

INFORME UIT-R M.2038

Tendencias de la tecnología

(2004)

ÍNDICE

Página

1	Introducción.....	2
2	Alcance.....	3
3	Panorámica de las nuevas tecnologías principales	3
3.1	Nuevas tecnologías radioeléctricas y su repercusión en el espectro.....	5
3.1.1	Tecnologías para mejorar la eficacia de la anchura de banda.....	5
3.1.2	Soluciones tecnológicas en apoyo de la asimetría del tráfico.....	7
3.1.3	Innovación de sistema avanzado utilizando DDT.....	8
3.1.4	Conceptos de antena adaptable y características técnicas clave	9
3.1.5	Técnicas de entrada-múltiple salida-múltiple	10
3.2	Red de acceso a interfaces radioeléctricas.....	11
3.2.1	Dispositivos radioeléctricos definidos por soporte lógico (SDR).....	11
3.2.2	Nodos de paquetes de gran velocidad de datos (HDRPN).....	13
3.2.3	Tecnologías Internet y soporte de aplicaciones IP por sistemas móviles	14
3.2.4	Acceso inalámbrico IP en banda ancha.....	15
3.2.5	Sistemas radioeléctricos por fibra (RoF)	16
3.2.6	Redes radioeléctricas multisalto.....	18
3.2.7	Estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS).....	19
3.3	Terminales móviles.....	21
3.3.1	Arquitectura del terminal	21
3.3.2	Sistemas microelectromecánicos (MEMS) de RF	21
3.3.3	Nuevas interfaces de usuario innovadoras	22
3.3.4	Procesadores, terminales y redes reconfigurables.....	23
4	Conclusiones.....	24
5	Terminología y abreviaturas.....	24

	Página
Anexo 1 – Tecnologías para mejorar la eficacia en cuanto a anchura de banda	27
Anexo 2 – Soluciones de tecnología en apoyo de la asimetría del tráfico.....	44
Anexo 3 – Innovación de sistema avanzado utilizando DDT.....	50
Anexo 4 – Conceptos de antena adaptable y características técnicas fundamentales	54
Anexo 5 – Técnicas de múltiple entrada y múltiple salida	62
Anexo 6 – Equipo radioeléctrico definido por soporte lógico.....	70
Anexo 7 – Nodos de paquetes de gran velocidad de datos (HDRPN).....	83
Anexo 8 – Tecnologías de Internet y soporte de aplicaciones basadas en el IP por los sistemas del servicio móvil	87
Anexo 9 – Tecnologías de acceso inalámbrico de banda ancha por IP	99
Anexo 10 – Radiocomunicaciones a través de fibras ópticas (RoF)	104
Anexo 11 – Arquitectura de los terminales	107
Anexo 12 – Sistemas microelectromecánicos de radiofrecuencia (MEMS RF)	110
Anexo 13 – Nuevas e innovadoras interfaces de usuario para los futuros terminales inalámbricos multimedios	113
Anexo 14 – Procesadores reconfigurables.....	118
Anexo 15 – Redes radioeléctricas con multisaltos	125

1 Introducción

La Recomendación UIT-R M.1645 define el marco y los objetivos generales del desarrollo futuro de las IMT-2000 y sistemas posteriores para la red de acceso radioeléctrico. Al definir el marco y los objetivos generales del desarrollo futuro de las IMT-2000 y sistemas posteriores, han de considerarse las tendencias significativas de la tecnología. Este Informe ofrece nuevas informaciones sobre muchas de las tendencias tecnológicas que atañen a la red de acceso radioeléctrico previstas cuando se elaboró la Recomendación UIT-R M.1645. Dependiendo de su desarrollo, la evolución, capacidades previstas y costo de despliegue, cada una de estas tecnologías puede o no repercutir en el desarrollo futuro de las IMT-2000 y sistemas posteriores o utilizarse en ellos. Se prevé que en la investigación y en el desarrollo futuro de las IMT-2000 y sistemas posteriores se consideren estas tecnologías y se ofrezcan orientaciones sobre la aplicabilidad o la influencia que pudieran tener en el futuro de las IMT-2000 y sistemas posteriores.

Las tecnologías descritas en este Informe son recopilaciones de posibles sistemas habilitadores de tecnología. Hasta este momento no hay decisiones sobre si se adoptarán estas tecnologías para los sistemas futuros de comunicaciones móviles y este Informe no excluye la adopción de cualquier otra tecnología sobresaliente que exista o aparezca en el futuro.

2 Alcance

Este Informe ofrece aportaciones sobre muchas de las tendencias tecnológicas que atañen a las redes de acceso radioeléctrico previstas cuando se elaboró la Recomendación UIT-R M.1645.

El Informe aborda temas de tecnología que revelan su interés en mayor o menor medida para el futuro desarrollo de las IMT-2000 y sistemas posteriores. El Informe considera estos temas en tres amplias categorías:

- Tecnologías que influyen en el espectro, su utilización y/o su eficacia en este contexto.
- Tecnologías que se refieren a las redes de acceso y a las interfaces radioeléctricas.
- Tecnologías relacionadas con los terminales móviles.

3 Panorámica de las nuevas tecnologías principales

Este punto presenta temas de tecnología que ofrecen interés en mayor o menor medida para el desarrollo futuro de las IMT-2000 y sistemas posteriores. En los § 3.1, 3.2 y 3.3 se describen respectivamente las tecnologías que repercuten en el espectro, su utilización y/o eficacia, las tecnologías relacionadas con las redes de acceso y las interfaces radioeléctricas y las tecnologías relativas a los terminales de usuario. En los Anexos correspondientes se ofrecen más detalles.

La demanda de comunicaciones móviles multimedio ha ido aumentando rápidamente. No obstante, el espectro radioeléctrico es un recurso valioso y escaso. Por tanto, hay que prever tecnologías innovadoras para la utilización eficaz del espectro que potencien la capacidad de las IMT-2000 y sistemas posteriores. En el § 3.1 se examinan algunas nuevas tecnologías radioeléctricas y su repercusión en la utilización del espectro, incluyendo tecnologías para la mejora de la eficacia espectral, las que utilizan antenas múltiples, tales como las antenas adaptables, y las de entrada-múltiple salida-múltiple (MIMO), así como las utilizadas para el tratamiento de la asimetría del tráfico y las de dúplex por división en el tiempo (DDT).

Los algoritmos de gestión avanzada del recurso radioeléctrico (RRM) y los métodos de compartición flexible de frecuencias sirven para maximizar y optimizar la utilización del recurso de frecuencias. Además, las tecnologías de antena y de codificación, tales como las de antenas inteligentes, las técnicas de diversidad, las técnicas de codificación, la codificación espacio-tiempo y las tecnologías combinadas, mejoran la calidad del enlace radioeléctrico en los canales con desvanecimiento multitrayecto de Rayleigh. Además, los esquemas eficaces de acceso múltiple y la modulación adaptable mejoran la eficacia de la anchura de banda de los sistemas.

Las antenas adaptables mejoran la eficacia espectral de un canal radioeléctrico y al hacerlo, incrementan considerablemente la capacidad y la cobertura de la mayoría de las redes de transmisión radioeléctrica. Esta tecnología se vale de antenas múltiples, técnicas de procesamiento digital y algoritmos complejos para modificar las señales transmitidas y recibidas en una estación de base y en un terminal de usuario. Además, las técnicas MIMO pueden aportar mejoras significativas de la capacidad del enlace radioeléctrico, utilizando de forma positiva los canales de propagación multitrayecto compleja de ciertas comunicaciones móviles terrenales. Las técnicas MIMO se basan en el establecimiento de varios canales de comunicación independiente paralelos por el mismo canal espacial y de frecuencia, utilizando elementos múltiples de antena en ambos extremos del enlace.

En las comunicaciones multimedio de banda ancha, se prevé el predominio del tráfico asimétrico. Dadas las incertidumbres de la futura asimetría del tráfico, los futuros sistemas de comunicaciones móviles deben ser adaptables a distintas relaciones de asimetría, especialmente en los niveles de zona personal y acceso de usuario, a fin de ofrecer la asimetría del tráfico prevista, manteniendo

simultáneamente una eficacia espectral elevada. La DDT es una de las técnicas adecuadas para los servicios asimétricos de gran velocidad de datos, al tiempo que ofrece un despliegue flexible de la red, incluyendo puntos urbanos de gran densidad y entornos en interiores, así como aplicaciones de zona amplia. Los sistemas DDT no exigen un par de frecuencias dúplex, pues las transmisiones del enlace ascendente y del descendente van en la misma portadora, dentro de la misma banda de espectro. En los futuros sistemas de comunicaciones móviles, la flexibilidad y la integración/convergencia serán factores clave. En el § 3.2 se presentan las tecnologías relativas a las aplicaciones IP y de acceso inalámbrico en banda ancha IP, las relacionadas con el equipo radioeléctrico definido por soporte lógico (SDR) y las que logran coberturas más amplias, tales como las de radiocomunicaciones por fibra (RoF), las redes radioeléctricas multisalto y las de estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS).

Muchos sistemas de comunicación inalámbrica ofrecen a los usuarios formas útiles de acceder a Internet y de comunicarse entre sí o de acceder a contenidos multimedia. Se prevé que las tecnologías inalámbricas avancen en una dirección que permita el apoyo de los servicios multimedia e Internet. La repercusión tecnológica de la integración de las tecnologías IP e inalámbrica es más acusada en el caso del acceso móvil en banda ancha a Internet. Para el soporte de las aplicaciones en tiempo real o multimedia que utilizan protocolos IP de extremo a extremo, todos los elementos de un servicio deben, en general, responder a los requisitos del acceso inalámbrico móvil o en banda ancha. Para el soporte eficaz del transporte IP por un entorno móvil de banda ancha, se necesita fundamentalmente un conjunto de tecnologías diversas agrupadas en conceptos de «banda ancha», «sin discontinuidad» y «eficaz en términos de energía».

