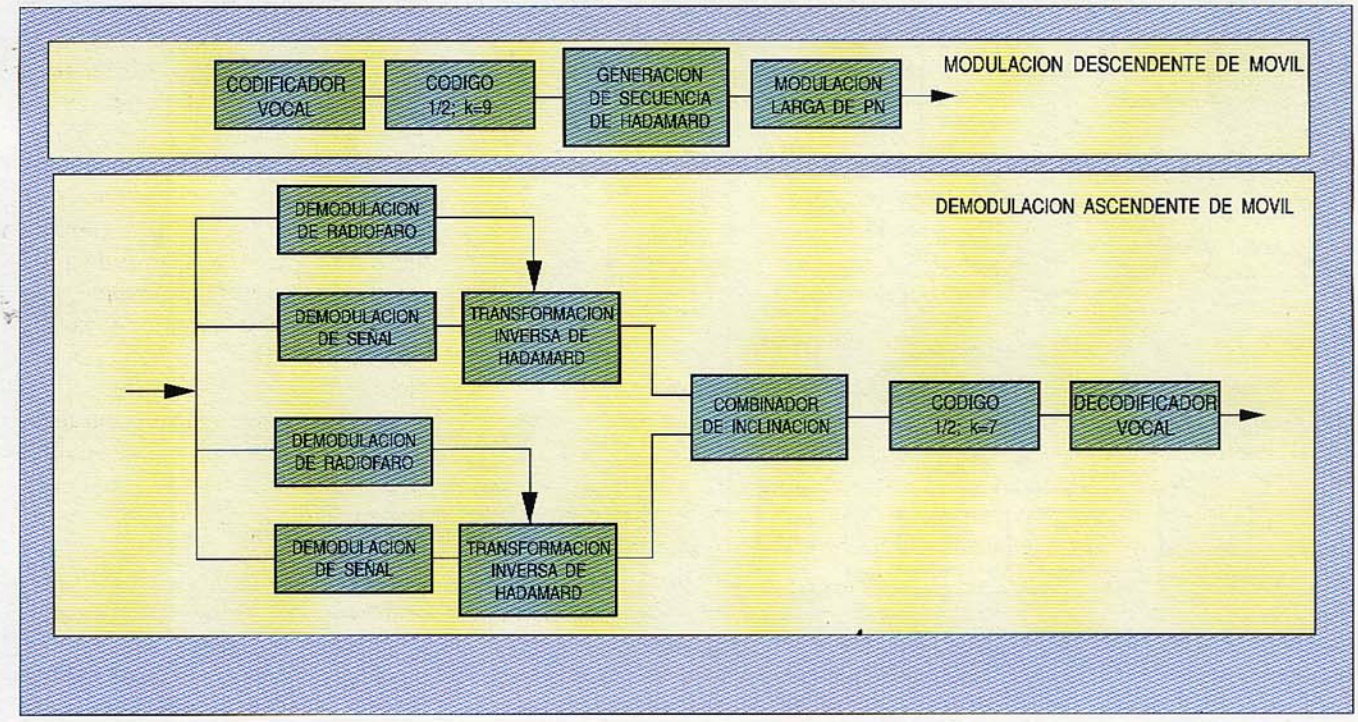


Figura 3 - Elevación media del satélite en función de la latitud

Dicha técnica puede utilizarse para recibir dos señales desde dos satélites diferentes, y garantiza un traspaso de control casi continuo. En algunos casos, particularmente en baja altitud, la habilidad de combinar señales procedentes de satélites diferentes mejora además la disponibilidad de enlaces, proporcionando amplios márgenes de potencia. El margen medio está comprendido entre 10 y 25 dB, según el tipo de enlace, aunque se garantiza la disponibilidad apropiada para los diferentes tipos de codificación e intercalación con un margen de 7 dB.

Una disposición de control de potencia proporciona al abonado el adecuado nivel de portadora a ruido para una demodulación apropiada. Esta es una de las ventajas decisivas de las disposiciones de control de potencia adoptadas en el diseño del

Figura 4 - Diagrama de bloques del equipo que realiza el acceso múltiple por división de código



VELOCIDAD POSIBLE CODIFICADOR VO	4,8 / 2,4 / 1,2 kbit/s
ENLACE ASCENDENTE Eb/No	3,5 dB (código 1/2; K=7)
ENLACE DESCENDENTE Eb/No	5,2 dB (código 1/2; K=9)
NUMERO DE PORTADORAS POR CANAL	128, 1 de radiofaro (ocupando 4 circuitos), 2 de búsqueda y 1 de sincronización
CAPACIDAD EN. ASCENDENTE (POR HAZ)	801 circuitos
CAPACIDAD EN.DESCENDENTE (POR HAZ)	635 circuitos
NUMERO DE CIRCUITOS POR SATELITE	2800 (configuración de 8 haces)

Tabla 1 - Características del enlace de transmisión

sistema. Permite, en un momento dado, asignar márgenes adicionales de potencia al bajo porcentaje de abonado que lo necesiten, requiriéndose por lo tanto un bajo aprovisionamiento global. La disponibilidad, por lo menos igual a la de las redes celulares, se consigue, por lo tanto, con un satélite cuya energía total indique sólo un bajo margen.

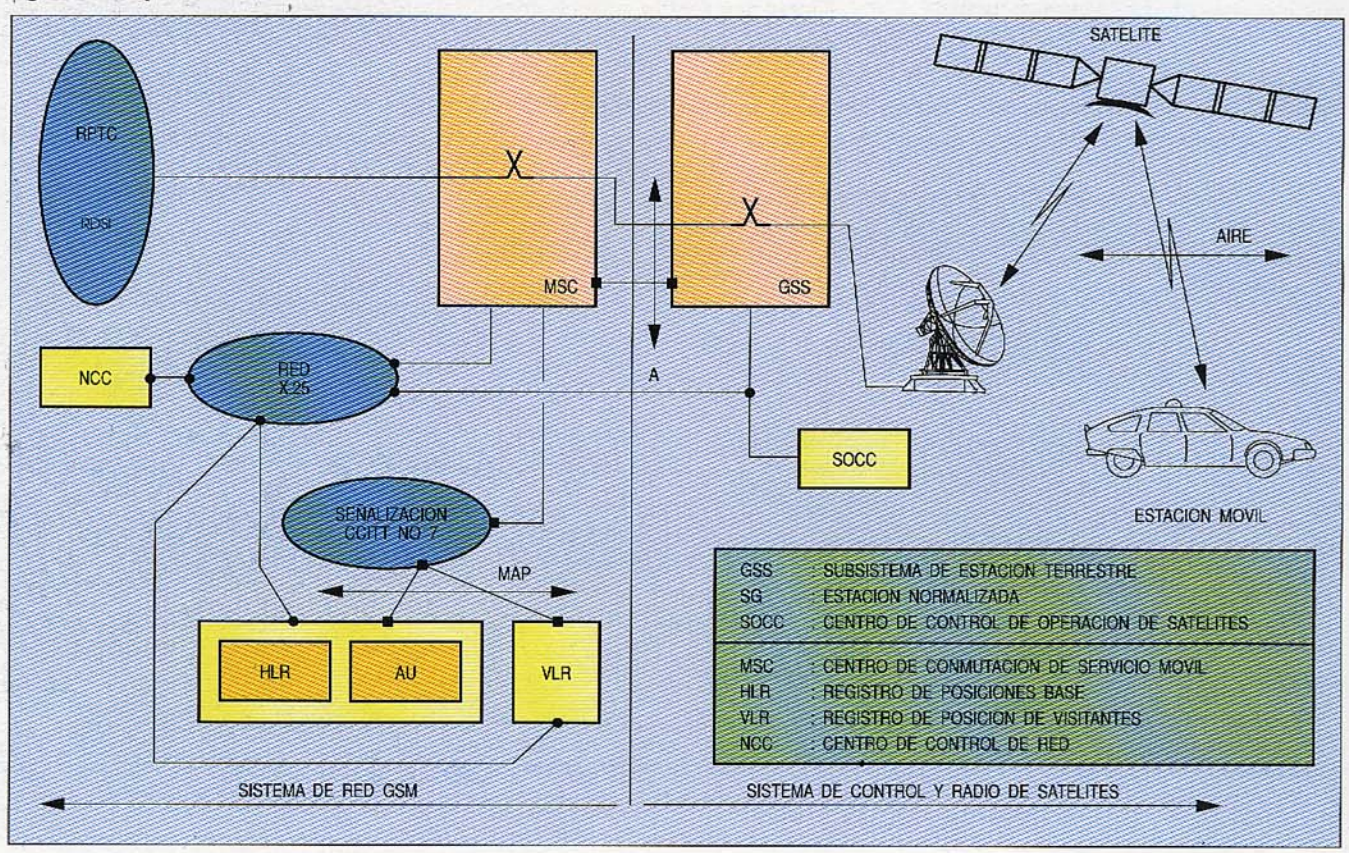
El enlace terminal móvil-satélite requiere sólo una potencia de terminal muy baja, ya que basta una media de 25 mW para establecer un enlace. Para tener en cuenta ciertos tipos de propagación desfavorable, que perduran unos pocos segundos, se han especificado aproximadamente 500 mW como potencia máxima de un terminal normal, y 5 W para el terminal montado sobre vehículo. La transmisión por satélite no supondrá, por lo tanto, un riesgo fisiológico, pues está dentro de las normas actuales o planificadas. Las características de transmisión se detallan en la Tabla 1.

Aspectos de la red

La arquitectura de la red hace un amplio uso de los interfaces desarrollados para las redes públicas móviles. La órbita baja de los satélites y el pequeño tiempo de propagación añadido por GLOBALSTAR significa que los protocolos y los sistemas de señalización utilizados por las redes celulares, y especialmente por el GSM, pueden montarse inalterados. Como en cualquier red móvil, deben definirse tres interfaces:

— el interfaz aéreo, que define los intercambios entre el móvil y un

Figura 5 - Arquitectura del controlador de estación de satélite



- controlador de estación de satélite (SSC)
- el interfaz entre el controlador de estación de satélite y una central en una red pública móvil
- el interfaz que define el protocolo de intercambio entre el centro móvil de conmutación y las bases de datos de gestión de movilidad.

El interfaz A, utilizado en particular por el GSM, proporciona compatibilidad con la señalización N°7 del CCITT. En la Figura 5 se muestra la arquitectura del controlador de estación de satélite. La gestión de la movilidad se basará en el interfaz MAP. En la Figura 6 puede verse su arquitectura.

Funciones

Un gran número de las funciones existentes en las redes celulares pueden ser utilizadas por la red de satélites. Se necesitan añadir muy pocas funciones, tal como se indica en la Tabla 2.

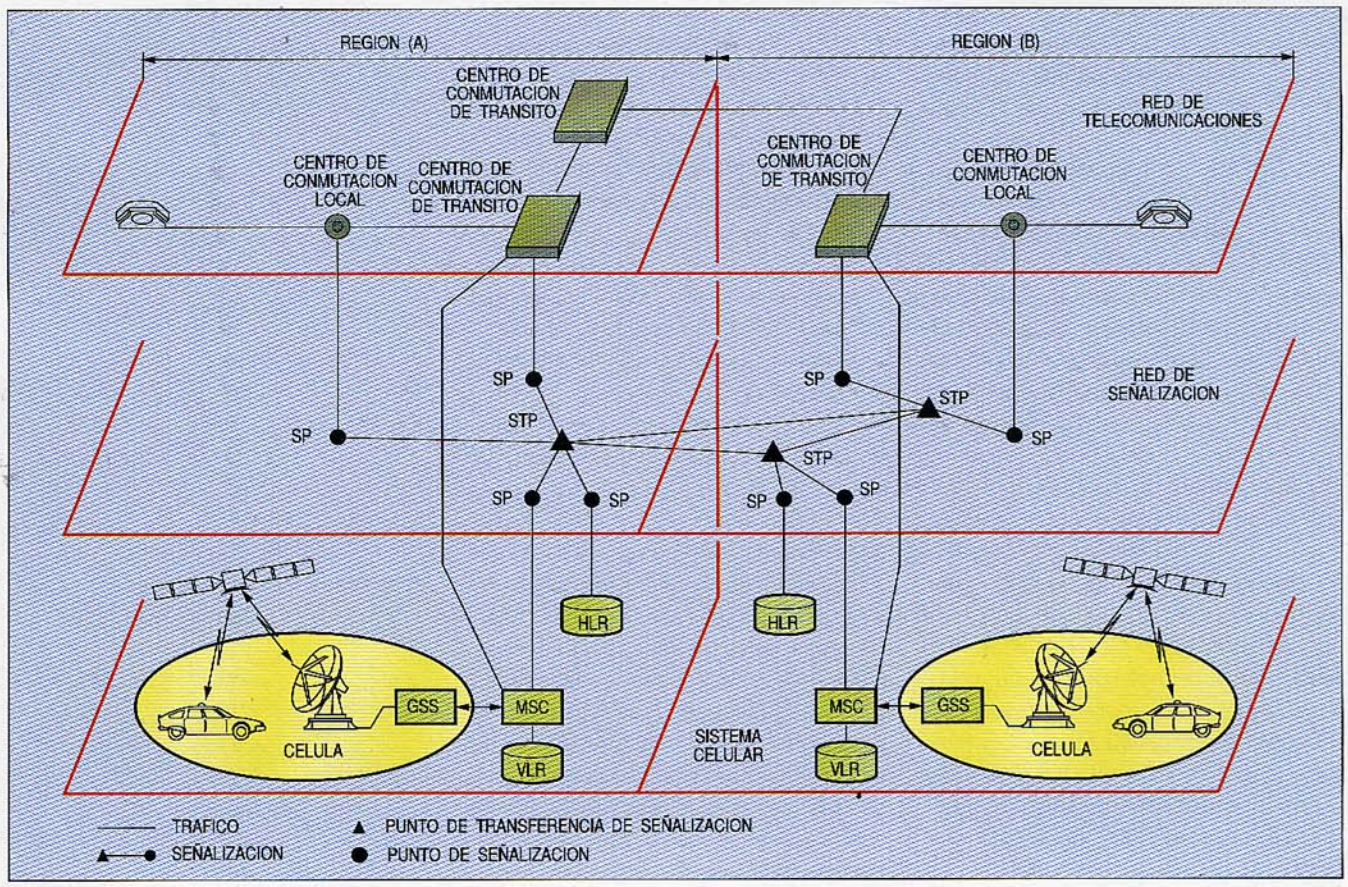
El relevo de los satélites es la más interesante de las funciones añadidas. Este proceso, requerido por el movimiento de los satélites, es similar en términos de señalización a un relevo terrestre, pero con la característica especial de ser perfectamente determinístico. El tiempo medio entre dos relevos es de aproximadamente seis minutos. Cuando aparece un nuevo satélite, la estación toma la decisión de relevar o no, según criterios tales como la mejor elevación y la capacidad sobrante. De esta forma puede distribuirse el tráfico y gestionar la red para obtener los mejores resultados. Es digno de atención que todas estas funciones de gestión pueden ser descentralizadas en los controladores de estación de satélite utilizando las reglas de gestión de tráfico en la operación de las redes móviles.

Funciones adoptadas de la red celular
Gestión de movilidad
Gestión de llamadas y mensajes por radio
Numeración y encaminamiento
Interfaz con la RTPC
Tarificación y facturación
Gestión de las bases de datos
Funciones de operación y mantenimiento
Procedimientos de paso
Nuevas funciones
Registro con control de estación de satélite
Control de la potencia del transmisor
Relevo de satélites

Tabla 2 - Compatibilidad funcional entre el sistema de satélites y el de móviles terrestres

Además, todas las funciones específicas de la red de satélites se pueden concentrar en los controladores de estación de satélite. En algunos países es también posible

Figura 6 - Arquitectura de la red



acoplar dicho controlador a una pequeña central para acceder a la red pública local. Esta central, la cual normalmente sólo gestionará solo un número limitado de circuitos, puede incluir una base de datos.

Es posible simplificar la arquitectura y utilizar interfaces con las redes locales para aplicaciones rurales sin interferir en absoluto con ellas. Sin embargo, se intenta conservar el mismo interfaz aéreo para que los usuarios puedan aprovecharse del precio de los terminales.

Conclusiones

La principal innovación del sistema GLOBALSTAR es su integración con las redes públicas móviles o conmutadas debido a la baja altitud de los satélites. GLOBALSTAR proporcionará a los operadores una infraestructura, y a los abonados una cobertura mundial total. La inversión de los operadores será proporcional al número de circuitos que trate de utilizar. Un beneficio adicional del sistema es que hace el mejor uso de las infraestructuras de red existentes.

Utilizado como infraestructura suplementaria en países de baja densidad de población, no implica cambios en las redes terrestres móviles o generales. Es una primera fuente de ahorros significativos. Un segundo factor, muy importante, es la naturaleza de la inversión espacial. Los satélites son sencillos, transparentes y robustos, y se construyen en número suficiente como para disfrutar de los beneficios de la gran escala. Además, el uso de órbitas inclinadas reduce al mínimo los costes de lanzamiento.

Los terminales GLOBALSTAR se basan en la tecnología celular y no serán mucho más caros que los terminales celulares. El precio del servicio será cercano al de los servicios terrestres móviles cuando el segmento espacial esté en funcionamiento.

Bibliografía

1 Robert Wiedemann, Allen Samasi, Denis Rouffet: GLOBALSTAR: mobile communications where ever you are; AIAA, Marzo 1992, Washington DC.

2 Paul Monte, M. Turner: Constellation selection for GLOBALSTAR, a global mobile communication system; AIAA, Marzo 1992, Washington DC.

3 M. Louie, P. Monte, R. Tyner, D. Rouffet, K. Gilhousen: GLOBALSTAR communication payload for global mobile communications; AIAA, Marzo 1992, Washington DC.

4 M. Louie, D. Rouffet, H. Gilhousen: Multiple access techniques and spectrum utilization of the GLOBALSTAR mobile satellite system; AIAA, Marzo 1992, Washington DC, EE.UU.

5 M. Cohen, Y. Tanguy: Multiple access techniques of the GLOBALSTAR system; ISTS 92, Kagoshima, Japón.

6 M. Mazzella, M. Cohen, C. Michel: The GLOBALSTAR system; pendiente de publicación.

7 J.G. Walker: Continuous whole earth coverage by circular orbit satellite patterns; RAE, Technical report 77044, Marzo 77.

8 Qualcomm: an overview of the application of the CDMA to digital cellular system and personal cellular networks, Mayo 92.

9 GSM: ETSI Specification Series.

Denis Rouffet nació en París en 1951. Graduado en la Escuela Central de Lyon (1974) y en la Escuela Nacional Superior de Telecomunicaciones (1976), comenzó a trabajar en 1977 en el laboratorio de Electrónica y Física Aplicada de Limeil Brevannes, donde estuvo a cargo de la investigación de modems de alta velocidad para enlaces radiovisuales. Ingresó en el CNET en 1980, donde dirigió la investigación sobre los satélites nacionales de la segunda generación y los sistemas móviles de satélites (INMARSAT). En 1985 ingresó en el CNES donde fue responsable de los programas de servicios móviles y satélites retransmisores de datos. En Alcatel Espacio desde 1988, es actualmente responsable de investigación en el sistema GLOBALSTAR. Denis Rouffet tiene muchas patentes y es coautor de un libro sobre sistemas VSAT.

Comunicaciones rurales: Análisis comparativo de las tecnologías de radio

A. Díaz-Hernández
Alcatel Standard Eléctrica, Madrid, España

Un 57% de la población mundial vive actualmente en núcleos rurales de menos de 2000 habitantes, frecuentemente alejados entre si y de las ciudades. Alrededor del 5% de la población mundial rural demanda potencialmente el servicio telefónico a un bajo precio, pero la mitad de ella no puede ser satisfecha por las tecnologías tradicionales, en donde las inversiones en infraestructura son una carga pesada sobre el precio total del servicio. Para superar este problema, las nuevas tecnologías radio presentan una buena solución.

Introducción

Las nuevas tecnologías radio tienen un papel importante en el servicio de telefonía fija en zonas rurales. Para encontrar la tecnología más conveniente en el mercado de comunicaciones rurales, este trabajo presenta un análisis comparativo entre las tecnologías Móvil GSM-F (GSM), Múltiple Acceso Radio Digital Punto-Multipunto (PMP) y satélite Globalstar (STAR) con un ejemplo de aplicación y el impacto que tendría en tres escenarios: años 1992-93, 1996-97 y 2000.

Frecuentemente, en las poblaciones rurales no resulta rentable utilizar costosos procedimientos de tendido de cable telefónico por su elevado costo de infraestructura y por las demoras debidas a planificación e instalación. Por el contrario, el uso de la tecnología de sistemas de radio resuelve el acceso de estas poblaciones a las redes públicas sin necesidad de realizar apenas obras de planta externa. En conjunto esta tecnología tiene las siguientes ventajas respecto a la de cables:

— instalación rápida y sencilla
— menores costes de la primera instalación
— menores costes de mantenimiento
— reducción del consumo de electricidad
— flexibilidad para el acceso de abonados
— adaptación a las irregularidades del terreno
— reutilización del equipo.

Existen dos razones para esperar una amplia implantación de estas tecnologías de radio para abonados rurales de telefonía fija:

— las economías de escala producirán importantes reducciones de precio en los sistemas de radio en los próximos años, siguiendo la tendencia de la electrónica
— el crecimiento en el número de líneas de los mercados desarrollados está disminuyendo debido a la saturación — al tiempo que aumenta la demanda de servicios de valor añadido —. Por ello, los operadores de servicio y los grandes fabricantes de equipo deberán desplazar su mercado hacia países con bajo índice de penetración y elevada demanda insatisfecha.

El artículo se centra en la red de acceso de cada una de las tecnologías GSM, PMP y STAR en un área típica rural usando parámetros de entrada tales como: densidad de abonados rurales desde un abonado por cada 10 000 km^2 hasta veinte abonados por km^2 (p. ej., Australia tiene alrededor de un abonado rural por cada 100 km^2, Brasil cerca de un abonado por 10 km^2 y Sudáfrica cerca de un abonado por km^2), factor de agrupamiento de abonados desde uno hasta cien abonados por punto (una mayor agrupación de abonados implica una mayor reducción del precio por abonado), relación entre numero de abonados y número de habitantes, tráfico por abonado desde 0,02 hasta 0,2 erlang por abonado rural, vida media de los equipos, línea de transmisión, infraestructura, interés anual del dinero, etc.

El presente estudio está dividido en la descripción de las tecnologías GSM, PMP y STAR, análisis de la metodología, definición de un caso de estudio de acuerdo a una hipótesis generales y especificas, análisis de sus resultados y conclusiones.

Tecnología PMP

Además de los proyectos que se han introducido en América del Sur, Africa, Medio y Lejano Oriente, la tecnología PMP fue introducida en la red pública de conmutación de la antigua Alemania Oriental por el Deutsche Telekom.

Desde el punto de vista técnico, el sistema PMP permite unir abonados de áreas remotas a la red pública de conmutación. Una sola red puede alcanzar abonados comprendidos en un radio de 500 km de su estación central o centro de conmutación, incluyendo pueblos y fincas aislados, plantas industriales, lugares turísticos y estaciones de nieve.

Las señales internas se procesan utilizando una tecnología de acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT). El sistema concentra hasta 1024 abonados rurales, que pueden ser conectados a cualquier centro de conmutación de la red pública. La tecnología PMP requiere un tiempo de instalación mínimo, lo que permite dar un servicio telefónico de una forma más rápida de lo que sería posible con cual-

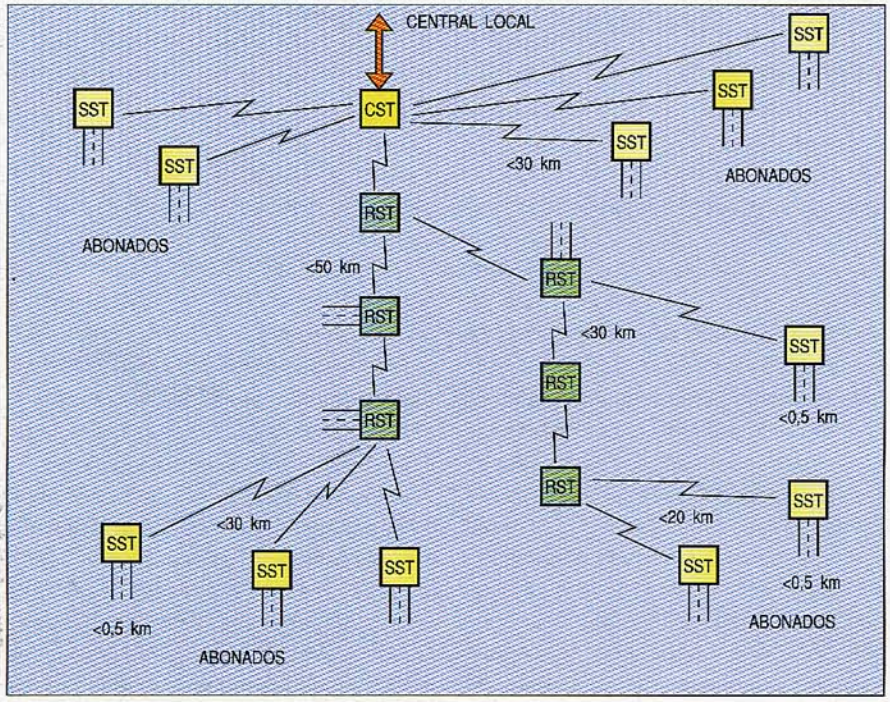


Figura 1 - Arquitectura PMP (Punto a Multipunto)

quier otro medio de transmisión convencional como las líneas de hilo desnudo o cable enterrado. Además, las dificultades topográficas o condiciones climáticas que suelen encontrarse en áreas escasamente pobladas hacen casi imposible el uso de los métodos convencionales de transmisión.