Los SDR constituyen sistemas de comunicaciones móviles reconfigurables destinados a establecer una plataforma común de aplicación del soporte lógico que afecta a pilas de protocolos radioeléctricos reconfigurables, incrementando con ello las capacidades y la versatilidad de la red y del terminal mediante modificaciones (descargas) del soporte lógico. Básicamente, los SDR afectan a todas las capas de comunicación (desde la capa física a la capa de aplicación) de la interfaz radioeléctrica y repercuten en el terminal de usuario y en el lado de la red.

Las radiocomunicaciones por fibra, se definen como sistemas que permiten la interconexión transparente de una estación de base con un elemento de red de interfaz radioeléctrica de sistema inalámbrico equivalente, junto a sus antenas de transmisión y recepción asociadas, por medio de una red óptica. La fibra óptica presenta unas pérdidas de inserción muy reducidas con las que se logran longitudes de cable de hasta varios kilómetros y una enorme anchura de banda para transportar múltiples señales de RF distintas por una única fibra.

La tecnología de acceso inalámbrico multisalto utiliza múltiples conexiones inalámbricas serie entre el terminal de usuario de destino y una estación de base en un sistema homogéneo o entre sistemas diferentes. En un sistema inalámbrico con bandas de frecuencias superiores en el que se disponga de una zona de cobertura inferior, la tecnología de acceso inalámbrico multisalto puede ser una solución para que los terminales de usuario puedan obtener una conectividad inalámbrica con una estación de base.

Otra solución es la aplicación de las HAPS que es una nueva tecnología basada en una plataforma volante. El sistema HAPS puede dar cobertura celular móvil y servicios inalámbricos fijos a diversas regiones que van desde las zonas (urbanas) de gran densidad a las zonas (rurales) de densidad reducida.

La flexibilidad y la integración/convergencia son también factores clave para los terminales de usuario. En el § 3.3 se abordan las tecnologías destinadas a lograr terminales de usuario reconfigurables, tales como las de arquitectura de terminal, los procesadores reconfigurables, los sistemas microelectromecánicos de RF (MEMS) para obtener terminales de usuario más pequeños y las interfaces de usuario para terminales de usuario flexibles.

En los futuros equipos de usuario móvil se pueden adoptar características de plataformas programables multifunción que contengan procesadores multifunción de gran potencia y que ofrezcan una plataforma flexible y programable aplicable a utilizaciones cuya diversidad crece constantemente. La convergencia de la conectividad inalámbrica y la plataforma programable multifunción puede reavivar algunas inquietudes actuales y suscitar otras nuevas; de esta manera, los factores medioambientales y los estímulos tradicionales de la tecnología y del mercado influyen en la arquitectura de estos dispositivos. Un procesador incorporado bien concebido con una unidad reconfigurable puede permitir la ejecución eficaz de instrucciones definidas por el usuario, pues los procesadores multifunción tales como las CPU o los DSP no son adecuados para el funcionamiento a nivel binario. Este tipo de procesador, que puede tratar múltiples tipos de procesos de datos a nivel binario, puede integrarse en diversas aplicaciones para el funcionamiento eficaz de los sistemas de comunicaciones móviles.

Los sistemas microelectromecánicos de RF (MEMS) son microdispositivos (o sistemas integrados) que combinan componentes electrónicos y mecánicos fabricados utilizando una técnica de circuito integrado (CI) compatible con el procesamiento por lotes. Esta tecnología puede ofrecer circuitos integrados compactos, ligeros, de bajo consumo y gran calidad que sustituyan a los componentes discretos pasivos de RF, tales como los VCO, los filtros de FI y RF y los duplexores.

Los sistemas de cálculo personales son también una tecnología prometedora que dará lugar a nuevas líneas de interfaces hombre-máquina aplicables a los terminales de usuario. Hasta el momento, hay múltiples soluciones que no están normalizadas, pero que son métodos patentados. Hay también una clara necesidad de armonizar y utilizar abiertamente las normas de interfaz abierta común.

3.1 Nuevas tecnologías radioeléctricas y su repercusión en el espectro

3.1.1 Tecnologías para mejorar la eficacia de la anchura de banda

Para cumplir la intensa demanda de servicios multimedia en banda ancha para usuarios itinerantes y móviles, es necesario aumentar la velocidad binaria máxima de información de los sistemas posteriores a las IMT-2000. Para mejorar la capacidad de las IMT-2000 y sistemas posteriores, son indispensables tecnologías innovadoras o nuevos conceptos que mejoren la eficacia de la anchura de banda. Los algoritmos de gestión avanzada del recurso radioeléctrico (RRM) servirán para maximizar la utilización del recurso. Además, las tecnologías de antena y de codificación, tales como las de antenas inteligentes, las técnicas de diversidad, las técnicas de codificación, la codificación espacio-tiempo y las tecnologías combinadas serán necesarias para que los sistemas posteriores a las IMT-2000 mejoren la calidad del enlace inalámbrico en los canales con desvanecimiento multitrajecto de Rayleigh. Además, los esquemas eficaces de acceso múltiple, la modulación adaptable, la modulación adaptable del enlace descendente y la tecnología multisalto serán necesarias para mejorar la eficacia del sistema en materia de anchura de banda.

Las tecnologías para la mejora de la eficacia de la anchura de banda que se tratan en esta Recomendación son:

- sistemas concentrados;
- ultra banda ancha (UWB);
- modulación y codificación adaptables (AMC, *adaptive modulation and coding*);
- compartición flexible de frecuencias.

En los puntos que siguen figuran descripciones de alto nivel de las tecnologías mencionadas, y en el Anexo 1 se ofrecen informaciones más detalladas.

3.1.1.1 Resumen de la tecnología

- *Sistemas concentrados*: En entornos peatonales y de interiores, habrá fluctuaciones intensas de la demanda del tráfico, una mayor movilidad de los usuarios y distintos tipos de tráfico. Este entorno de gran complejidad exigirá algoritmos avanzados de RRM. Podría ser conveniente disponer de una unidad inteligente central que maximice la utilización del recurso. Esta capacidad la ofrecen los sistemas concentrados.
- *Ultra banda ancha*: El concepto básico de la UWB es la formación, transmisión y recepción de una ráfaga de duración extremadamente reducida de energía RF. Las formas de onda resultantes tienen una banda extremadamente ancha (generalmente de algunos GHz).
- *Modulación y codificación adaptables*: Los esquemas de modulación y codificación adaptables adaptan la variación del canal, modificando parámetros tales como el orden de modulación y la velocidad del código, sobre la base de la información del estado del canal (CSI).
- *Compartición flexible de frecuencias*: La compartición de frecuencias portadoras entre distintos operadores constituye un método para optimizar la utilización de los recursos de espectro.

3.1.1.2 Ventajas

- *Sistemas concentrados*: Los sistemas concentrados ofrecen una distribución dinámica de la carga, la gestión dinámica del recurso radioeléctrico y el control adaptable de la cobertura. Los sistemas concentrados se adaptan bien a coberturas de concentración máxima.
- *Ultra banda ancha*: Los sistemas UWB ofrecen la posibilidad de la compartición del espectro entre servicios y una utilización más eficaz del espectro.
- *Modulación y codificación adaptables*: La ventaja de los esquemas AMC es que la cantidad de espectro utilizado se basa en las condiciones reales del canal, más que en las condiciones más desfavorables de éste.
- *Compartición flexible de frecuencias*: Utilización más eficaz del recurso de espectro.

3.1.1.3 Temas a examen

- *Sistemas concentrados*: Deben considerarse los temas de diseño de la RAN y del algoritmo RRM para los sistemas concentrados.
- *Ultra banda ancha*: No existe una definición convenida internacionalmente de la UWB, porque las aplicaciones y utilidades en las que puede intervenir esta tecnología son muy diversas y los dispositivos no se han desarrollado plenamente. No se conocen aún las repercusiones reglamentarias y en materia de interferencia de la UWB.
- *Modulación y codificación adaptables*: Las demoras en la información de las condiciones del canal reducen la fiabilidad del indicador de estado del canal, lo que puede dar lugar a que el sistema seleccione niveles de modulación y velocidades de codificación incorrectas.
- *Compartición flexible de frecuencias*: La utilización de la compartición flexible del espectro puede tener repercusiones graves en el tiempo necesario para explorar el espectro y situar una portadora de tecnología de acceso radioeléctrico (RAT) una vez encendido el terminal.

3.1.2 Soluciones tecnológicas en apoyo de la asimetría del tráfico

3.1.2.1 Antecedentes

Las interfaces radioeléctricas de las IMT-2000 y sistemas posteriores pueden servir para diversas capacidades en el enlace ascendente y en el descendente en relación con la asimetría del tráfico. En este contexto, asimetría significa que el volumen básico del tráfico y, en consecuencia, el volumen de los recursos necesarios, pueden diferir entre el enlace ascendente y el descendente.

Hay al menos cuatro aspectos de la asimetría del tráfico:

- *Al nivel del área personal:* el grado de asimetría del tráfico entre dispositivos de una red de área personal (PAN).
- *Al nivel del acceso de usuario:* el grado de asimetría para el tráfico entre un usuario específico y la red para un servicio específico.
- *Al nivel de célula:* el grado de la asimetría del tráfico total en una célula específica.
- *Al nivel de red:* el grado de la asimetría del tráfico total en toda la red.

Las opiniones difieren por lo que se refiere, en particular, al volumen considerado del tráfico y a la velocidad de variación de la asimetría. Para los usuarios individuales (es decir al nivel del área personal y del acceso de usuario) el grado de asimetría puede variar rápidamente. Pero el grado de la asimetría total en una célula (es decir, al nivel de célula) e incluso más en toda la red (es decir al nivel de la red) variará mucho más lentamente debido a la agregación de servicios individuales por un lado y a la variación de la combinación de servicios, por otro. Dependerá del diseño del sistema, que esta asimetría de tráfico cambiante ofrecido pueda distribuirse eficazmente y la forma en que lo haga.

3.1.2.2 Combinación de servicios en los sistemas IMT-2000

En las redes IMT-2000 o en los sistemas posteriores habrá una combinación de aplicaciones simétricas, así como aplicaciones predominantemente descendentes (el sentido descendente va de la estación de base a la estación o estaciones móviles)¹ o predominantemente ascendentes (el sentido ascendente va de la estación o estaciones móviles a la estación de base)¹ que utilizan velocidades de datos diferentes. Las estimaciones más recientes de una combinación de tráfico se describen en el Informe UIT-R M.2023. Un análisis de estas estimaciones indica que la simetría total en una célula específica o en toda la red del tráfico procedente de usuarios IMT-2000 tendrá las mismas características de «descarga» que las de la red fija, es decir, será predominantemente descendente. No obstante, debe señalarse que las características del tráfico y el grado de la simetría de éste entre un usuario específico y la red para algunos servicios específicos IMT-2000 puede ser diferente. Se prevé que las nuevas aplicaciones, tales como las imágenes o los cortos videomusicales, así como el tráfico entre entidades pares que genera tráfico procedente de terminales o servidores conectados de forma inalámbrica, afectará a la combinación de tráfico IMT-2000. Dadas las incertidumbres de la asimetría futura del tráfico, los sistemas de acceso radioeléctrico futuros deben ser adaptables a las distintas relaciones de asimetría, especialmente al nivel del área personal y al de acceso de usuario, para distribuir la asimetría del tráfico ofrecido, manteniendo al mismo tiempo una elevada eficacia espectral.

¹ Según la Recomendación UIT-R F.1399 – Terminología del acceso inalámbrico.

3.1.2.3 Aspectos técnicos

La capacidad de la interfaz radioeléctrica para aceptar la asimetría de tráfico puede lograrse por distintos medios:

- Mediante atribución asimétrica de recursos, por ejemplo, la atribución asimétrica de frecuencias, en el caso del funcionamiento en dúplex por división en frecuencia (DDF) o la atribución asimétrica de intervalos temporales en el caso de funcionamiento en DDT.
- Mediante atribución simétrica de frecuencias de enlace ascendente/descendente en el caso de DDF o mediante atribución simétrica de intervalos temporales de enlace ascendente/descendente del caso de DDT con utilización parcial únicamente de la capacidad disponible en uno de los dos sentidos.
- Aplicando distintas tecnologías de mejora de la capacidad al enlace ascendente y al descendente, con independencia de la atribución del recurso. Estas tecnologías suelen ser independientes del esquema dúplex.

En el Anexo 2 se ofrecen más detalles.

3.1.3 Innovación de sistema avanzado utilizando DDT

El funcionamiento DDT se adapta bien a los servicios asimétricos de gran velocidad de datos, al tiempo que ofrece un despliegue de red con costos reducidos y flexible, incluyendo entornos urbanos congestionados, de punto caliente y en interiores congestionados, así como aplicaciones de área amplia. La DDT es una técnica en la que las transmisiones del enlace ascendente y del enlace descendente van en la misma portadora, en la misma banda del espectro. Esto significa que la tecnología DDT puede funcionar en una banda de frecuencias no estructurada por pares, es decir, que no se necesita un par de frecuencias. El requisito mínimo de espectro es únicamente la mitad de la anchura de banda del modo DDF, es decir, que sólo se necesita una atribución de espectro de 5 MHz cuando la velocidad de segmentos del sistema DDT W-CDMA (IMT-2000 AMDC DDT (IMT-2000 CDMA TTD)) es la misma velocidad de segmentos armónica de 3,84 Mchip/s que en el modo DDF W-CDMA (IMT-2000 AMDC de dispersión directa (IMT-2000 CDMA Direct Spread)).

Actualmente, con los sistemas IMT-2000, la DDT utiliza las técnicas AMDC y AMDT para separar los diversos canales de comunicación por intervalo de tiempo y código AMDC. Pueden asignarse intervalos de tiempo para cursar canales de enlace descendente o ascendente. La estructura AMDT permite también utilizar un algoritmo específico mediante el que múltiples canales se reconocen conjuntamente y se decodifican (algoritmo de detección conjunta). Este método elimina casi completamente la interferencia interior a la célula y contribuye a incrementar la capacidad del sistema. Ello es factible en la DDT porque la transmisión y la recepción se producen en la misma frecuencia y presentan distorsiones de canales similares, con lo que se simplifica el procesamiento.

Debido a la estructura del AMDT y al algoritmo de detección conjunta que reduce significativamente la interferencia procedente de otras señales AMDC presentes en el intervalo de tiempo, el sistema DDT W-CDMA se comporta de forma muy parecida a la del sistema AMDT. No sufre la respiración de las células ni la necesidad de mantener un margen operativo suficiente para compensar la incertidumbre, ni exige una capacidad de traspaso flexible. Ello es especialmente útil para situaciones de punto caliente con cargas de datos intensas y pequeños tamaños de célula, tales como las de interiores y exteriores (picocélulas y microcélulas). Como los intervalos de tiempo para el enlace ascendente y el enlace descendente pueden asignarse de forma separada, la estructura DTT W-CDMA está particularmente adaptada para el tráfico asimétrico. Puede controlarse dinámicamente el grado de asimetría, mejorando la eficacia general operativa.

Desde el principio, se ha diseñado la norma DDT adelantándose a la implementación de antenas inteligentes que pueden mejorar de forma considerable la capacidad del sistema. Las antenas inteligentes ofrecen ventajas particulares en situaciones de macrocélula y microcélula en las que las señales del usuario no están muy dispersas. Una vez más, la utilización por el sistema DDT del mismo canal radioeléctrico físico en el enlace ascendente y en el descendente simplifica el procesamiento necesario para conformar los haces de antena. Esta característica singular, la reciprocidad del canal DDT hace que sea también práctico para implementar técnicas de diversidad y codificación avanzadas.

Por último, la técnica DDT es rentable para despliegues de red ya que potencia la infraestructura de un despliegue únicamente DDF, aportando una capacidad que puede incrementarse en los «puntos calientes». Esto se logra mediante una arquitectura múltiple de macrocélulas, microcélulas y picocélulas DDF y DDT.

3.1.4 Conceptos de antena adaptable y características técnicas clave

3.1.4.1 Introducción y ventajas de las antenas adaptables en las IMT-2000

Formalmente, las antenas adaptables pueden definirse² como «un sistema de antenas que es capaz de cambiar dinámicamente su diagrama de antena para ajustarse al ruido, la interferencia y la propagación multitrayecto. Las antenas adaptables se utilizan para mejorar las señales recibidas y también pueden emplearse en la formación de haces para la transmisión».

De forma similar, los sistemas con haz conmutado «utilizan una serie de haces fijos en un emplazamiento de antena. El receptor selecciona el haz que puede ofrecer la mejora de la señal y la reducción de la interferencia máximas. Los sistemas con haz conmutado pueden no ofrecer el nivel de mejora de la calidad de los sistemas adaptables, pero son mucho menos complejos y más fáciles de reacondicionar para las tecnologías inalámbricas actuales».

Por último, en la misma fuente se definen de forma similar las antenas inteligentes como las que «pueden incorporar las tecnologías de antena adaptable y de haz conmutado».

Se previene al lector de que las terminologías utilizadas son diversas; por ejemplo, los sistemas no adaptables o no conmutados se denominan en algunos casos inteligentes, debido simplemente a la incorporación de dispositivos añadidos de electrónica de RF y, desgraciadamente, los términos de adaptación y conformación de haces suelen emplearse bastante ligeramente.

3.1.4.2 Ventajas de la integración de antenas adaptables

Ventajas de las antenas adaptables en las redes IMT-2000

Las antenas adaptables mejoran la eficacia espectral de un canal radioeléctrico y al hacerlo, aumentan considerablemente la capacidad y la cobertura de la mayoría de las redes de transmisión radioeléctrica. Esta tecnología utiliza antenas múltiples, técnicas de procesamiento digital y algoritmos complejos para modificar las señales transmitidas y recibidas en la estación de base y en el terminal de usuario. Los sistemas de todas las actuales interfaces radioeléctricas de las IMT-2000 pueden obtener mejoras significativas de la calidad aplicando la tecnología de antenas adaptables.