Además de la forma de distribución radial, la red también puede configurarse en forma de cadena, tal como se requiere en aplicaciones para ferrocarriles, teléfonos de emergencia de autopistas y canales, y en oleoductos y gasoductos. La Figura 1 muestra la arquitectura de la tecnología PMP.

La tecnología PMP permite que los usuarios de un área rural dispongan de iguales servicios de comunicaciones que los de las áreas urbanas:

— conexiones a líneas de abonados privados y de empresas de aparatos comunes y centrales privadas automáticas
— cabinas telefónicas
— transmisión de datos a 9600 bit/seg
— transmisión de datos a 64 kbit/seg empleando modems sobre circuitos dedicados
— servicio telex de hasta 300 baudios sobre canales dedicados especiales.

Estación central

El corazón de la tecnología PMP es la estación central (CST), la cual consiste en dos unidades: el terminal de la central en banda base para la conexión de los abonados, y el equipo de la estación central para la sección de radio. Las dos unidades están conectadas por un interfaz de 2 Mbit/seg que se implanta mediante una línea coaxial, fibra óptica o enlace de microondas. En el terminal de la central en banda base se pueden equipar módulos enchufables para dar servicio hasta 1024 abonados. El equipo de la estación central va alojado en una cabina de intemperie y lleva conectada una antena omnidireccional.

Estación de abonado

La estación de abonado (SST) recibe de forma continua las señales digitales de radio emitidas por la estación central, a la vez que retransmite hacia la estación central sólo las señales de las llamadas en curso. Una cabina diseñada para funcionar en intemperie aloja las unidades de radio, de banda base, de interfaz de abonado y de alimentación. Los abonados se conectan mediante cables de 2 hilos. El suministro de fuerza puede tomarse de una fuente de corriente alterna común o de un panel solar provisto con baterías.

Estación repetidora

Cuando la distancia entre las estaciones central y de abonado excede de 30 km ó cuando no existe una vía directa de radio, se puede instalar una estación repetidora (RST). El repetidor se asemeja a la estación de abonado, con la adición de una unidad de radio y una antena para la retransmisión de las señales.

Tecnología GSM-F

La tecnología móvil GSM-F está basada en el sistema Pan Europeo GSM (Groupe Special Mobile), y orientada para prestar servicios de comunicaciones rurales, tales como la telefonía fija y la transmisión de datos a baja velocidad. El estandard GSM ha sido adoptado por 26 operadores de red europeos de 18 países (incluidos todos los países de la Comunidad Europea excepto Grecia). La tendencia de la tecnología GSM es creciente, de tal manera que Australia, Nueva Zelanda, Singapur, Hong Kong, Filipinas, Indonesia, China y Taiwan han decidido adoptar la norma GSM; Rusia y la India están a punto de hacerlo.

El sistema GSM está definido con entidades funcionales e interfaces. Se han definido dos interfaces básicos que son el interfaz de radio (Um) y el interfaz (A) entre MSC (Mobile services Switching Centre) y BSC (Base Station Controller). Adicionalmente, el sistema de señalización nº7 permite que las llamadas se encaminen hacia las estaciones móviles las cuales tienen un seguimiento dentro de las distintas redes nacionales.

El área cubierta por el sistema GSM se divide en celdas, a las que se asigna una estación base con cierto número de frecuencias. Las frecuencias de una celda se pueden reutilizar, siempre que la distancia entre ambas supere la "distancia de reutilización".

El sistema GSM-F, como sistema celular, pertenece a la clase de sistemas radioeléctricos limitados por interferencia. Las células se consideran circulares atendidas por una BTS (Base Station Transceiver) de radiación omnidireccional. El radio de cada celda es función de la densidad de abonados, del factor de reutilización de frecuencias, del tráfico de cada abonado, de la carga máxima por canal, etc. Una BSC puede controlar varias BTS según la capacidad de los equipos.

El interfaz A admite configuraciones punto a punto a 2 Mbit/seg y a 64 kbit/seg definidas como sistemas MIC (PCM - Pulse Code Modulation). Los 64 kbit/seg por canal del sistema MIC son usados para transferir 4 canales vía radio. Los 16 kbit/seg disponibles se dividen en 13 kbit/seg para información de usuario y 3 kbit/seg para señalización. El sistema GSM puede usar antenas omnidireccionales con sólo 1 ó 2 portadoras. Un radio de celda puede llegar hasta 35 km, en áreas donde haya problemas por cobertura del sistema más que por capacidad. La eficiencia espectral se basa en el factor de reutilización de frecuencias. La Figura 2 muestra la arquitectura del sistema GSM.

Tecnología STAR

La tecnología STAR está basada en una red de 48 satélites LEO (de órbita baja) distribuidos alrededor de la tie-

Figura 2 - Arquitectura GSM

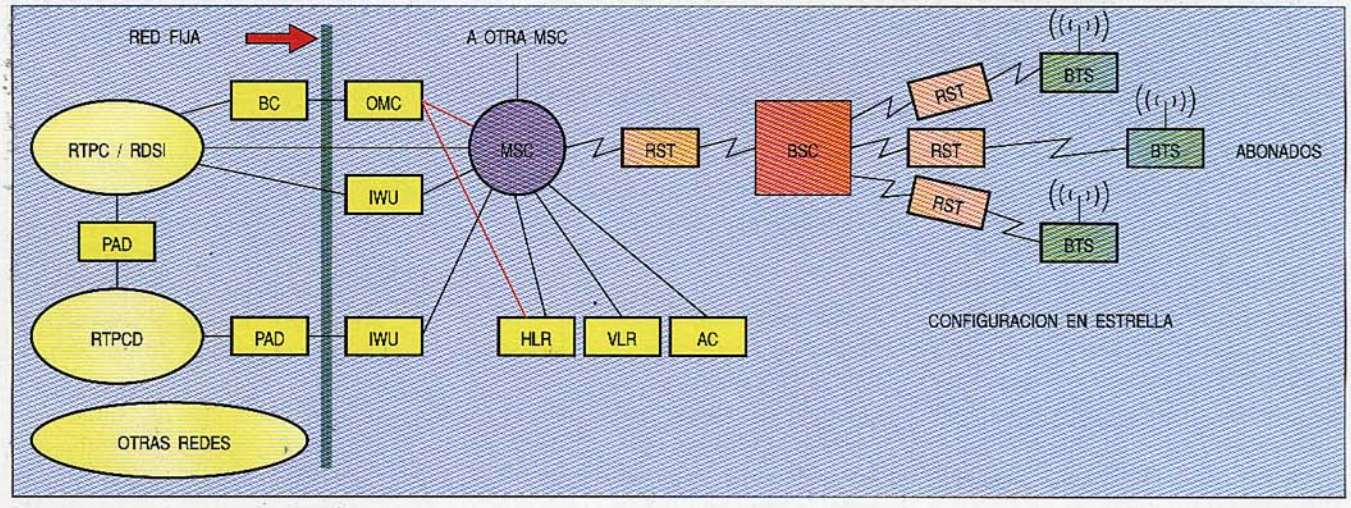
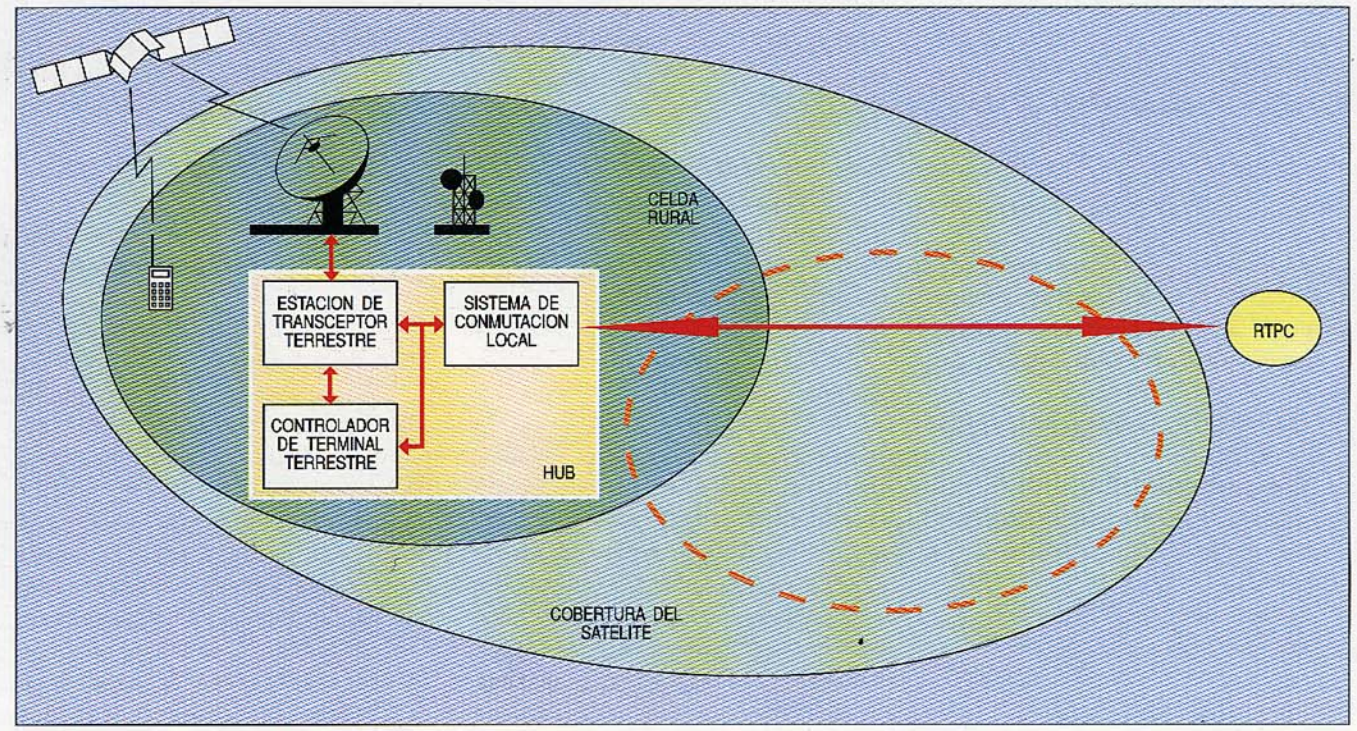


Figura 3 - Arquitectura Globalstar



rra, cuya puesta en operación está prevista para final de la década.

Globalstar es un sistema de comunicaciones móviles que emplea satélites LEO. En el sistema STAR el abonado puede usar un teléfono portátil o un teléfono móvil de coche. El sistema está integrado a la red telefónica publica conmutada (RTPC) y es complementario de la red publica celular. Sin embargo, para comunicaciones rurales, asumiremos que está integrado sólo a una RTPC (en algunos casos puede no ser esta). La Figura 3 muestra la arquitectura del sistema STAR.

El satélite LEO trabaja como una estación repetidora que amplifica y retransmite la señal recibida, estableciendo conexiones entre las estaciones terrenas de su zona de cobertura. En el sistema STAR el factor de agrupamiento no influye en el precio final del servicio. La capacidad del sistema y el tráfico de los abonados limitan el número total de abonados. El tamaño de la celda es un factor importante determinado por el proceso de cambio del satélite. Si se consideran parámetros tales como el ángulo mínimo de elevación (25°), el margen de captura Doppler del terminal, la duración de interrupción en la conversación durante el cambio, etc., se llega a un radio de celda de 500 km (785 400 km^2 de superficie). El sistema ofrece servicios de voz, datos y fax. Utiliza un modo de acceso FDMA/SCPC en donde cada canal tiene un ancho de banda de 10 kHz y las portadoras están espaciadas 20 kHz.

El tramo transmisor - enlace ascendente - satélite - enlace descendente forma el llamado segmento espacial, cuyas características más importantes son:

— modalidad de propagación en espacio libre
— márgenes reducidos de desvanecimientos (para compensar las pérdidas por absorción atmosférica y/o lluvia)
— notable valor de retardo de propagación de dos milisegundos respecto a los tres microsegundos de los enlaces terrestres de radio.

Los enlaces ascendentes y descendentes propagados en el espacio libre están asociados a una atenuación proporcional a la frecuencia y al cuadrado de la distancia. Debido a la limitación de potencia del satélite, el enlace descendente es el más desfavorable, por lo que se asignan a éste las frecuencias más bajas.

Metodología

El modelo está soportado por herramientas software que permiten comparar varias soluciones y analizar los resultados según varíen los parámetros de entrada. Las herramientas permiten a los planificadores modelar el problema siguiendo un proceso de tres pasos: modelamiento de red, de equipos y de demanda, tal como se explica a continuación:

Modelamiento de red

La comparación entre las tecnologías GSM, PMP y STAR ha sido realizada en una típica área rural en la cual se han considerado las diferentes densidades de abonados y agrupamientos de abonados. El modelo define la topología de la red de acceso, funcionalidades de los equipos de conmutación, localización de los centros especializados de red, etc.

Modelamiento de equipo

El modelamiento tecnoeconómico de los equipos tiene dos aspectos:

— el técnico: funcionalidad, capacidad y modularidad
— y el económico: precio de los equipos por modularidad, capacidad, etc.

El número de equipos por tecnología y escenario ha sido calculado teniendo en cuenta la capacidad, geografía y agrupamiento de abonados, de tal manera que los equipos no se subutilicen y se brinde un servicio económico y fiable. Las consideraciones de capacidad están referidas al número máximo de abonados o al tráfico máximo que soporta un equipo. Las consideraciones geográficas se refieren al área cubierta por el equipo.

Modelamiento de la demanda

La demanda de servicios se modela de acuerdo a:

— caracterización de servicios: POTS y transmisión de datos a baja velocidad
— caracterización de abonados: residencial, profesional o gubernamental, teléfono público, y PABX
— caracterización de tráfico: tráfico medio para distintas clases de abonados.

Métodos de cálculo

Se realizan tres tipos de cálculo principales:

— cálculo del volumen de tráfico: volumen de tráfico en los interfaces de la red, como suma del tráfico de sus ramales, y teniendo en cuenta esquemas de encaminamiento
— dimensionamiento de equipos: el número de equipos en cada segmento de la red para garantizar un adecuado nivel de servicio, incluyendo todos los parámetros significativos
— costeo de la red: el precio total (en ECUS) de la red (equipos mas línea de transmisión mas infraestructura) se ha evaluado para cada una de las alternativas de estudio. La comparación entre las tecnologías ha sido realizada con cargas anuales a un interés del dinero dado.

Caso de estudio

El estudio se ha realizado con un ejemplo de aplicación de la red de acceso de las tecnologías GSM, PMP y STAR en una típica área rural. La Tabla 1 muestra un resumen de las hipótesis generales. El área de referencia tiene 500 km de radio y una superficie de 785 400 km^2 (aproximadamente 1,5 veces la superficie de España). La distribución uniforme de abonados

Distribución de abonados	Uniforme
Radio del área de estudio	500 km
Tráfico por abonado (erlang)	0,02; 0,04; 0,1; 0,2
Tasa de interés anual (%)	10
Agrupamiento de abonados	1, 8, 16, 50, 100

Tabla 1 - Hipótesis generales

Número máx. abonados por estación central	1024
Número máx. abonados por estación de abonado	256
Long. terminal/Estación de abonado (km)	0,5
Long. est. abonado/est. repetidora (km)	15 - 30
Long. est. abonado/est. central (km)	15 - 30
Long. est. repetidora/est. repetidora (km)	30
Long. est. repetidora/est. central (km)	30
Long. est. repetidora/central local (km)	30
Superficie de la estación de abonado (m^2)	6
Superficie de la estación repetidora (m^2)	6
Superficie de la estación central (m^2)	10
Superficie de la central local (m^2)	40 + 0,005/linea

Tabla 2 - Hipótesis para la tecnología PMP

Canal de información (%)	90
Canal de señalización (%)	10
Máximo tráfico por celda (erlang)	80
Max. número de abonados por celda	2000
Superficie del BTS (m^2)	10
Superficie del BSC (m^2)	10
Superficie del repetidor (m^2)	6

Tabla 3 - Hipótesis para la tecnología GSM

Máxima capacidad del Hub (erlang)	785
Superficie del Hub (m^2)	200
Número de satélites	48
Núm. de transpondedores por satélite	1

Tabla 4 - Hipótesis para la tecnología STAR

está dada por la densidad de abonados que varía desde un abonado por cada 10 000 km^2 hasta veinte abonados por km^2, con un agrupamiento de abonados variable de uno a cien (1, 8, 16, 50 ó 100).

El escenario 1996/97 presenta un análisis comparativo entre las tecnologías GSM y PMP, en éste escenario el precio de los equipos decrece un 30% respecto al escenario 1992/93.

El escenario 2000 presenta un análisis comparativo entre las tecnologías GSM, PMP y STAR. Se prevé que la tecnología satélite STAR entrará en operación hacia finales de la década. El precio de los equipos decrece un 50% respecto a los precios del escenario 1992/93, los precios de la línea de transmisión e infraestructura no varían.

La Tabla 2 muestra las principales hipótesis para la tecnología PMP: número de abonados por equipo, distancia entre piezas del equipo, y superficie de los equipos.

La Tabla 3 muestra un resumen de las principales hipótesis de la tecnología GSM: tráfico por celda, máximo número de abonados por celda, superficie de los equipos, etc.

La Tabla 4 resume las principales hipótesis de la tecnología STAR: capacidad del hub, superficie del hub, número de satélites, número de transpondedores de satélite, capacidad del satélite, etc.

Análisis de los resultados

Escenarios 1992/93 y 1996/97

Los escenarios 1992/93 y 1996/97 se muestran en las Figuras 4a y 4b respectivamente. El sistema GSM puede ofrecer una ventaja económica en regiones rurales con una densidad de abonados desde 0,02 hasta 20 abonados por km^2 con agrupamiento de abonados menor de 16 y desde 0,0001 a 0,0002 abonados por km^2 con agrupamiento de abonados mayor de 50. En el escenario 1996-97 el precio anual se reduce alrededor del 25% respecto al escenario 1992-93.

El sistema PMP puede ofrecer una ventaja económica en regiones rurales con una densidad de abonados desde 0,0001 hasta 0,02 abonados por km^2 independientemente del agrupamiento de abonados, y para una densidad de abonados desde 0,02 hasta 20 abonados por km^2 con un agrupamiento de abonados mayor de dieciséis. El precio anual por usuario del escenario 1996-97 se reduce alrededor del 20% respecto al escenario 1992-93.

Escenario del año 2000

El escenario del año 2000 se muestra en la Figura 4c. El sistema Globalstar puede proporcionar una ventaja eco-

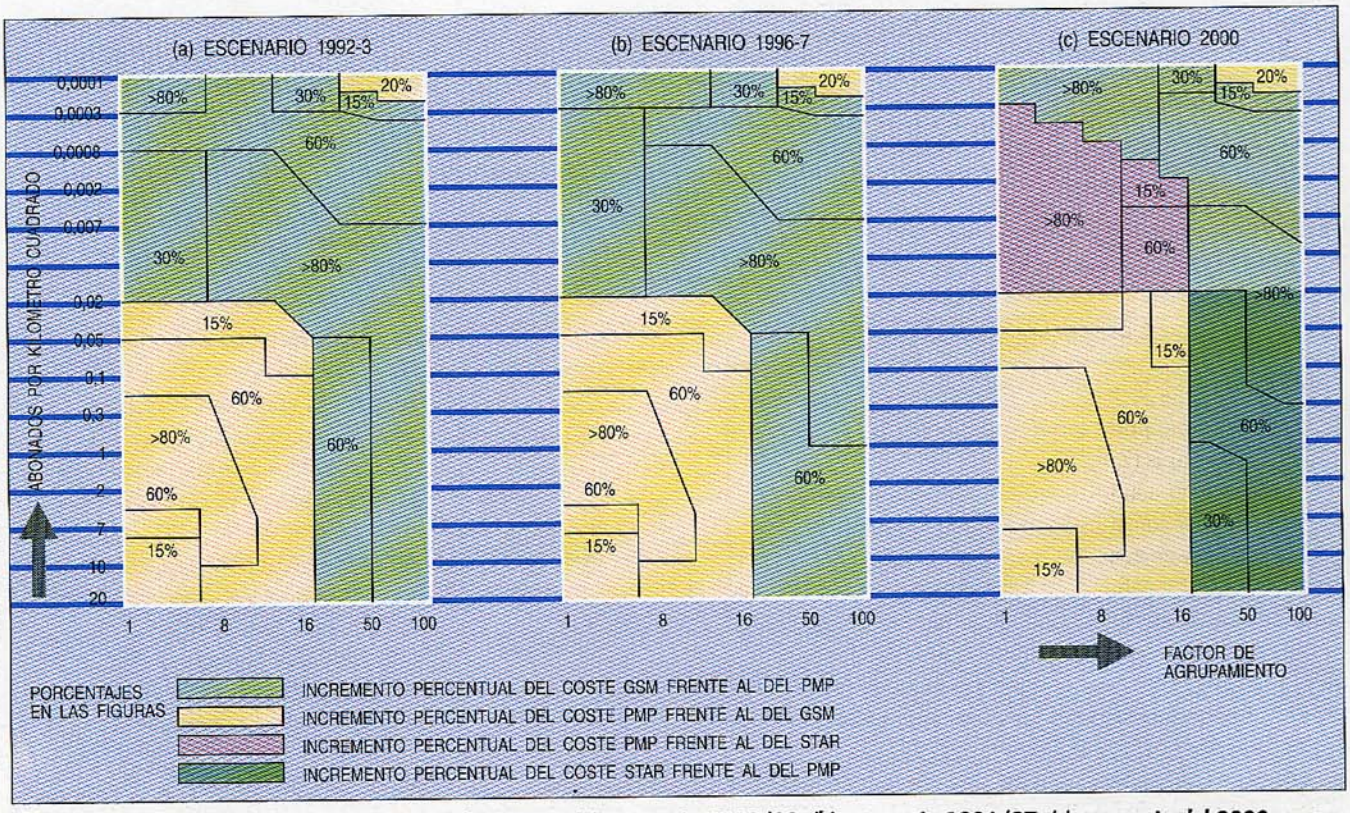


Figura 4 - Areas preferentes para cada tipo de sistema: (a) escenario 1992/93, (b) escenario 1996/97, (c) escenario del 2000

nómica en regiones rurales con una densidad de abonados desde 0,0005 hasta 0,02 abonados por km^2, con agrupamiento de abonados desde uno hasta dieciséis, y con una tendencia creciente en el futuro.

El sistema GSM mantiene el mismo área de aplicación que el escenario anterior, pero con una tendencia creciente para las próximas generaciones.

El sistema PMP puede proporcionar una ventaja económica en regiones rurales con una densidad de abonados desde 0,0001 hasta 0,002 abonados por km^2 independiente del agrupamiento de abonados, y desde 0,02 hasta 20 abonados por km^2 con un agrupamiento de abonados mayor de dieciséis, pero la tendencia para los próximos años es decreciente.

Todos los escenarios

Para las tecnologías GSM y PMP la agrupación de abonados influye en el precio anual por abonado, una mayor agrupación de abonados implica un menor precio anual por abonado.

Conclusiones

En regiones rurales con bajo agrupamiento de abonados, la tendencia de las tecnologías GSM y Globalstar es creciente y la de la tecnología PMP es decreciente en los próximos años.

La tecnología PMP continuará ofreciendo un servicio económico en regiones rurales con moderado agrupamiento de abonados (mayor de dieciséis).

Referencias

1. Cacheiro, R., and Espantaleón, J., 1989, Sistemas de conmutación para aplicaciones rurales, Revista técnica de Alcatel, vol 63, nº3, págs 211-220.
2. Louie, M., 1992, Globalstar systems for global mobile personal communications, Loral Qualcomm, Satellite Services, Inc., EE.UU.
3. Datapro Report, 1989, Vsat network economics: a comparative analysis.
4. Crespo, A., 1990, System ECR-900: traffic and dimensioning models, Alcatel Standard Eléctrica, Madrid, España.
5. Díaz A. and Moral J.M., 1992, Identification of the world rural radio market for the period 1992-2000, Alcatel Standard Eléctrica, Madrid, España.
6. CCITT, 1985, Comunicaciones Rurales, UIT, Ginebra.
7. CCITT, XVI asamblea plenaria, 1986, Dubrovnik, Rep. 1007, 16-27.

A. Díaz Hernández, nació en Lima, Perú, en 1961. Se graduó como Ingeniero Electrónico en la U.N.I., luego realizó estudios de Master en Computación e Informática en la U.N.M.S.M. de Lima, y de Master en Sistemas y Redes de Telecomunicaciones en la U.P.M. de Madrid, España. Ha realizado trabajos de planificación estratégica en la Compañía Peruana de Teléfonos S.A. y en el centro de investigación y desarrollo de Alcatel Standard Eléctrica S.A., Madrid, donde realiza estudios estratégicos para la introducción de nuevos productos en la red de acceso de banda ancha.

Notas de investigación

Breve resumen de algunos de los logros de los laboratorios de investigación de Alcatel repartidos por todo el mundo.

Nuevo tipo de amplificador de fibra óptica

Recientemente se han obtenido impresionantes resultados de laboratorio en amplificación óptica en 1,55 y 1,3 µm utilizando fibras de fluoruro dopadas con tierras raras (ZBLAN).

Utilizando una fibra de fluoruro dopada de erbio ([Er3+] = 5000 ppm) de 1,4 metros de longitud, se obtuvo una ganancia de pequeña señal de 27 dB, a 1,55 µm para un amplificador integrado que utilizaba un bombeo bidireccional de 1,48 µm. En saturación, la potencia de salida amplificada fue de +10 dBm. El principal interés de este nuevo tipo de amplificador, comparado con el EDFA basado en sílice, es la uniformidad de la ganancia espectral, incluso en la región de pequeña señal, para una anchura de banda de 30 nm.