Mejoras adicionales incluyendo antenas adaptables en el concepto de diseño inicial

Mientras que la aplicación de la tecnología de antenas adaptables a una interfaz radioeléctrica existente puede mejorar de manera significativa la eficacia espectral de dicha interfaz, hay mayores ventajas en cuanto a la eficacia que puede obtenerse si se incorpora la tecnología de antenas

² LIBERTI y RAPPAPORT [1999] *Smart Antennas for Wireless Communications*. Wiley.

adaptables en el diseño inicial de la interfaz. Muchos de los aspectos del diseño de una interfaz aérea afectan a la mejora de la eficacia espectral que puede obtenerse de la tecnología de antenas adaptables, si se incluye lo siguiente:

- métodos de duplexación;
- anchura de banda de la portadora;
- métodos de modulación;
- control de la señalización: métodos de difusión y de radiobúsqueda;
- estructuras de ráfaga y trama;
- métodos de control de acceso al medio.

El resultado de este enfoque puede ser bastante significativo. Puede demostrarse que la integración de antenas adaptables en el concepto de diseño inicial puede traducirse en mejoras de la eficacia espectral de más de 4000% respecto a los actuales sistemas 2G y de más del 400% respecto a las nuevas interfaces radioeléctricas IMT-2000.

3.1.4.3 Resumen

Se acepta generalmente que la tecnología de antenas adaptables ofrece una serie de ventajas. Por ejemplo, la inevitable redistribución de las etapas de amplificación de potencia de RF para los sistemas de antena adaptable suelen dar lugar a un costo inferior del amplificador total del que probablemente se obtiene con la tecnología convencional. Desde un punto de vista del despliegue, conviene en ocasiones utilizar estaciones con antenas adaptables únicamente en una parte de la infraestructura total de una zona y, de forma similar, las ventajas de la reducción de la interferencia pueden ser especialmente provechosas en situaciones de acuerdo de coordinación transfronterera.

La integración de los sistemas de antena adaptable en el diseño de los futuros sistemas IMT-2000 y sistemas posteriores mejorará significativamente la eficacia espectral de estos nuevos sistemas radioeléctricos. La mejora de la eficacia espectral obtenida de los sistemas con antenas adaptables pueden emplearse no sólo para reducir el número de estaciones de base (células) que se necesitan en el despliegue de una red IMT-2000, sino también para obtener velocidades de datos significativamente mayores con una cantidad limitada del espectro cada vez más escaso.

3.1.5 Técnicas de entrada-múltiple salida-múltiple

3.1.5.1 Resumen de la tecnología

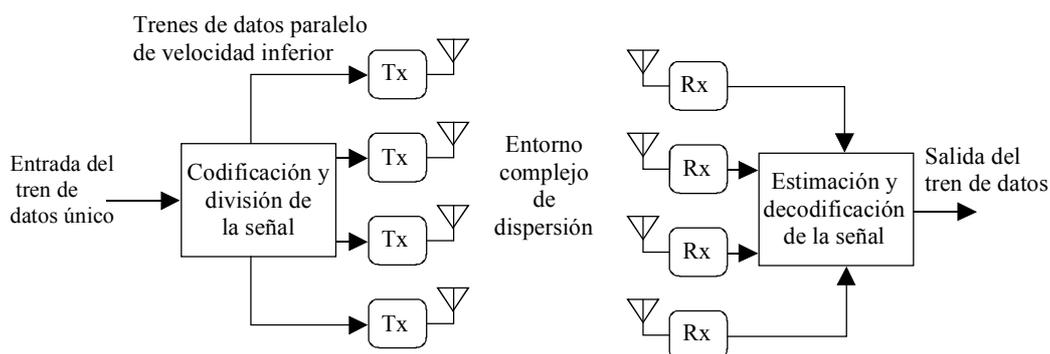
Las técnicas MIMO pueden aportar mejoras significativas de la capacidad del enlace radioeléctrico, utilizando de forma positiva los canales complejos de propagación multitrayecto presentes en las comunicaciones móviles terrenales. Hay múltiples soluciones alternativas en esta familia de técnicas, si bien todas ellas se basan en el establecimiento de varios canales paralelos de comunicación independientes por el mismo espacio y el mismo canal de frecuencia, utilizando elementos múltiples de antena en ambos extremos del enlace.

3.1.5.2 Ventajas

La ventaja de la explotación de técnicas MIMO es aumentar la velocidad de datos del caudal del sistema para la misma potencia radiada total y la misma anchura de canal.

En entornos de propagación de gran dispersión, la velocidad de datos máxima teórica de los algoritmos MIMO aumenta directamente en proporción al número de antenas, en vez de ser únicamente proporcional al logaritmo del número de antenas, cuando se utilizan métodos de conformación de haz convencionales mediante sistemas de antenas en fase. Para la disposición de la Fig. 1, el método MIMO ofrece una ganancia potencial del doble de la capacidad respecto a la de utilización de los algoritmos de sistemas de antenas en fase convencionales de las redes celulares.

FIGURA 1

Concepto de transmisor-receptor MIMO

2038-01

3.1.5.3 Temas que han de considerarse

La cuantía de estas mejoras teóricas que pueden lograrse en escenarios de despliegue realistas es el tema de la investigación en curso que realiza la industria, haciendo hincapié especial en la maximización de la calidad del sistema de antena del terminal, con los factores restrictivos que imponen los terminales futuros, tales como computadores portátiles, asistentes personales y aparatos de mano, y también en la minimización de la complejidad del cálculo en los algoritmos de procesamiento de la señal.

Los resultados iniciales de los que informa la literatura demuestran que la mayor parte de la capacidad MIMO teórica puede explotarse con un diseño apropiado del sistema de antenas del terminal. Con dicho sistema, los elementos de antena pueden separarse menos de una longitud de onda y pueden también utilizar polarizaciones alternativas para aumentar el número de elementos en un tamaño determinado de terminal. Se ha demostrado que incluso cuatro elementos en un terminal pueden producir ganancias significativas de capacidad, montándolos en el recinto de un asistente personal típico.

No obstante, para todos los aspectos del diseño de un sistema MIMO es necesario efectuar una caracterización detallada del canal de propagación MIMO en un despliegue realista, lo cual es motivo de estudios en los proyectos de investigación 3GPP, COST 259 y COST 273.

El Anexo 5 ofrece una breve panorámica de las técnicas MIMO, junto con una lista de referencias a algunos de los trabajos más importantes publicados en la materia.

3.2 Red de acceso a interfaces radioeléctricas**3.2.1 Dispositivos radioeléctricos definidos por soporte lógico (SDR)****3.2.1.1 Generalidades**

Los SDR responden en una tecnología de sistemas de comunicaciones móviles reconfigurables destinados a ofrecer una plataforma común de aplicación del soporte lógico que afecta a pilas de protocolos radioeléctricos reconfigurables, incrementando con ello las capacidades y la versatilidad de la red y del terminal mediante modificaciones (descargas) del soporte lógico. Con la proliferación de las interfaces de programación de aplicaciones (API), puede pasarse en plataformas patentadas el soporte lógico procedente de distintos suministradores. En dichas plataformas se ejecutan los protocolos y aplicaciones de interfaz bajo el control de un entorno común de soporte lógico.

Los SDR se refieren por tanto básicamente a todas las capas de comunicación (desde la capa física a la capa de aplicación) de la interfaz radioeléctrica (véase la Fig. 19) y repercuten en el lado del terminal móvil y en el de la red.

Como objetivos clave, los dispositivos SDR aportarán medios para:

- la adaptación de la interfaz radioeléctrica a entornos de despliegue y normas de interfaz radioeléctrica variables;
- la provisión de posibles nuevas aplicaciones y servicios;
- las actualizaciones de los programas;
- la capacidad de explotación plena de servicios de redes radioeléctricas heterogéneas flexibles.

En el Anexo 6 se ofrecen más detalles sobre la arquitectura de terminales reconfigurables y de redes de apoyo.

3.2.1.2 Requisitos generales de los SDR

La disposición de equipos SDR impone requisitos al sistema de comunicación móvil que pueden agruparse en tres categorías distintas:

- control de la reconfiguración radioeléctrica;
- creación y puesta a punto de servicios por redes convergentes y modos de acceso radioeléctrico diferentes;
- gestión del entorno de usuario.

Además, los SDR tienen que considerar y tener en cuenta las funciones adecuadas de seguridad que permiten el funcionamiento fiable y que evitan todo abuso potencial, independientemente de la gran flexibilidad que aportan.

3.2.1.3 Arquitectura lógica SDR

La arquitectura lógica SDR tiene que servir para las funciones siguientes:

- gestión del terminal, perfiles de usuario y de servicio en las entidades de red y en el terminal;
- control eficaz de la descarga y gestión de la reconfiguración en los terminales y en las entidades de red;
- funcionalidades de negociación y adaptación para servicios y RAT (por ejemplo, traspaso vertical);
- garantía del cumplimiento de normas.

Estas funciones son funciones lógicas, es decir, pueden implementarse en lugares distintos de la red. Además, pueden distribuirse en la red y entre ésta y el terminal.

El Anexo 6 muestra un ejemplo de dicha arquitectura lógica SDR (aspectos del terminal y de la red).

3.2.1.4 Consideraciones restrictivas

Los SDR, dada su gran flexibilidad y las posibilidades de cambiar casi todos los parámetros de la interfaz radioeléctrica o de las capas superiores (por ejemplo, los parámetros de la capa de transporte) serán objeto posiblemente de normalización si es preciso realizar operaciones combinadas (combinación de diferentes suministradores de equipo y de soporte lógico) y la instalación de API abiertas entre módulos.

Los temas correspondientes que se han de examinar son, por ejemplo:

- las funciones de seguridad para la descarga fiable y segura de soporte lógico (por ejemplo, la descarga de soporte lógico limitada a productos aprobados por un fabricante, disponibles únicamente en servidores seguros de fabricantes para proteger los compromisos reglamentarios de éstos en cuanto a integridad del sistema);
- para el terminal: la separación de funcionalidades utilizadas en aplicaciones y en programas específicos radioeléctricos;
- para el terminal en relación con las nuevas aplicaciones y servicios: la petición de confirmación de usuario antes de la actualización del soporte lógico, a fin de evitar incompatibilidades con otros programas ya instalados.

3.2.2 Nodos de paquetes de gran velocidad de datos (HDRPN)

Como los servicios de datos por paquetes presentan características distintas de los servicios de datos por canal vocal puede ser posible aprovechar las características de ciertas aplicaciones de datos por paquetes para mejorar la calidad del sistema, cuando se da cabida a estos servicios. Un cambio de la arquitectura y la estructura de este tipo que aprovecha las características de retardo más tolerantes de ciertas clases de tráfico de paquetes es el concepto de HDRPN. Según este concepto, se sitúan los HDRPN en la proximidad de las rutas que previsiblemente empleen los abonados móviles, y cuando dichos abonados estén próximos a esos nodos, el sistema transfiere grandes ficheros con velocidades de datos elevadas a los usuarios que tienen amplios ficheros esperándoles. Los HDRPN no transmiten potencia suficiente para que los terminales móviles puedan recibir grandes velocidades de datos cuando no están próximos a uno de los nodos de paquetes de gran velocidad. Esto se traduce en una menor interferencia en la zona y puede dar lugar a un número menor de estaciones de base.

Se prevé que los futuros sistemas IMT-2000 ofrezcan servicios de paquetes de gran velocidad de datos (véanse las nuevas Cuestiones) que pondrán seriamente a prueba los límites prácticos de la tecnología actual. Se prevé que este tipo de enlace de paquetes sea probablemente asimétrico, funcionando frecuentemente la transferencia por el enlace descendente con una velocidad de datos muy superior. A menudo los datos no son sensibles a pequeñas demoras y puede aceptarse un retardo hasta de un minuto. Este conjunto de requisitos es distinto al de los requisitos originales de las IMT-2000 en los que se hacía vivamente hincapié en los requisitos vocales y en el equilibrio de los trayectos de transmisión. En las siguientes fases de las IMT-2000 es fundamental volver a examinar la arquitectura básica a fin de determinar si estos nuevos requisitos pueden afectar a la estructura del sistema. En algunas de las nuevas aplicaciones será práctico negociar un valor razonable del retardo, y en otros casos bastará con la capacidad mejor posible. Los usuarios de Internet se han acostumbrado a la categoría mejor posible que puede alcanzarse de servicio cuando utilizan para el acceso módems de línea. Si se tarda un minuto en transferir un gran fichero a una velocidad de 144 kbit/s, el mismo fichero puede transferirse en seis segundos en 1 444 kbit/s. Por tanto, si el retardo para iniciar la transferencia es de 54 s en el último caso, la transferencia habrá concluido al mismo tiempo que en el primer caso.

Los terminales móviles de vehículos se mueven generalmente de forma bastante rápida y, por tanto, cambian rápidamente su relación con las estaciones de base. Ello es especialmente así en los automóviles en autopistas o en los trenes de gran velocidad. Por tanto, como los tipos de datos descritos pueden admitir demoras reducidas, es lógico que los terminales de gran movilidad reciban grandes ficheros con velocidades de datos elevadas cuando se acercan a un nudo de paquetes de gran velocidad. Esto reduce en última instancia el costo de los terminales y de las estaciones de base y puede reducir significativamente la interferencia para otros terminales y estaciones de base. Los terminales móviles pueden recibir datos a velocidades inferiores en toda la región.

3.2.3 Tecnologías Internet y soporte de aplicaciones IP por sistemas móviles

3.2.3.1 Resumen de la tecnología

Las tecnologías de Internet y de comunicación inalámbrica tienen que orientarse en una dirección en la que se acepten entre sí más naturalmente. La repercusión tecnológica de la integración de las tecnologías IP e inalámbricas es más prominente en el caso del acceso móvil en banda ancha de Internet. A fin de que todos los elementos, en general, de un trayecto de servicio sirvan para las aplicaciones en tiempo real o multimedia utilizando protocolos IP de extremo a extremo, es necesario que cumplan los requisitos del acceso inalámbrico móvil o en banda ancha. De forma similar, las redes de acceso deben estar equipadas para la movilidad IP de gran velocidad, al tiempo que mantienen una calidad de servicio negociada. Por ejemplo, los componentes de una red móvil deben ser capaces de verificar y evaluar las condiciones del canal inalámbrico y ajustar en consecuencia los parámetros de la transmisión para evitar degradaciones graves del caudal.

Para lograr un transporte eficaz IP por un entorno móvil, se necesita fundamentalmente un conjunto de tecnologías diversas agrupadas en los conceptos de «sin discontinuidad», «banda ancha» y «eficaz en términos de energía». A partir de ello, se pueden obtener múltiples tecnologías relacionadas con Internet, por ejemplo, las de calidad de servicio, encaminamiento y traspaso, gestión del emplazamiento, gestión de la calidad de servicio, gestión del recurso inalámbrico, protocolos de radiobúsqueda/señalización, arquitectura de terminal, apoyo de sistemas operativos, reconfiguración adaptable del sistema, etc.

Para las futuras aplicaciones IP, cabe mencionar las aplicaciones siguientes, a modo de ejemplo.

Se están ya ofreciendo servicios con calidad menos exigente como los de acceso a la red, correo electrónico o SMS, por los sistemas celulares actuales. Entre otras posibles y difíciles aplicaciones basadas en el IP por sistemas móviles, la más destacada es la de voz por Internet (VoIP) que se incorpora actualmente en dispositivos cada vez más reducidos, desde los computadores personales portátiles a las agendas digitales personales (PDA). No obstante, algunos aspectos tales como el requisito de gran anchura de banda, el de demora del traspaso, etc., dificultarán su despliegue a menos que se logren mejoras significativas, por ejemplo, mediante una compresión eficaz del encabezamiento o un traspaso sin discontinuidad en los puntos de acceso.

Los servicios móviles de comercio/banca son otras aplicaciones lucrativas en las que puede explotarse el potencial de integración de Internet y las tecnologías móviles. En dichos servicios de forma específica y en todos los demás de manera general, el requisito previo es un entorno inalámbrico fiable (continuo, sin interrupciones) y seguro. La solución puede proceder de una mejora de la tecnología inalámbrica o de la de Internet, o de ambas. Se requiere un marco de seguridad para las aplicaciones IP por sistemas móviles.

3.2.3.2 Ventajas de la tecnología

Si continúa la tendencia actual de la utilización móvil, la integración con las tecnologías Internet conllevará una revolución en la industria de las comunicaciones inalámbricas que afectará a los suministradores, los proveedores de servicios/aplicaciones/contextos, los entes decisorios y los usuarios.

Los actuales sistemas inalámbricos (y probablemente también los sistemas futuros) se conciben de forma independiente, y se implementan y explotan para cumplir requisitos distintos en cuanto a movilidad, velocidades de datos, servicios, etc. Algunos, si no la totalidad de estos sistemas, pueden ofrecer servicios simultáneamente en un emplazamiento geográfico específico, creando un entorno inalámbrico heterogéneo para los usuarios de zonas de servicios superpuestas. Además, la siguiente generación de redes inalámbricas será de redes heterogéneas que den soporte a múltiples tecnologías de acceso inalámbrico en banda ancha y a la itinerancia a nivel mundial entre sistemas construidos con distintas tecnologías individuales de acceso. Para la integración sin discontinuidad de sistemas inalámbricos heterogéneos, la solución del IP íntegro parece la más prometedora.

3.2.3.3 Temas que han de considerarse

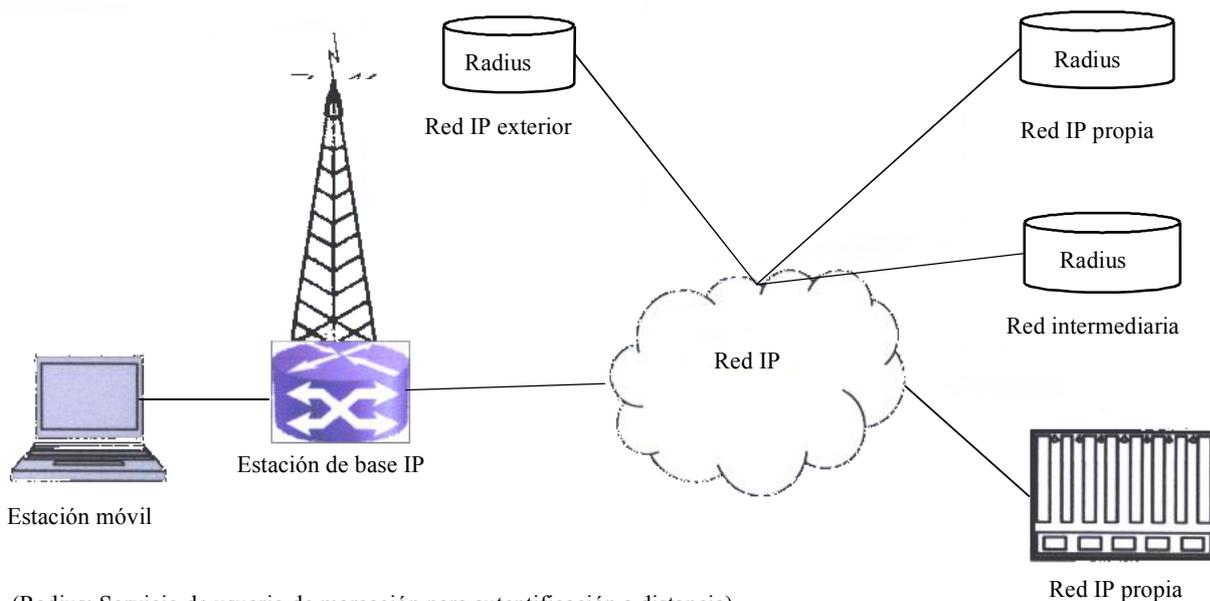
Empezando por la arquitectura de la red, hay diversos temas importantes que deben considerarse para lograr un entorno Internet móvil eficaz, así como redes inalámbricas heterogéneas. Al montar un sistema sostenible, se deben abordar los temas relacionados con la seguridad y la ampliación dimensional. Además, se ha de considerar la interoperabilidad con las aplicaciones heredadas y los sistemas futuros, el direccionamiento IP, los temas relativos al IPR, etc.