Los experimentos de amplificación se han desarrollado también en una longitud de onda de 1,3 µm utilizando una fibra dopada de Pr en una configuración de doble paso. La ganancia de pequeña señal fue 21 dB con una potencia de arranque de bombeo de 450 mW a 1,01 µm. Utilizando una fibra dopada óptimamente, se obtuvo una ganancia neta de 8 dB con sólo una potencia de arranque de bombeo de 175 mW.

Estos resultados demuestran el potencial de las fibras de fluoruro dopadas en aplicaciones en la red telefónica.

Fibra de dispersión desplazada

Alcatel ha demostrado, en el marco de los procedimientos TAT12 y TAT13 de integración del proveedor, una transmisión satisfactoria, sin errores, a 5 Gbit/s sobre un enlace de fibra de 2200 km. La pérdida de fibra en el enlace, incluyendo empalmes, se midió en 0,225 dB/km. La dispersión cromática fue de ±0,05 ps/nm.km, mientras que la dispersión del modo de polarización fue 0,27 ps/√km. La separación entre repetidores en el enlace era de 45 km. Recientemente se han obtenido mejoras en linealidad y comportamiento ante pérdidas cambiando el perfil del índice de refracción del núcleo de la fibra.

Propagación por solitón

Mientras que muchos laboratorios que investigan la generación de impulsos luminosos cortos para telecomunicaciones, utilizando fuentes tales como láseres de fibra, nosotros hemos podido demostrar la factibilidad del uso de fuentes estables de semiconductores monolíticos basadas en láseres con semiconductores de ganancia conmutada.

Hemos demostrado la propagación por solitón, sin distorsión, de impulsos de 50 ps generados con láseres de realimentación distribuida de pozo cuántico (FDB) y de reflectores Bragg distribuidos (DBR) a través de un bucle recirculante de 10 000 km de fibra de dispersión compensada. Tanto la fibra como las láseres fueron realizados en nuestros laboratorios.

Esta demostración marca el camino hacia los sistemas transoceánicos de ultra-alta-velocidad y alta fiabilidad basados en la transmisión por solitón.

Banda ancha hasta el hogar del futuro

Un sistema prototipo de red de instalación MTA de abonado doméstico (DCPN) se ha instalado en Rennes, Francia. El sistema, también apropiado para pequeñas empresas, es el resultado de un proyecto conjunto I+D del RACE entre Thomson CSF y Alcatel. El sistema demuestra la distribución de TV, la videotelefonía, la vigilancia por video y la telefonía de RDSI de banda estrecha. Los elementos claves del sistema son los siguientes:

- unidades de conmutación MTA residenciales de alta velocidad
- transmisión óptica y coaxial a 155 Mbit/s para el hogar
- software de gestión de red y de señalización
- software de control de usuario
- adaptadores para diferentes equipos de hogar, como teléfonos, videoteléfonos, aparatos de TV, vídeos y cámaras de vigilancia.

Transmisión óptica más allá de los límites de dispersión

En el laboratorio se ha probado satisfactoriamente un nuevo método patentado para la transmisión por fibra óptica a alta velocidad, que funciona más allá de los límites normales de dispersión. La técnica se basa en la transmisión soportada por dispersión y en la detección de señales ópticas FSK (manipulación por desplazamiento de frecuencia), y se ha utilizado en transmisión sin repetidor a 10 Gbit/s por 150 km de fibra normalizada monomodo.

Este método consigue un nuevo logro en distancia de transmisión SMF (fibra monomodo) sin repetidor a 10 Gbit/s, que sobrepasa en más de diez veces los límites de dispersión de los sistemas convencionales modulados directamente.

Componentes optoelectrónicos en ECOC'92

En el ECOC'92 de Berlín se exhibieron en funcionamiento diversos dispositivos optoelectrónicos de Alcatel al estado del arte :

— un conmutador multifunción de láser en Y que realiza la conversión ascendente y descendente de longitud de onda, de flujos de datos de 2,5 Gbit/s, con un alcance récord de 6,4 THz (50 nm) y una tasa de error de 10^{-9}, un margen de sintonía casi continua ampliada a 51 nm, y una sintonización de hasta 10 nm

— láseres analógicos, probados satisfactoriamente en el sistema de distribución de vídeo BK450 de 35 canales, con un chirp (70 MHz/mA a nivel de pastilla, 370 MHz/mA para el módulo) y una distorsión de intermodulación (CSO = -67 dBc, CTB = -73 dBc) extremadamente bajas

— un módulo aislador para láseres de alta velocidad, con supresión de reflexión hacia atrás mayor de 60 dB y eficiencia de acoplamiento de láser a fibra monomodo superior al 70%. El módulo es adecuado tanto en transmisión digital a 10 Gbit/s con una tasa de error inferior a 10^{-11} como en transmisión analógica

— un fotodiodo planar de avalancha adecuado para velocidades de hasta 10 Gbit/s. Pruebas de 3000 horas de vida a 175°C y 100 µA no mostraron degradación alguna.

Sistema de teleimagen para huellas digitales

Se ha probado con éxito en Alemania, por un grupo de expertos del BKA (Departamento Federal de Investigación Criminal), un sistema desarrollado por Alcatel, cuyas características en términos de calidad de la imagen (resolución de 200 a 400 dpi), velocidad de identificación de las huellas digitales transmitidas (100%) y tiempo de transmisión (cinco minutos para una página DIN A4) son excelentes si se comparan con productos de la competencia.

EDFA para distribución analógica de televisión

El potencial para distribución, integramente óptica, de 35 canales de televisión AM-VSB a 4,2 millones de abonados por centro emisor se ha probado en un centro de investigación de Alcatel. El experimento conectó en cascada cuatro amplificadores de bombeo de fibra dopada de erbio de 980 nm y divisores ópticos de potencia (1 : 4 x 32 x 32 x 32 x 32). El balance óptico de 89 dB, proporcionando una calidad de señal de receptor compatible con la fibra al hogar, es más de 30 dB superior a los mejores resultados publicados hasta la fecha.

Sistema preventivo tolerante a fallos

Dentro de la compañía se ha desarrollado un sistema experto conocido como SAMPAN, que es una potente herramienta para la prevención de fallos de las centrales digitales. Mediante un continuo análisis en tiempo real de los mensajes de error generados por la central, el SAMPAN puede detectar fallos antes de que degeneren en una avería seria y proponer las adecuadas acciones correctivas y reparaciones consecuentes. Para resolver problemas particularmente difíciles, los operadores pueden acceder a datos históricos y actuales relativos al estado de los diversos elementos de la central. Se ha desarrollado ya una aplicación inicial de SAMPAN para el Alcatel 1000 E10; se está ahora definiendo una versión de producción.

Últimas patentes

Solicitudes de patentes recientemente registradas por Compañías del Grupo Alcatel (la lista no incluye patentes equivalentes en otros países).

Titulo	Inventores	Numero de solicitud
Solicitudes de patentes australianas		
Distributed multiplexer for digital communication system	B.F. Orr, C.P. Renneberg	PK 5647
Solicitudes de patentes belgas		
Beschermingsinrichting voor een optische Zender/Ontvangerinrichting	D.J.G. Mestdagh, I. Van de Voorde	09100303
Solicitudes de patentes francesas		
Diode haute tension de verrouillage d'onde	J.-L. Hourtane, E. Leconte	91 01 316
Joint d'étanchéité radioélectrique	A. Dersigny, S. Fougeray	91 03 033
Eclateur haute énergie déclenché par laser	P. Dubreuil, J.L. Hourtane	91 02 162
Condensateur pour générateur haute énergie	J.-L. Hourtane, P. Dubreuil	91 02 748
Dispositif de coupe à molette de papier ou équivalent	P. Savalle, A. Ramadier, A. Lepeuve	91 01 940
Procédé de gestion d'un parc de bobines	J.-P. Tache	91 02078
Système d'évaluation des performances d'un filtre électrique	J. Guillard, C. Girard, P. Morin	91 01 667
Circuit électrique comprenant un oscillateur commandé en tension	T. Etienne, T. Seng	91 02 551
Machine du type roots multi-étagée	A. Cacard	91 00 506
Vanne	L. Mathieu	91 00 877
Méthode de dépôt de films minces par ablation laser et dispositif de mise en œuvre	C. Belouet, D. Chambonnet	91 03 874
Dispositif de mesure de pression	J. Morel	91 02 552
Circuit électronique pour la comparaison de signaux	B. Faure, S. Ruggeri	91 00 879
Dispositif optoélectronique monté sur substrat et connecté par optique et son procédé de fabrication	J. Ducate, M. Maignan	91 01 469
Réglette de raccordement à protections semi-intégrées	M. Lejuste, F. Michaux	91 00 231

TITULO	INVENTORES	NUMERO DE SOLICITUD
Procédé de régulation de la viscosité d'une encre ou équivalent et dispositif pour sa mise en œuvre	G. Routa, P. Gounine, V. Da Silva	91 01 225
Connecteur pour câble coaxial	G. Perrot	91 01 313
Procédé de synthèse de la phase supraconductrice à haute température critique $Y_1Ba_2Cu_40_8$	G. Duperray, C. Audry, F. Ducatel	91 01 892
Procédé de fabrication d'un câble coaxial à impulsions, et câble obtenu par ce procédé	J.-L. Bocher, G. Perrot	91 02 025
Dispositif de raccordement de fils d'armure de deux câbles armés	E. Vasseur	91 02 815
Microsoudeuse pour fibres optiques et procédé de soudage à l'aide de cette microsoudeuse	R. Hakoun, G. Goidard, J.-C. Resbeut	91 00 157
Système de localisation de réflexions de Fresnel le long d'une fibre optique	J.-P. Tache, C. Forissier	91 01 665
Ruban de fibres optiques	P. Giraud, J.-P. Bonicel	91 01 666
Dispositif de visualisation du cœur d'une fibre optique	J. Galopin, R. Hakoun, M. Reslinger, P. Robert	91 02 956
Cordon de câble électrique pour faibles intensités	M. Fontaine, J. Pasquier	91 01 537
Procédé de réalisation d'une enveloppe isolante autour d'un corps allongé et produit obtenu par ce procédé	J.-P. Ferlier, M. Marechal	91 02 161
Architecture de terminal téléphonique télécopieur	D. Riousset, J.-L. Richiero	91 01 077
Installation, embarquée sur un satellite, de collectage numérique de données	J.-Y. Legall, J.-M. Marsy	91 00 010
Dispositif, embarqué sur satellite, de mesure du coefficient de rétrodiffusion de la mer	D. Marquet	91 00 678
Déphaseur variable analogique pour signaux hyperfréquences	J.-L. Cazaux, R.-A. Perichon	91 01 314
Antenne réseau notamment pour application spatiale	O. Remondiere	91 01 153
Dispositif rayonnant pour antenne plane	O. Remondiere, J.-F. David	91 01 152
Commutateur rotatif à actionnement magnétique	P. Boulay	91 00 618
Filtre agile pour hyperfréquences	G. Ellena, P. Fruit	91 03 875
Dispositif de montage et de démontage de la source d'une antenne	F. Bonnet, P.-Y. Audiger	91 01 274
Procédé et réseau de communication sur fibres optiques avec multiplexage en fréquences	O. Audouin, J.-M. Gabriagues, M. Sotom	91 00 791

TITULO	INVENTORES	NUMERO DE SOLICITUD
Procédé et dispositif d'adressage de périphériques pour le partage d'un canal de transmission de données entre les périphériques	T. Fleurette, X. Penet	91 04 856
A laser control and power supply apparatus	P. Albouy	91 06 456
Procédé de gestion des flux dans un réseau numérique de télécom à intégration de services et large bande	B. Mobasser	91 06 520
Procédé pour déterminer automatiquement la configuration d'un réseau	P. de Win	91 05 886
Dispositif de récupération de rythme	B. Debray	91 05 121
Générateur de niveau de seuil en vue de la détection de la valeur des bits d'un signal numérique reçu codé sur trois niveaux	F. Brunner	91 05 193
Installation de transmission à liaison optique télésurveillée	J.-P. Tache	91 04 632
Dispositif amplificateur programmable	C. Vanhecke	91 06 276
Dispositif à rétroaction positive pour le traitement d'un signal optique	J. Chesnoy, J.-M. Gabriagues, D. Leclerc	91 02 351
Système de transmission de signaux auxiliaires sur une liaison optique	V. Letellier, G. Bourret	91 03 510
Câble d'accès de répéteur sous-marin	J.-F. Blondin	91 05 577
Antenne radioélectrique à réflecteur multifocales	T. Judasz, G. Duret, T. Guillemin, M. Soudet	91 03 507
Filtre hyperfréquence à une ou plusieurs cavités résonnantes	J.-D. Schubert, J.-C. Cruchon	91 05 251
Antenne à lobes formés et grand gain	F. Magnin, G. Raguenet	91 05 510
Architecture de charge utile dans le domaine spatial	G. Raguenet	91 04 172
Installation de télécommunication par satellites apte à intéresser plusieurs zones de couverture	D. Rouffet, A. Bailly, G. Boucheret	91 03 509
Antenne à lobes formés	S. Bertrand, C. Labourdette, G. Raguenet	91 04 722
Système de communication par satellites en orbite basse à destination de terminaux mobiles	D. Rouffet, Y. Tanguy, F. Berthault	91 06 591
Terminal téléphonique pour installation à intercommutateur	D. Lecomte, D. Spitz	91 06 107
Dispositif de commande de moyens d'affichage pour poste téléphonique	D. Drand, P. Hanser, B. Le Penven Duval, R. Kapps	91 05 412