3.2.4 Acceso inalámbrico IP en banda ancha

En un futuro previsible, los servicios se cursarán predominantemente por redes IP. La arquitectura de red general debe por tanto evolucionar hacia una arquitectura de extremo a extremo que, en la Capa 3, sea una arquitectura IP pura. Dicha arquitectura permitirá el acceso transparente desde dispositivos móviles a todas las aplicaciones de datos accesibles a través de Internet y las redes internas de empresa. Suponiendo que haya una capacidad de sistema y las velocidades de datos adecuadas, este enfoque permitirá al mercado de comunicaciones de datos inalámbricas crecer orgánicamente al mismo ritmo que el crecimiento explosivo del comercio electrónico y el «infoentorno», cuyos servicios son actualmente de carácter alámbrico. Este enfoque elimina también la necesidad de duplicar la programación y/o de reagrupar los contenidos, es decir, que habrá únicamente una versión de las aplicaciones Internet/intranet e inalámbricas. Para que ello suceda así, una arquitectura de red ha de evolucionar hacia la transparencia IP hasta el extremo de la red y utilizar protocolos IP. La Fig. 2 ilustra la arquitectura de red necesaria, y la Fig. 3 representa las ramificaciones para las pilas de protocolos.

FIGURA 2

Ejemplo de arquitectura de red de acceso IP pura



(Radius: Servicio de usuario de marcación para autenticación a distancia)

FIGURA 3

Ejemplo de pila de protocolos de red de acceso IP pura



FA: Agente extremo
 IP: Protocolo Internet
 IPSEC: Seguridad de protocolo Internet
 LLC: Control lógico del enlace
 MAC: Control de acceso al medio
 PL: Capa física
 HA: Agente propio

2038-03

Ejemplos de los protocolos requeridos:

- 1 *Mobile IP* – Soporte de movilidad. Han de desarrollarse mejoras adicionales que permitan la itinerancia sin discontinuidad a las velocidades de los vehículos.
- 2 *RADIUS (servicio de usuario de marcación para autenticación a distancia) y AAA (Autenticación, Autorización, Contabilidad)* – Soporte de los aspectos de seguridad y contabilidad.
- 3 *SIP (Protocolo de iniciación de sesión)* – Soporte de control del servicio de extremo a extremo.

Para obtener una calidad óptima de extremo a extremo, la propia red de acceso inalámbrico ha de estar preparada para el IP. En las actuales redes de acceso inalámbrico se supone también que el tráfico de datos predominante es en gran medida asimétrico, siendo el modelo típico el de navegación por la red. Aunque ello es así en muchos casos, están surgiendo rápidamente más aplicaciones de tráfico de datos simétrico. En dichas aplicaciones se incluye la videoconferencia y las diversas aplicaciones de datos para empresas.

3.2.4.1 Resumen de la tecnología

El Cuadro 1 muestra las características distintivas entre las actuales interfaces 3G y el énfasis de una red de acceso IP. En la Norma IEEE 802.20 se está tratando actualmente dicha red de acceso inalámbrico móvil en banda ancha.

3.2.5 Sistemas radioeléctricos por fibra (RoF)**3.2.5.1 Resumen de la tecnología**

En este Informe, los sistemas radioeléctricos por fibra (RoF) se definen como sistemas que permiten la interconexión transparente de una estación de base o un elemento de red equivalente de interfaz radioeléctrica de sistema inalámbrico, con sus antenas correspondientes de transmisión y de recepción por medio de una red óptica. Las señales que se propagan por la red óptica son una réplica de las señales de la interfaz radioeléctrica de la estación transmisora de base (ETB).

La definición puede generalizarse para incluir no uno, sino varios repetidores de ETB si están alojados en la misma sala y comparten una infraestructura básica común, es decir, la energía, el aire acondicionado, etc.

En el Anexo 10 se describen dichos sistemas RoF.

CUADRO 1

Sujeto	Red de acceso IP en banda ancha	3G
Usuario final	Movilidad total, usuario de datos de gran caudal Servicios de datos asimétricos o simétricos Los dispositivos de usuario final son inicialmente computadores personales Dispositivos de datos habilitados por tarjeta Soporte pleno de latencia reducida	Usuario vocal que requiere servicios de datos Servicios de datos muy asimétricos Los dispositivos de usuario final son inicialmente aparatos de mano actuados por los datos Sigue de actualidad el soporte de servicios con latencia reducida
Proveedor de servicio	Proveedor de servicio inalámbrico de datos – Nueva iniciativa o evolución de un operador celular Capacidad de movilidad e itinerancia a nivel mundial	Proveedor de servicio vocal celular que evoluciona a servicio de datos Capacidad de movilidad e itinerancia a nivel mundial
Tecnología	Nueva optimización capa física y del MAC para datos por paquetes y antenas adaptables Bandas con licencia por debajo de 3,5 GHz Arquitectura orientada a paquetes División en canales y control para servicios multimedia móviles. Tecnología basada en IP móvil Enlaces de datos ascendentes y descendentes de gran eficacia Arquitectura de datos de latencia reducida	Véase la Recomendación UIT-R M.1457 Bandas con licencia por debajo de 2,7 GHz Arquitectura orientada a circuitos – evolución hacia paquetes en el enlace descendente División en canales y optimización del control para servicios vocales móviles. Fundamentos MAP/SS7 Enlaces descendentes de datos de eficacia media y enlaces ascendentes de eficacia reducida La latencia continúa presente

3.2.5.2 Ventajas de la tecnología

Los sistemas RoF son aplicables cuando la distancia entre la ETB y las antenas es tan grande que no resulta práctico conectarlas mediante cable coaxial, incluso utilizando repetidores en la línea. La fibra óptica ofrece pérdidas de señalización muy reducidas que permiten distancias de cable de fibra sin repetidores de hasta varios kilómetros y una anchura de banda enorme: pueden transportarse muchas señales de RF distintas por una sola fibra. Los sistemas RoF utilizan señales con modulación analógica simple u ondas sencillas sin modulación y modulación de la señal de RF. Los canales de la señal de RF pueden insertarse o extraerse mediante circuitos optoelectrónicos adecuados. Los sistemas RoF son también inmunes a la interferencia electromagnética y a los problemas de masa; la sección transversal de la fibra es muy reducida, lo que permite agrupar varias docenas de fibras en un único cable óptico; dicho cable óptico es robusto y puede alojarse en conductos, ir colgado de postes o directamente enterrado; con un pequeño costo adicional puede ir dotado de una cobertura metálica de protección contra roedores.

En escenarios de comunicaciones microcelulares en que cohabitan distintos sistemas inalámbricos, la técnica RoF permite utilizar el procesamiento centralizado, es decir, situando las cabeceras de RF

del sistema próximas a las antenas y alojando el equipo de procesamiento de los sistemas inalámbricos en una sala centralizada, generalmente en condiciones medioambientales controladas. Dependiendo del escenario de despliegue, el procesamiento centralizado puede aportar los beneficios indicados a continuación. Permite efectuar un despliegue denso de repetidores en entornos urbanos, disminuye el número de las instalaciones necesarias de alojamiento en tejados de edificios, reduce la necesidad de amplificadores de gran potencia de RF onerosos y mejora la distribución espacial de la capacidad de la ETB.

Estas ventajas, aunque son aplicables a todos los sistemas inalámbricos, son especialmente significativas en las redes celulares de los sistemas IMT-2000 y posteriores por los motivos siguientes:

- Las bandas de frecuencia de las IMT-2000 son superiores a las que se asignaron a los sistemas 2G. De forma similar, es razonable esperar que las bandas de frecuencias de los sistemas posteriores a las IMT-2000 sean superiores a las que se asignaron a los 2G, con las correspondientemente superiores pérdidas de propagación. Ello haría más difícil ofrecer la cobertura adecuada con macrocélulas únicamente, por lo que los sistemas IMT-2000 y posteriores tenderán hacia un despliegue más amplio de microcélulas.
- Dada su capacidad superior comparada con la de los 2G, los sistemas IMT-2000 y los posteriores a éstos pueden exigir un gran número de células para dar cobertura a una zona geográfica determinada. Como cada vez es más difícil instalar nuevos emplazamientos, las soluciones del tipo RoF permiten concentrar el equipo ETB para simplificar el despliegue de la red radioeléctrica.
- En comparación con los sistemas 2G, la capacidad de las IMT-2000 y sistemas posteriores con portadoras más elevadas es bastante amplia. Ello actúa en favor de las soluciones de cobertura, del tipo RoF, que permiten reconfigurar la distribución radioeléctrica espacial de la capacidad de la portadora para una zona de cobertura o un volumen de cobertura específicos.

3.2.5.3 Temas que han de considerarse

Cuando se utiliza un sistema RoF para radiar la misma portadora o portadoras desde distintas antenas, no se requiere el traspaso entre células correspondientes a la misma ETB. No obstante, puede producirse cierta interferencia en la zona de superposición entre células, debido al encaminamiento multitrayecto a través de las distintas antenas.

Cuando un sistema RoF tiene antenas muy separadas de la ETB, la precisión espacial de todo sistema de localización basado en el sistema inalámbrico no puede ser mejor que la distancia entre la antena y la ETB. Esto puede reducir la precisión de todo sistema de localización basado en las IMT-2000, cuya precisión puede ser algunas decenas de metros si utiliza procedimientos basados en el tiempo diferencial de llegada para determinar la precisión relativa de terminales móviles respecto a distintas ETB.

Además, dispositivos claves tales como el modulado óptico y el amplificador de bajo nivel de ruido (ABR) se desarrollarán más adelante.

3.2.6 Redes radioeléctricas multisalto

3.2.6.1 Resumen

Las redes radioeléctricas multisalto son redes de comunicación radioeléctrica móvil caracterizadas por la existencia de nodos radioeléctricos (puntos de extensión) que ofrecen capacidades de retransmisión. Estos nodos radioeléctricos pueden ser terminales móviles con funcionalidad especial de retransmisión («redes multisalto ad hoc») o puntos de extensión con instalación fija que funcionan exclusivamente como retransmisores («redes multisalto estructuradas»).

CUADRO 2

Redes multsalto ad hoc	Redes multsalto estructuras
<ul style="list-style-type: none"> – No hay infraestructura fija adicional instalada – La cobertura depende de la existencia de nuevos terminales móviles de retransmisión en la zona y no puede planificarse fiablemente – Pueden ofrecer interconectividad entre terminales móviles en la zona y también a puntos de acceso – Los terminales móviles deben aportar algún tipo de funcionalidad de red 	<ul style="list-style-type: none"> – Los puntos de extensión van instalados como infraestructura adicional – La ampliación de la cobertura se garantiza y está planificada – Ofrecen ampliación de la conectividad a puntos de acceso y capacidad de retransmisión para la comunicación local

Las redes radioeléctricas multsalto son capaces de utilizar conexiones múltiples inalámbricas posteriores entre un terminal de usuario y una estación de base. De esta manera, otros terminales de usuario o puntos de extensión fijos mejoran la cobertura de una estación de base. Las conexiones inalámbricas múltiples posteriores pueden establecerse en un sistema homogéneo (por ejemplo, sistema celular o RLAN) o entre sistemas diferentes (por ejemplo, con algunos saltos por sistema celular y otros a través de sistemas RLAN).

3.2.6.2 Ventajas de la tecnología de red radioeléctrica multsalto

La Recomendación UIT-R M.1645 especifica un objetivo de los sistemas «posteriores a las IMT-2000»: velocidades de datos máxima útiles de 100 Mbit/s (gran movilidad) y de hasta 1 Gbit/s (baja movilidad). Dichas velocidades de datos exigen grandes anchuras de banda de portadora que probablemente sólo puedan estar disponibles por encima de 3 GHz. Las grandes anchuras de banda de transmisión y las bandas de frecuencias utilizadas por encima de 3 GHz se traducirán en alcances radioeléctricos que serán aproximadamente de un orden inferior al de los sistemas IMT-2000.

Este pequeño alcance tiene repercusiones en la cobertura y en la capacidad:

- En las redes radioeléctricas convencionales de un solo salto, las células de tamaño pequeño exigirán los correspondientes números elevados de estaciones de base para lograr una cobertura ubicua. Ello hará aumentar los costos de infraestructura.
- Los pequeños radios de célula y las elevadas velocidades de datos por célula dan lugar a capacidades de tráfico por zona muy elevadas. Esta capacidad de tráfico ofrecida rebasará muy probablemente de forma considerable el promedio de la demanda de tráfico por zona. Ello da lugar a despliegues de red antieconómicos

La tecnología de red radioeléctrica multsalto ofrece los medios para ampliar la cobertura de cada estación de base y permite adaptar el tamaño de la red radioeléctrica para adaptarse a la capacidad de tráfico ofrecido y a la capacidad de tráfico demandado. Por tanto, esta tecnología potencia un despliegue rápido de la red inalámbrica con un costo reducido.

3.2.7 Estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS)

Las HAPS son estaciones emplazadas en un objeto situado a una altitud de 20 a 50 km y en un punto especificado, nominal y fijo respecto a la Tierra. En las Regiones 1 y 3, las bandas 1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz y 2 110-2 170 MHz, y en la Región 2, las bandas 1 885-1 980 MHz y 2 110-2 160 MHz pueden ser utilizadas por las HAPS como estaciones de base para implementar las IMT-2000.

Una realización propuesta de plataforma HAPS puede constar de un recipiente de múltiples capas, robusto y ligero con helio en su interior como sustentador, un sistema de mantenimiento en posición

compuesto de un GPS y un sistema de propulsión avanzado, una carga útil de telecomunicaciones, paneles solares de película fina de silicio amorfo para la potencia diurna y células de combustible regenerativas para la potencia nocturna. Las tecnologías que la hacen posible son células de solares de gran eficacia y células de combustible, ambas ligeras y durables, sellados de fibra ultradelgada de gran resistencia y helio impermeable, técnicas de control y gestión de la temperatura y la presión y sistemas avanzados de antenas en fase junto a tecnologías MMIC (circuitos integrados monolíticos de microondas).

Una HAPS se diseña para una vida útil de cinco a diez años. El servicio posterior está limitado por la degradación gradual de las células solares y de combustible, la fatiga estructural y la descomposición de los módulos de almacenamiento de gas. Los avances actuales en los materiales de gran resistencia, ligeros y resistentes a los rayos ultravioletas, en las células de combustible y solares, y en los dispositivos semiconductores compactos a gran velocidad alargarán probablemente la vida de la segunda generación de HAPS.

Un sistema terrenal IMT-2000 que utilice HAPS consta de equipos de comunicaciones en una o más HAPS situadas por medio de tecnologías de mantenimiento en posición en puntos fijos nominales en la estratosfera (a unos 20 km de altitud), una o más estaciones de conmutación/control en el suelo y un gran número de terminales de acceso de abonado fijos o móviles. El sistema utiliza tecnologías de transmisión radioeléctrica (RTT) que satisfacen los requisitos de las IMT-2000 para ofrecer una capacidad de comunicaciones de gran densidad y gran velocidad a estaciones fijas y móviles. La arquitectura HAPS es un concepto que se asemeja mucho al de una torre terrenal muy elevada distribuida en sectores para cientos de células.

La carga útil de telecomunicaciones de la HAPS consta de un reflector multihaz ligero o un sistema de antenas en fase, antenas de transmisión y recepción para los enlaces de pasarela con las estaciones de conmutación en el suelo y un gran banco de procesadores que se ocupa de las funciones de recepción, multiplexación, conmutación y transmisión. La carga útil puede utilizar varias técnicas y normas de acceso múltiple (por ejemplo, AMDT, AMDC) que cumplan los requisitos IMT-2000. La carga útil de telecomunicaciones HAPS puede diseñarse para dar servicio como estación única en una infraestructura autónoma (sustituyendo fundamentalmente a la red de torres de estaciones de base por una «red de estaciones de base en el cielo») o puede integrarse en un sistema que emplee torres tradicionales de estación de base terrenal, satélites y HAPS.

Un sistema HAPS dará cobertura celular móvil y servicios inalámbricos fijos a varias regiones que van desde una zona (urbana) de gran densidad a zonas (rurales) de pequeña densidad. Las antenas de elevada ganancia en transmisión y recepción que utilizan las HAPS iluminan a un gran número de células en el suelo, en un esquema similar al creado por un sistema celular tradicional. La cobertura celular de las HAPS incluirá probablemente tres regiones:

- urbana de gran densidad
- suburbana de densidad moderada
- baja densidad.

El sistema reasigna dinámicamente la capacidad entre las células en cada minuto, a fin de enfocar la capacidad hacia donde es más necesaria en todo momento. Por ejemplo, la HAPS puede dirigir capacidad adicional hacia el tráfico automóvil durante las horas punta y posteriormente desviarla hacia un estadio durante un acontecimiento o espectáculo deportivo. Ello otorga a las HAPS una mayor flexibilidad que la de los sistemas tradicionales y puede utilizarse junto con los sistemas terrenales tradicionales o en coordinación con ellos para prevenir las sobrecargas del sistema en puntos calientes.

Todo lo anterior describe un enfoque de sistema HAPS. También son factibles otros enfoques de realización alternativos.

3.3 Terminales móviles

3.3.1 Arquitectura del terminal

Desde la perspectiva del usuario, las IMT-2000 y sistemas posteriores representan un cambio fundamental de expectativas. Más que meramente la expectativa de una «nueva y mejorada» pero «estática» colección de aplicaciones y servicios, el usuario esperará una corriente dinámica y continua de nuevas aplicaciones, capacidades y servicios, un avance a ritmo de «Ley de Moore» de nuevas aplicaciones y posibilidades.

Dicha corriente continua procederá de un saludable ecosistema de plataformas programables multiuso apoyadas por una grande, robusta y vibrante comunidad de diseñadores.

En el nuevo equipo de usuario móvil (UE) se suponen características de las plataformas programables multiuso que:

- Contendrán procesadores de gran potencia de uso general que responderán a la Ley de Moore para una relación precio/calidad de gran crecimiento.
- Ofrecerán una plataforma flexible y programable que pueda utilizarse para una variedad de usos constantemente creciente.