TITULO	INVENTORES	NUMERO DE SOLICITUD
Dispositif de positionnement et de fixation d'un élément dans un appareil, en particulier pour un clavier téléphonique	P. Bey, R. Spinner	91 03 511
Lecteur de carte à puce	A. Defrasne	91 05 192
Connecteur pour carte à circuits	G. Duffet, P. Grandgirard	91 05 756
Nouveaux écrans semi-conducteurs	B. Aladenize, S. Galaj, A. Le Mehaute	91 03 955
Câble à faible coefficient de frottement et procédé et dispositif de fabrication de ce câble	J.-P. Bonicel, O. Tatat, J.-J. Taquet	91 03 326
Procédé de reconstitution de la gaine de deux fibres optiques après un épissurage, un collage ou un soudage de ces fibres	C. Chauzat, G. Le Ber	91 03 956
Câble coaxial à faibles pertes	M. Dunand, F. Vaille	90 03 445
Procédé de raccordement de deux câbles à fibres optiques par épissurage	C. Brehm, J.-P. Dumas, A. Tardy, D. Brouard	91 03 259
Procédé et dispositif de mesure pour capteur à fibre optique	H. Fevier, S. Artigaud, J. Hervo	91 04 515
Dispositif d'ancrage de câble de garde	J.-P. Bonicel, O. Tatat	91 05 948
Dispositif de mesure en continu et sans contact de l'épaisseur d'une mince couche conductrice sur un support isolant, du genre fibre ou ruban, qui défile	J.-Y. Boniort, G. Roussy	91 03 878
Dispositif de chauffage d'une fibre optique en silice sur une installation de fibrage	J.-Y. Boniort, C. Brehm, G. Roussy	91 03 879
Dispositif de soufflage	M. Rigouin	91 05 576
Connexion autodénudante à vis	M. Barbaut	91 05 509
Procédé de traitement d'une caractéristique linéique d'un milieu de transmission et dispositif de mise en œuvre de ce procédé	F. Marmillot, J.-P. Tache	91 06 031
Connecteur multipolaire	R. Reynaert	91 03 876
Ensemble de protection d'une ligne d'énergie	T. Chatelier	91 04 574
Dispositif et procédé d'épanouissement de fibres optiques au-delà d'une extrémité gainée de câble unitube	G. Bourdet, C. Vergez	91 05 637
Procédé de réalisation d'un composant semiconducteur tel qu'un laser à ruban enterré	J.-L. Lievin, L. Le Gouezigou, C. Labourie, P. Doussiere	91 03 769
Laser semiconducteur à absorbeur saturable	J. Jacquet, D. Leclerc, J.-L. Lievin, D. Sigogne	91 02 352

TITULO	INVENTORES	NUMERO DE SOLICITUD
Procédé pour modifier la répartition d'un dopant dans un substrat, tel qu'une fibre optique ou un composant pour l'optique intégrée	B. Poumellec	91 05 640
SOLICITUDES DE PATENTES ALEMANAS		
Rahmensynchronisation durch Korrelation	H.-P. Waible	41 07 640
Vorrichtung zur Herstellung von lösbaren elektrischen Verbindungen	K. Albrecht	41 04 853
Anordnung und Schaltung zum Erzeugen eines druckabhängigen Meβwertes	H. Löwel	41 04 477
Optoeletrisches Bauelement	H. Stebe	41 07 637
Anordnung zur elektrischen Verbindung eines Chipträgers mit einer Fassung	K. Albrecht	41 06 184
Verfahren und Vorrichtung zur fortlaufenden Kennzeichnung von langgestrecktem Gut	G. Ziemek	41 04 039
Brennerkopf für Gasbrenner	K. Görner, N. Keim, M. Käβ	41 05 608
Optisches Kabel	W. Heitmann, E. Becker, G. Maltz	41 03 658
Nachrichtenkabel	W. Heitmann, E. Becker, G. Maltz	41 03 660
Koaxiales Hochfrequenzkabel mit keramischen Abstandshaltern	P. Madry	41 07 651
Koaxiales Hochfrequenskabel mit keramischer Abstandshalterwendel	P. Madry	41 09 491
Verzögerungsschaltung sowie Verfahren zur Verzögerung eines Binärsignals	D. Kopp	41 04 269
Wandplatte oder Rahmen mit Profilleisten	F. Sczepur	41 06 182
Gegentaktwandler	W. Wölfel	41 03 542
Elektrischer Hochstromkontakt	W. Häuβer	41 04 215
Vorrichtung zum Schutz technischer Geräte	H. Gaissert	41 05 784
Vorrichtung zum Abtasten eines transparenten Bildes	G. Frick	41 07 608
Protokollanpassung	W. Arnold, R. Hoyler	41 07 742
Oszillator für Sende- und Empfangssysteme	H.-D. Hettstedt	41 03 307
Vorrichtung zur Formung eines Antennendiagrammes bei einer Hohlleiterschlitzarrayantenne mit Serienspeisung	U. Schultz	41 05 764
Sekundär-Radarsysstem	G. Höfgen	41 09 081

TITULO	INVENTORES	NUMERO DE SOLICITUD
Optischer Isolator	H. Weissert	41 02 643
Faseroptischer Verstärker	T. Pfeiffer, R. Roßberg, H. Bülow	41 04 268
Optischer Verstärker	T. Pfeiffer	41 02 648
Optisches Nachrichtenübertragungssystem für den Teilnehmeranschlußbereich mit optischen Verstärkern	H. Ohnsorge, A. Weygang, R. Heidemann	41 16 660
Kühlvorrichtung für elektronische Einrichtungen	K. Albrecht, H. Nendel, P. Hering	41 06 185
Leitungsüberwachung für SDH-Signale	H. Borschel, G. Elze, K.-P. Gbur	41 08 230
System für optische Signalüberwachung, insbesondere optisches Kabelfernsehsystem, mit Überwachungs- und Dienstkanaleinrichtung	R. Heidemann	41 09 683
Optisch-Elektrisch-Wandler mit erweitertem Dynamikbereich	R. Heidemann	41 06 778
Verfahren zur Regelung der Geschwindigkeiten von einander folgenden Schienenfahrzeugen	H. Uebel	41 08 671
Einrichtung zur signaltechnisch sicheren Fernsteuerung einer Unterstation in einer Eisenbahnanlage	A.-C. Knight, H. Uebel	41 07 639
Optische Vermittlungseinrichtung und Schaltmodul dafür	D. Böttle, G. Eilenberger	41 08 213
Kommunikationssystem	F. Bergler	41 01 200
Einrichtung und Verfahren zur O-Kanal-Paketvermittlung	G. Siegmund	41 06 183
Gestell der Fernmeldetechnik	F. Hüeber	91 02 333
Übertragungssignal	B. Wedding	40 40 170
Optischer Schalter	R. Dorn, P. Kersten, W. Rehm, W. Wischmann	41 16 789
Raum- und Zeit-Koppelelement	P. Wöhr	41 17 869
Beschaltungsanordnung für Hauptverteiler	R. Ingenhaag	41 14 844
Fernmelde-Reihenanlage	G. Siegmund	41 17 118
Einrichtung zur optischen Wellenlängenkonversion	R. Heidemann	41 16 433
Einrichtung zur Prüfung von Signallampen in Eisenbahnanlagen	H.-L. Schulmeyer	41 10 990
Koppelfeld zum Durchschalten von Kanälen	W. Beisel	41 16 939
Protokolladapter	R. Ertelt, B. Aschrafi, K. Széchényi	41 15 242
Schaltungsanordnung zur Verstärkung eines elektrischen Signals	P. Benz, U. Steigenberger	41 12 557

TITULO	INVENTORES	NUMERO DE SOLICITUD
Verfahren zur bidirektionalen Datenübertragung	J. Schröder, M. Brahms, Z. Chahabadi	41 13 661
Verfahren zur bidirektionalen Datenübertragung	A. Hennig, J. Schröder, M. Still	41 14 485
Verfahren zur Herstellung eines optischen Verschmelzkopplers	R. Roßberg	41 09 982
Verbindungselement für aus Kunststoff bestehende, lichtleitende Fasern	W. Chille	41 12 752
Mehrkanalempfänger für bandgespreizte Signale	M. Wolf, D. Vogel, K. Brocke	41 14 258
Fernsprechapparat mit Ruftonabschaltung	M. Elsässer	41 16 469
Applikationsprogrammschnittstelle	F. Bergler	41 17 510
Zwischen einer Lichtquelle und einem Aufzeichnungsträger angeordnete Lichttoranordnung	A. Göth	41 17 119
Halterung für Batterien	A. Bley, J. Dreibach, H. Eissler	41 17 539
Werkzeug zum Zusammendrücken des Eintrittsbereiches einer Muffe	K.-H. Marx	91 00 359
Werzeuge zum Abdichten des Endbereiches einer Muffe	K.-H. Marx	91 00 979
Halter für Beschriftungsstreifen	R. Braunschweig	91 03 248
Gestell der Fernmeldetechnik	F. Hüeber	91 02 333
Baugruppenträger mit Führungsschienen	F. Hüeber	91 03 734
SOLICITUDES DE PATENTES ITALIANAS		
Sistema di cancellazione adattative delle asimmetrie dell'impulso trasmesso applicabile a cancellatore d'eco nei sistemi di trasmissione digitale	S. Cucchi, G. Zago, S. Carbone	Mi91A001383
Rivelatore di saturazione dell'aritmetica applicabile a cancellatore d'eco nei sistemi di trasmissione digitale	S. Cucchi, G. Zago	Mi91A001384
Modulo di smistamento perfezionato per sistemi di convogliatori a nastro	A. Passero	Mi91/000416
SOLICITUDES DE PATENTES NORUEGAS		
Kryptert nettverk	J.P. Nost	91 16 79
Stalror-ledning	O.S. Birkelund, LJ. Vintermyr	91 16 44
PATENTES DE ESTADOS UNIDOS		
Switching Mode Power Suppliers with Controlled Synchronization	B.A. Elliott, C.L. Marusik, E.D. Johnson	5 130 561

TITULO	INVENTORES	NUMERO DE SOLICITUD
Method and Apparatus for Rapidly Restoring a Communication Network	R.J. Pekarkse	5 146 452
Multiple Leg Height Snap Fit Cable Holder Apparatus	W.F. Weber	5 149 027
Duplexing Filter	W.D. Blair, S. Bentivenga	5 151 670
Railroad Flat Wheel Detector	P.L. Gutauskas	5 133 521
Receive Signaling Translator	E. Baydar, T.J. Williams	5 134 614
Monotube Cable Fiber Access Tool	A.M. Faust	5 140 751
Thermo-Switch Apparatus	K.R. Chandler, C.D. McPherson	5 132 874
Connector Retainer	K.R. Chandler, R.W. MacKenzie	5 151 034
Negative Feeback Control Loop Acquisition Aid	G.W. Ries	5 148 123
Fiber Optic Sensor Module	T.W. Leonard, J.E. Eide	5 131 062
Self-Locking System for Circuit Board Holding Frames	S.C. Lin, K.E. Su	5 128 833
SOLICITUDES DE PATENTES EUROPEAS		
Broadband Conference System	M. Weiss	91 106740

La lista puede incluir solicitudes de modelos de utilidad. En los casos de Estados Unidos, Austria, España y Suiza, las listas corresponden a patentes en vez de solicitudes de patentes. Las solicitudes/patentes se pueden pedir a los respectivas oficinas nacionales de patentes.

Cambios en el equipo editorial

El Dr Wolfgang Schmid ha dejado el equipo editorial alemán para realizar nueva funciones en Alcatel SEL. Gracias a sus amplios conocimientos técnicos y competencia lingüística, el Dr Schmid ha llevado a la revista a un nivel muy elevado. Sus colegas le agradecen su ayuda, comprensión y amistad y le desean todo tipo de éxitos en sus nuevas tareas.

También, agradecemos al Dr Theo Wichers por hacer las funciones de editor de la edición alemana hasta la llegada de Andreas Ortelt, nuevo editor de Elektrisches Nachrichtenwesen. Anteriormente, el Sr Andreas Ortelt ha trabajado en el centro de investigación de Alcatel SEL durante tres años.

Abreviaturas en este número

AC	corriente alterna
ADRACS	sistema de control y registro automático de datos
AEI	identificación automatica de equipos
AGC	control automático de ganancia
ALARA	as low as reasonably attainable
ANSI	American National Standards Institute
ASDE	equipo de detección en tierra de aeropuerto
ATC	control de tráfico aéreo
ATM	modo de transferencia asíncrono
AVI	identificación automática de vehículos
BPSK	modulación por desplazamiento de fase bivalente
BSC	controlador de estación base
BTS	transceptor de estación base
CAN	red de acceso de los usuarios
CBDS	servicio de datos de banda ancha sin conexión
CDMA	acceso múltiple por división de código
CGW	pasarela de abonado
CIR	Computer Integrated Railroading
CMOS	semiconductor metal óxido complementario
CST	estación central de tecnología PMP
CTCS	sistema continuo de control de trenes
CTU	unidad de torre de control
CW	onda continua
D-GPS	differential global positioning system
DBF	realimentación distribuida (láser)
DBR	reflector Bragg distribuido (láser)
DBS	satélite de retransmisión directa
DCPN	red de instalaciones domésticas de abonados
DDM	modulación en profundidad diferencial
DECT	teléfono digital sin hilos
DF	transformada discreta de Fourier
DIN	Instituto alemán de normas (Deustches Institut für Normung)
DME	equipo de medida de distancias
DQDB	bus dual de colas distribuidas
EASIE	gestión mejorada de tráfico aéreo e implementación del modo S en Europa
EDFA	amplificador de fibra dopada de erbio
EGW	pasarela de borde
EID	identificación electrónica de contenedores
EIRP	energía isotrópica radiada
EMC	compatibilidad electromagnética
EMI	interferencia electromagnética
EMS	sistema de gestión de ingeniería
ESTW	puestos electrónicos de control (Elektronisches Stellwerk)
FDMA	acceso múltiple por división de frecuencia
FET	transistor de efecto campo
FFT	transformación rápida de Fourier
FIFO	cola de primero entrar - primero en salir
FMS	sistema de gestión de vuelo
FSK	manipulación por desplazamiento de frecuencia
GPS	sistema de posicionamiento global
GSM	sistema global para comunicaciones móviles (Groupe Spécial Mobile)
GTD	teoría de la difracción geométrica
HEMT	transistor de electrones de alta movilidad
HF	alta frecuencia
HLR	registro de posiciones base
HNMC	ordenador central de gestión de red
HTF	utilidades de terminal central
I/O	entrada/salida
I-MSS	red de interconexión del MSS
IATA	International Air Transport Association
IC	circuito integrado
ICAO	International Civil Aviation Organization (OACI)
ILS	sistema de aterrizaje por instrumentos
IMSI	identificación internacional de abonado móvil
ISA	Industry Standard Architecture
ISO	International Standards Organization
IT	tecnología de información
KAS	servidor de canales
KDI	teclado y pantalla
KR	ordenador de comunicaciones
LAN	red de área local
LCU	unidad de comunicaciones local
LEC	Czochralski en encapsulado líquido
LEO	satélite de órbita baja
LP-MOVPE	epitaxia por fase vapor metalorgánica a baja presión
LSI	integración a gran escala
MAC	control de acceso al medio
MAN	red de área metropolitana
MAP	protocolo de acceso al medio
MBE	epitaxia por haz molecular
MCT	terminal de comunicaciones móviles EUTELTRACS
MESFET	transistor de efecto campo metal-semiconductor
MIC	modulación de impulsos codificados (PCM)
MLS	sistema de aterrizaje a microondas
MMIC	circuito integrado monolítico de microondas
MOS	servidor de monitores
MOVPE	epitaxia por fase vapor metalorgánica
MQW	pozo cuántico múltiple
MSC	centro de conmutación de servicios móviles
MSS	sistema de conmutación de la MAN
NMC	centro de gestión de red
OLTE	equipo terminal de línea óptica
ORE	oficina de investigación del UIC (office de recherches et d'essais)
PABX	centralita privada automática
PBX	centralita privada
PC	ordenador personal
PCN	red personal de comunicaciones
PECVD	deposición por vapor químico mejorado con plasma
PMP	punto a multipunto (digital múltiple access radio)
POTS	servicio telefónico tradicional
PPAU	unidad de acceso y procesador de paquetes

PROM	memoria programable de solo lectura
PSTN	red telefónica pública conmutada (RTPC)
QAM	modulación por amplitud de cuadratura
QPSK	modulación por desplazamiento de fase en cuadratura
QW	pozo cuántico
RAM	memoria de acceso aleatorio
RCMS	sistema central de control y supervisión remotos
RCSU	unidad de estado y control remotos
RDSI	red digital de servicios integrados
REU	unidad electrónica de control remoto
REX	Real-time EXecutive
RF	radiofrecuencia
RISC	ordenador de conjunto reducido de instrucciones
RMC-C	centro de mantenimiento remoto - central
RMC-R	centro de mantenimiento remoto - regional
RMMS	sistema de supervisión y mantenimiento remotas
ROM	memoria de solo lectura
RST	estación repetidora
RSU	unidad remota de abonados
RTD	retardo secundario
RVR	alcance visual en pista
RW	guiaonda con resaltes internos
SAR	búsqueda y rescate
SAS	servidor de estadísticas
SCPC	un canal por portadora
SCH	heterostructura de confinamiento separado
SEM	microscopio eléctronico con barrido
SMD	dispositivo de montaje exterior
SMF	fibra monomodo
SMGCS	sistema de control y guía del movimiento en tierra
SMR	radar de movimiento en tierra
SNMC	centro de gestión de red del suministrador del servicio
SQW	pozo cuántico único
SSC	controlador de la estación de satélite
SSR	radar de vigilancia secundario
SST	estación de abonado
STAR	tecnología de satélites GLOBALSTAR
TACAS	sistema de alerta del tráfico y evitación de colisiones
TAG	placa de identificación multi-estandard
TBE	equipo transportado en el tren
TCH	tráfico de canal
TDF	función de descripción del tren
TDM	multiplex por división en el tiempo
TDMA	acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT)
TES	terminal de servidores
TNR	reporte del número de tren
ToA	tiempo de llegada
UCE	unidad central
UHF	frecuencia ultra elevada
UIC	unión internacional de ferrocarriles (Union Internationale des chemins de fer)
URA	unidad repetidora
UTD	teoría de la difracción geométrica uniforme
VCC	centro de control de vehículos
VHF	frecuencia muy alta
VLSI	integración a muy gran escala
WARC	Conferencia Mundial de Administraciones de Radio

Oficinas editoriales

Cualquier asunto relativo a las distintas ediciones de *Electrical Comunication* se debe dirigir al editor adecuado (las peticiones de suscripciones se deben enviar por fax o por correo):

Edición inglesa :

Rod Hazell
Electrical Communication
ALCATEL
54, rue La Boétie
75382 Paris Cédex 08
France
Tel.: (33-1) 40.76.13.47
Fax.: (33-1) 40.76.14.26

Edición francesa :

Catherine Camus
Revue des Télécommunications
ALCATEL
54, rue La Boétie
75382 Paris Cédex 08
France
Tel.: (33-1) 40.76.13.48
Fax.: (33-1) 40.76.14.26

Asistente editorial :

Françoise Meunier
ALCATEL
54, rue La Boétie
75382 Paris Cédex 08
France
Tel.: (33-1) 40.76.13.49
Fax.: (33-1) 40.76.14.26

Edición alemana :

Andreas Ortelt
Elektrisches Nachrichtenwesen
ALCATEL SEL AG
Lorenzstrasse 10
7000 Stuttgart 40
Germany
Tel.: (49) 711.821.46.90
Fax.: (49) 711.821.60.55

Edición española :

Gustavo Arroyo
Comunicaciones Eléctricas
ALCATEL STANDARD ELECTRICA
Ramirez de Prado 5
28045 Madrid
Spain
Tel.: (34-1) 467.30.00 ext. 1857
Fax.: (34-1) 468.78.32

Edición italiana :

Dino Callegari
Prospettive di Telecomunicazioni
ALCATEL TELETTRA
Via Provinciale per Monza 33
20049 Concorezzo (Milano)
Italy
Tel.: (39) 39.60.44.350
Fax.: (39) 39. 60.41.955

En este número
Comunicaciones Eléctricas - 1er trimestre de 1993

Comunicaciones Eléctricas, 1er Trimestre 1993, págs. 7-16

Sistemas de gestión ferroviaria

R. Petersen; G. Faderbauer

El desarrollo de la tecnología de los centros de control comenzó a finales de los sesenta. En el diseño de los sistemas de centros de control, se tiene como principio fundamental el uso, en lo que sea posible, de componentes software y hardware disponibles comercialmente. La información necesaria en el centro de control se obtiene de subestaciones. Las instalaciones técnicas en las subestaciones están ya normalmente antes del establecimiento de un centro de control y comprende puestos de control de diferentes tipos de diseño, instalaciones de reporte del número de tren con controles remotos y sistemas de transmisión uniformes. Además de citar los problemas fundamentales de un centro de control, se describe el desarrollo de la tecnología de los centros de control en el contexto del BSZ Saarbrücken, del VLZ Wiener Schnellbahn y del RZü de Nuremberg.

Comunicaciones Eléctricas, 1er Trimestre 1993, págs. 17-26

Ingeniería de centros de control ferroviarios (CTCS)

M. Gaum

El sistema continuo de control de trenes está en servicio en diferentes compañías ferroviarias locales y de largo recorrido de Alemania y del extranjero. Se destina a operaciones ferroviarias de alta densidad de tráfico, alta velocidad y elevada automatización. En éste articulo se describen los principios de funcionamiento de los principales componentes de los vehículos e instalaciones de la vía. El sistema continuo de control de trenes está operativo parcialmente desde 1976 y es el componente central de las medidas tomadas por los ferrocarriles de Alemania Federal para mejorar la eficiencia de su red central (CIR-ELKE). Los distintos conceptos operacionales para los ferrocarriles en Alemania y en el extranjero pueden ser implantados por medio del software del CTCS.

Comunicaciones Eléctricas, 1er Trimestre 1993, págs. 27-32

Sistema integrado de comunicaciones ferroviarias SIREL

A. Guilabert; M. Olalla; S. Perrela

Los ferrocarriles, en las áreas de trenes de alta velocidad y líneas de gran tráfico, ya están bien servidos por sistemas de telecomunicación convencionales. Sin embargo, en tráfico poco denso las actuales soluciones o no son apropiadas en términos de calidad de operaciones ferroviarias o no son factibles económicamente. La solución se encuentra en SIREL, un sistema integrado de radio multiacceso que proporciona telefonía fija, comunicaciones móviles tren a tierra, telefonía móvil para trenes y almacenes, y transmisión de datos. Los autores describen las características operacionales, arquitectura, configuración y gestión del sistema SIREL.

Comunicaciones Eléctricas, 1er Trimestre 1993, págs. 33-40

Gestión de flotillas para tráfico por carretera y ferrocarril

R. Berger; A. Ziehensack

Asegurar la calidad, mejorar la calidad y las redes de proceso de datos son factores esenciales para el éxito de mercado en el ramo del transporte. Desde este punto de vista la gestión de flotillas es un conjunto funcional del cual depende la calidad. Uno de los más importantes grupos de productos en la gestión de flotillas es la identificación electrónica, particularmente cuando se aplica a la cadena carretera-ferrocarril-carretera. La identificación electrónica de contenedores (EID) y el equipo asociado en el tráfico combinado permite al agente seguir el transporte por mar y por tierra de las cargas más eficazmente, optimizar la utilización del equipo y minimizar el proceso previo, las reclamaciones por daños, los retrasos y los gastos. Las técnicas EID permiten la identificación electrónica de un móvil en lugar de identificarlo mediante instrumentos ópticos ó magnéticos. Los proyectos "Trailerzug" y "PSS (Partnerschaft Schiene & Strasse)" sirven como ejemplos de instalaciones pilotos.

Tarjeta de respuesta

☐ Por favor, corrija mi dirección

☐ Por favor, añada mi nombre a su lista

☐ Por favor, anule mi suscripción

Número de suscriptor : _____
(en la etiqueta del sobre)

Apellidos : _____

Nombre : _____

Compañía : _____

Dirección : _____

_____

_____

País : _____

	Inglés	Francés	Alemán	Español	Italiano
Número de copias deseadas :	_____	_____	_____	_____	_____

Electrical Communication - 1st Quarter 1993, pp. 27-32

Integrated Railway Communications System SIREL

Guilabert, A.; Olalla M.; Perrela, S.

Railways, in the areas of high-speed trains and heavy-traffic lines, are already well served by conventional telecommunication systems. However, for lower density railroad traffic current solutions either are not appropriate in terms of quality and fitness for railway operation or are not economically feasible. The solution is found in SIREL, an integrated multiaccess radio system which provides fixed telephony, mobile train to ground communications, mobile telephony for stations and yards, and data transmission. The authors describe the operational features, architecture, configuration and management of the SIREL system.

Electrical Communication - 1st Quarter 1993, pp. 7-16

Railway Control Centre Engineering

Petersen, R.; Faderbauer, G.

The development of technology for control centres began in the late 1960's. In the design of control centre systems, a fundamental principle is to use commercially available hardware and software components as much as possible. Information necessary for the control centre is obtained from the substations. The technical installations in the substations are normally in place before the establishment of a control centre and comprise control posts of different designs, train number reporting installations with a uniform transmission system and remote controls. Apart from an explanation of the fundamental problems of a control centre, the development of control centre technology is described in the context of the BSZ Saarbrücken, the VLZ Wiener Schnellbahn and the RZü Nuremberg.

Electrical Communication - 1st Quarter 1993, pp. 33-40

Fleet Management for Road and Rail Traffic

Berger, R.; Ziehensack, A.

Quality assurance, quality improvement and data processing networks are the essential factors for market success in the transportation branch. In this respect fleet management is the functional aggregate on which quality depends. One of the most important product groups in fleet management is electronic identification, particularly when applied to the transport chain *road - rail - road*. Electronic identification (EID) of container traffic permits the forwarding agent in land and sea transport to track shipments more efficiently, to optimize equipment utilization, and to minimize post-processing, claims for damage, delays and expenses. EID techniques, using a multistandard recognition plate, permit electronic identification of a moving object in place of identification by optical or magnetic detectors. The "Trailerzug" and "PSS (Partnerschaft Schiene & Strasse)" projects serve as examples of pilot installations.

Electrical Communication - 1st Quarter 1993, pp. 17-26

Continuous Train Control System (CTCS)

Gaum, M.

The Continuous Train Control System is in service in various long-distance and local rail companies in Germany and abroad. It makes for high train density, high train speed and extensive automation of railway operation. The functioning principle of the main components for vehicle and track installations are explained. The Continuous Train Control System has been in partial operation since 1976 and is the central constituent of the measures by the German Federal Railway for enhancement of the efficiency of its core network (CIR-ELKE). The various operational concepts for railways in Germany and abroad can be implemented by means of the CTCS software.

Sello/ Stamp

Editor de Comunicaciones Eléctricas
Ref. 20220 (Gustavo Arroyo)
ALCATEL STANDARD ELÉCTRICA
Ramirez de Prado 5
28045 Madrid
España

Electrical Communication - 1st Quarter 1993, pp. 76-83

Gallium Arsenide Based Components for the Telecommunications Industry

Donzelli, G.; Vidimari F.

Gallium arsenide semiconductor devices, second only to silicon in economic importance, are gaining increasing consideration for applications such as radio links, cellular phones, space, and fiber communications. The authors give an outline of GaAs based technology and the devices needed in the telecommunications industry, with special emphasis on the concentrated activities carried out in Alcatel Italia Telettra Division. The various components discussed include metal semiconductor field effect transistors, microwave monolithic integrated circuits, heterostructure transistors, and lasers.

Electrical Communication - 1st Quarter 1993, pp. 84-90

GLOBALSTAR: a Transparent System

Rouffet, D.

As technology advances we can now communicate with handheld terminals, but the coverage of existing cellular networks is still limited. With low earth orbit satellites (at altitudes of less than 2000 km) it will be possible to improve and globalize the facilities for communicating from handheld terminals. This article describes one of the systems currently being designed, which has the advantage that it can be incorporated into all existing world telephone networks.

Electrical Communication - 1st Quarter 1993, pp. 91-96

Rural Communications: a Comparative Analysis of Radio Technologies

Diaz Hernández, A.

Radio technology plays an important part in serving the telecommunication needs of rural areas, where electrical or optical cable transmission methods are not always practicable for widely separated subscribers. Radio technology has the advantages of simple, rapid and low-cost installation, low maintenance, low power consumption, flexibility of access, suitability to difficult terrain, and reusability of equipment. The article compares three current technologies: GSM-F (global system for mobile communication, adapted to rural telecommunications), PMP (point to multipoint digital multiple access radio), and GLOBALSTAR. The author analyzes their impact in three scenarios for the years 1992-3, 1996-7 and 2000, which indicate a growing trend for GSM and GLOBALSTAR, although PMP will continue to offer cost-effective services to rural areas with a moderate groupng factor. Each of the three radio technologies is briefly described.

Electrical Communication - 1st Quarter 1993, pp. 11-30

40 Years of Using Instrument Landing Systems (ILS)

Pfuhl, Chr.; Greving, G.; Mandelka, G.

Based on the first generation of instrument landing systems standardized some 40 years ago, which are now controlled by microprocessors, the latest user-friendly interfaces have now been introduced using the ADRACS PC program and the RMMS remote monitoring and maintenance system. For the first time, computer supported three-dimensional analysis of ILS beacons is used, based on the principle of extended geometric diffraction (GTD/UTD). By applying "out-of-phase" clearance, SYSTEM 4000, as used for ILS, can be installed for CATIII operation, even under the most arduous conditions.

Electrical Communication - 1st Quarter 1993, pp.51-59

Surface Movement Guidance and Control System

Monzel F.-G.; Bories, A.

Lack of safety, lack of capacity and lack of effectiveness are the major weak points of today's handling of airport surface traffic. New system concepts, based upon commonly agreed standards, making use of already existing basic technologies and applying advanced information and communication technologies, are required. In Alcatel's proposed concept a combination of Secondary Surveillance Radar Mode S, Differential GPS and Surface Movement Radar systems is used as the basis of a powerful Surface Movement Guidance and Control System (SMGCS) which will, by a high degree of automation, support the controller in handling the increasing surface traffic safely and effectively, even under low-visibility or adverse weather conditions. Due to its modularity the system can be adopted to specific requirements and airport topologies and it can easily be expanded or upgraded to advanced future technologies.

Electrical Communication - 1st Quarter 1993, pp. 60-65

Euteltracs: the European Land Mobile Satellite Service

Colcy J.-N.;Steinhäuser, R.; Mock, K.

Euteltracs is Europe's first commercially operated land mobile satellite service. Applying the mobile communications expertise of Alcatel Qualcomm and under the overall network operation of Eutelsat, the European telecommunications satellite organization, Euteltracs provides an integrated message exchange and position reporting service for the European transportation industry with the aim of increasing cost-effectiveness, radically improving efficiency and security and enhancing business flexibility. The article describes the architecture of the system, outlining the accuracy of the position determination, and gives an overview of the commercial deployment of Euteltracs.

Electrical Communication - 1st Quarter 1993, pp. 66-75

Alcatel MAN Simulation Tools: Performance Results of a Real Network

Vivoli, L.; Pimazzoni, S.

The aim of this article is to present the set of tools developed in Alcatel Italia to help the planner in the correct design of Alcatel MAN network topology. Classical software tools for the simulation of the DQDB MAC protocol are considered insufficient for the evaluation of the performance of a real network, for the reasons given in the article, and this fact pressed the authors to realize new software tools. The LAN MODEL for evaluation of traffic generated by applications on customers' LANs and the AMAN SIMUL to evaluate the performance of an Alcatel MAN network topology, under traffic conditions defined by LAN MODEL, enable the planner to evaluate a particular global system before installation and eventually to compare it with other designs. An example of the use of such tools with reference to the MAN in Florence is described.

Comunicaciones Eléctricas, 1er Trimestre 1993, págs. 46-50

Cuarenta años de sistemas de aterrizaje por instrumentos (ILS)

Chr. Pfuhl; G. Greving; G Mandelka

A partir de la primera generación de sistemas de aterrizaje por instrumentos, normalizados hace 40 años, que ahora funcionan controlados por microprocesadores, se han incorporado recientemente los últimos interfaces de usuario de fácil manejo, utilizando el programa ADRACS sobre un ordenador personal, así como el sistema de supervisión y mantenimiento remotos RMMS. Se emplea por primera vez el análisis tridimensional del balizamiento ILS asistido por ordenador, que se apoya en principio de la difracción geométrica extendida (GTD/UTD). Mediante la aplicación de desfase en la "zona despejada", el SISTEMA 4000, tal como se utiliza en el ILS, puede ser instalado para funcionamiento CATIII, incluso bajo las condiciones mas arduas.

Comunicaciones Eléctricas, 1er Trimestre 1993, pág. 76

Componentes basados en arseniuro de galio para la industria de telecomunicaciones

G. Donzelli; F.Vidimari

Los dispositivos semiconductores de arseniuro de galio, sólo después del silici en importancia económica, están siendo cada vez más considerados en diversa áreas de telecomunicación tales como radio enlaces, telefonía celular, espacio comunicaciones por fibra óptica. Los autores resaltan la tecnología basada e AsGa y los dispositivos necesarios en la industria de telecomunicacione haciendo un énfasis especial en las actividades concentradas realizadas en l división Telettra de Alcatel Italia. Los diversos componentes referenciado incluyen transistores de efecto de campo metal semiconductor, circuito integrados monolíticos de microondas, transistores de heteroestructuras láseres.

Comunicaciones Eléctricas, 1er Trimestre 1993, págs. 51-59

Sistema de control y guía del movimiento en tierra

F.-G. Monzel; A. Bories

La falta de seguridad, de capacidad y de eficacia son los principales puntos débiles en la actual gestión del tráfico en tierra de los aeropuerto. Se requieren nuevos conceptos de sistemas, basados sobre estándares comúnmente acordados, que hagan uso de las tecnologías básicas existentes y apliquen las tecnologías de información y comunicación avanzadas. En el concepto propuesto por Alcatel se utiliza una combinación de los sistemas Secondary Surveillance Radar Modo S, GPS Diferencial y Surface Movement Radar como base del potente sistema de control y guía del movimiento en tierra (SMGCS) que, con un alto grado de automatización, soportará al controlador en la gestión del creciente tráfico de superficie con seguridad y con eficacia, aún en las condiciones más adversas de baja visibilidad y mal tiempo. Debido a su modularidad, el sistema puede adaptarse a los requerimientos y a las topologías de los aeropuertos específicas y podrá ser fácilmente ampliado ó mejorado con las tecnologías avanzadas futuras.

Comunicaciones Eléctricas, 1er Trimestre 1993, págs. 84-90

GLOBALSTAR: un sistema transparente

D. Rouffet

A medida que la tecnología avanza, podemos comunicarnos con terminales portátiles, pero la cobertura de las redes celulares existentes es aún limitada. Con satélites de órbita baja (a altitudes inferiores a 2000 km) será posible mejorar y globalizar las facilidades de comunicación desde los terminales manuales. Este artículo descubre uno de los sistemas que se está diseñando actualmente, que tiene las ventajas de que puede ser incorporado en todas las redes telefónicas mundiales existentes.

Comunicaciones Eléctricas, 1er Trimestre 1993, págs. 60-65

Euteltracs: Servicio de satélite europeo para vehículos terrestres

J.-N. Colcy; R. Steinhäuser; K. Mock

Euteltracs es el primer servicio de satélite para móviles terrestres operado comercialmente. Aplicando la experiencia en comunicaciones móviles de Alcatel Qualcomm y bajo la completa operación de red de Eutelsat, organización europea de satélites de telecomunicaciones, Euteltracs suministra un servicio integrado de mensajería e informes de posición para la industria de transportes Europea con el fin de mejorar el coste, mejorando radicalmente la eficacia y seguridad y mejorando la flexibilidad del negocio. El articulo describe la arquitectura del sistema, destacando la precisión en la determinación de la posición y proporciona una visión del despliegue comercial de Euteltracs.

Comunicaciones Eléctricas, 1er Trimestre 1993, págs. 91-96

Comunicaciones rurales: Análisis comparativo de las tecnologías de radio

A. Díaz-Hernández

Actualmente hay en el mundo 3000 millones de habitantes rurales, cerca del 5% de la población rural mundial demanda potencialmente el servicio telefónico a un bajo coste, pero la mitad de ellos no pueden ser satisfechos por tecnologías convencionales, en donde las inversiones en infraestructura son una carga pesada del costo total del servicio telefónico. Para superar este problema, las nuevas tecnologías radio presentan una buena solución. Con el objeto de encontrar la tecnología más adecuada para el mercado rural, este trabajo presenta un análisis comparativo entre las tecnologías móvil GSM-F (GSM), múltiple acceso radio digital punto-multipunto (PMP) y satélite Globalstar (STAR) con un ejemplo de aplicación y el impacto que tendría en tres escenarios: años 1992-93, 1996-97 y 2000.

Comunicaciones Eléctricas, 1er Trimestre 1993, págs. 66-75

Herramientas de simulación de una MAN Alcatel: Resultados del funcionamiento de una red real

L. Vivoli; S. Pimazzoni

El objetivo de este artículo es presentar un conjunto de herramientas desarrolladas en Alcatel Italia que ayudan al planificador en el diseño correcto de la topología de la red MAN Alcatel. Las herramientas clásicas de simulación de los protocolos DQDB/MAC se consideran insuficientes para la evaluación de las funciones de una red real, como se explica en el artículo. Ello ha llevado a los autores a desarrollar nuevas herramientas de programación. LAN MODEL evalúa el tráfico generado por las aplicaciones de las LAN del usuario, y AMAN SIMUL evalúa las funciones de una topología de red MAN Alcatel, en unas condiciones de tráfico definidas por LAN MODEL. Ellas permiten al planificador la evaluación de un sistema global antes de su instalación, y poderlo comparar posteriormente con otros diseños. Se describe un ejemplo de utilización de dichas herramientas en relación con la MAN de Florencia.