La convergencia de la conectividad inalámbrica y de una plataforma programable multifunción reaviva ciertas inquietudes actuales y plantea otras nuevas, de forma que los factores medioambientales, así como la tecnología y los estímulos del mercado tradicionales influirán en la arquitectura de estos dispositivos.

Algunos factores medioambientales importantes son los económicos, los de seguridad y los de privacidad.

Junto a los factores medioambientales, están los estímulos tradicionales del mercado y la tecnología: el factor del valor para el usuario, el factor de los requisitos de seguridad y los habilitadores de la tecnología.

Para mantener la integridad de la red y del espacio de usuario, el soporte lógico de comunicaciones estará «desacoplado» y se ejecutará en paralelo con las aplicaciones de usuario elaboradas para un procesador multifunción que actuará en un entorno de ejecución multiuso. Este reparto maximiza la viabilidad económica, permitiendo al desarrollo de aplicaciones evolucionar independientemente de las normas de comunicación, al tiempo que mejora la seguridad aportando espacios autónomos a la red y al usuario.

La creación de una autonomía en coexistencia para el subsistema radioeléctrico, el subsistema de aplicación y las partes de los subsistemas de memoria significa una evolución como forma de resolver los requisitos medioambientales triples de habilitar productos y servicios económicamente viables, al tiempo que se mantienen la seguridad de la red y las empresas y la soberanía del usuario sobre el espacio de aplicación y la privacidad de los datos. Expresándolo como anécdota, «una buena valla crea buenos vecinos».

3.3.2 Sistemas microelectromecánicos (MEMS) de RF

Los futuros sistemas de comunicaciones personales tendrán que ser muy ligeros, de consumo energético reducido y de pequeño tamaño. Los requisitos del terminal IMT-2000 tales como los de tamaño reducido, bandas multifrecuencia, multimodo y complejidad funcional exigen la utilización de pasos de entrada de RF muy integrados y un sistema compacto basado en microcircuitos. A pesar de muchos años de investigación, los componentes pasivos discretos utilizados ampliamente basados en soluciones electrónicas no pueden satisfacer fácilmente los requisitos anteriores del terminal futuro IMT-2000.

Los MEMS de RF son microdispositivos (o sistemas) integrados que combinan componentes electrónicos y mecánicos fabricados utilizando una técnica de procesamiento por lotes compatible con los circuitos integrados. Con esta tecnología se puede obtener un tamaño pequeño, peso ligero, bajo consumo y gran calidad para sustituir a los componentes discretos pasivos de RF tales como los VCO, los pasos de FI, los filtros de RF y el diplexor. El sistema en microcircuito que utilice esta tecnología puede reducir en 1/10 el tamaño real de implementación.

Como los usuarios de los futuros sistemas de comunicación inalámbrica empujan continuamente a los fabricantes de terminales de mano a añadir más funcionalidades, dichos fabricantes se enfrentan a compromisos entre costo, tamaño, potencia y restricciones de empaquetado. Se prevé que los MEMS de RF surjan como una tecnología innovadora para satisfacer estas restricciones de los terminales futuros. La comercialización de los MEMS de RF para los terminales futuros se producirá en los próximos cinco años.

3.3.3 Nuevas interfaces de usuario innovadoras

La forma en que el usuario percibe la nueva tecnología de telecomunicaciones depende de los servicios ofrecidos, pero también de la capacidad de utilización, del diseño y de la calidad de los terminales. Los dispositivos de cálculo de mano constituyen un tema de estudio generalizado en todas las universidades del mundo, que ofrecen nuevas ideas sobre interfaces hombre-máquina aplicables también a los terminales móviles.

La mensajería de texto es la aplicación de datos revolucionaria de hoy en día y una forma de comunicación muy eficaz en términos de frecuencia, comparada, por ejemplo, con una llamada telefónica. Se prevé que la mensajería multimedia sea la próxima explosión, lo que exigirá una pantalla grande. La combinación de un método práctico de entrada de texto y una pantalla suficientemente grande en un único terminal pequeño constituye un desafío.

Hasta ahora, muchas de las soluciones propuestas, por ejemplo, para la introducción de texto, no responden a normas abiertas, sino que son métodos patentados que conllevan derechos de propiedad intelectual. Los teclados físicos propuestos suelen tender a añadir facilidades y/o botones al teclado de marcación convencional, en lugar de disminuir el número de teclas, lo que debería ser por otra parte el objetivo, a fin de minimizar el espacio necesario.

Hay también una necesidad evidente de armonizar y recomendar la utilización de normas de interfaz abiertas comunes en esta materia. Por ejemplo, si un usuario se acostumbra a un tipo de teclado y se familiariza con él, se sentirá frustrado si el siguiente teléfono, la nueva versión u otra marca, ofrecen una solución de interfaz de usuario distinta o ligeramente diferente, con lo que debe iniciar de nuevo el proceso de aprendizaje.

3.3.3.1 Ejemplo de una nueva interfaz física

En el Anexo 13, a título de ejemplo, se describe un método propuesto para combinar la introducción de texto y una gran pantalla en un único terminal móvil compacto. La presentación del teclado universal optimizado para dispositivos inalámbricos pequeños (GKOS, *Global keyboard optimized for small wireless devices*) adjunto, teclado de panel trasero, demuestra que pueden hallarse tipos completamente nuevos de interfaces de usuario físicas y alienta positivamente a los fabricantes a estudiar este tema con más detalle y tal vez a perfeccionar el concepto propuesto, a fin de obtener una norma común para este tipo de solución. El concepto es una norma abierta y se publicó por primera vez el 5 de octubre de 2000. Para más información detallada sobre los GKOS, consúltese también <http://gkos.com>.

3.3.4 Procesadores, terminales y redes reconfigurables

3.3.4.1 Sinopsis de la tecnología

Como el procesamiento de los datos a nivel binario es necesario en áreas tales como el entrelazado, la corrección y detección de errores, el cifrado y la aleatorización en los sistemas de comunicación móvil, especialmente en el tratamiento digital en banda de base de los terminales móviles, así como en las estaciones de base, se requieren procesadores que puedan efectuar un procesamiento de datos a nivel binario en alta velocidad. No obstante, los procesadores multifunción tales como las CPU y los procesadores de señal digital (DSP) no son adecuados para el funcionamiento a nivel binario, por lo que se precisa un procesador incorporado y bien diseñado con unidades reconfigurables de forma que puedan ejecutarse eficazmente instrucciones definidas por el usuario. Dicho procesador tiene una unidad especial de ejecución para las instrucciones adaptadas al usuario, además de las unidades de ejecución normales, tales como la unidad de ejecución integral. La unidad de ejecución especial puede diseñarse de forma que sea adaptable al procesamiento de datos a nivel binario y se implementa con circuitos reconfigurables, porque las instrucciones específicas son diferentes de una aplicación a otra.

Tal como se muestra en el Anexo 14, un procesador reconfigurable típico tiene información de configuración que define las conexiones entre elementos del circuito en la unidad de ejecución y funciones de dichos elementos de circuito, procediendo la información de configuración de la memoria de configuración. También tiene la capacidad de ejecutar varias instrucciones específicas modificando una dirección correspondiente de la memoria de configuración. La información de configuración puede actualizarse en un ciclo de reloj, mientras que la memoria de configuración puede guardar un conjunto de informaciones de configuración. Ambas pueden volver a escribirse en tiempo real, lo que permite a los usuarios definir instrucciones distintas de las predefinidas. En un prototipo habitual, como el que se representa en el Anexo 14, la información de configuración tiene una longitud de 256 bits, la memoria de configuración puede guardar 32 conjuntos de información de configuración, y el tamaño del circuito reconfigurable es de unas 50 K puertas, incluyendo una memoria de configuración que ocupa un porcentaje del tamaño total del procesador. Esta tecnología también es aplicable a las estaciones de base.

3.3.4.2 Ventajas de la tecnología

Como este tipo de procesador tiene una unidad reconfigurable que puede tratar múltiples tipos de procesos de datos a nivel binario, puede servir para diversas aplicaciones de sistemas de comunicación móvil con funcionamiento eficaz. Por ejemplo, la calidad del procesador con unidad reconfigurable para el procesamiento de un algoritmo norma de cifrado de datos (DES) es más de seis veces superior al de un procesador sin unidad reconfigurable. El procesador también puede aplicarse a sistemas de comunicación inalámbrica, por ejemplo, a los de procesamiento en banda de base digital de corto alcance tales como los de corrección de errores directa (FEC), verificación por redundancia cíclica (VRC) o a la aleatorización con velocidades algunas veces superiores a las de los procesadores convencionales.

3.3.4.3 Temas que han de considerarse

La unidad reconfigurable se diseña para el procesamiento de datos a nivel binario y es adecuada para diversas tareas de este tipo de procesamiento. Es aplicable a ciertos procesamientos necesarios en los sistemas de comunicación inalámbrica. Por otro lado, ha de considerarse otro tipo de procesamiento en banda de base digital que trata los datos a nivel de bytes o de palabra (nivel no

binario). Para esos tipos de procesamiento de datos, especialmente los de los sistemas IMT-2000 mejorados o los posteriores, puede ser necesario ampliar la unidad reconfigurable o adoptar un tipo distinto de ésta. Este enfoque puede dar lugar a una implementación inevitable de dispositivos de silicio a gran escala y de ahí, ha de considerarse seriamente la eficacia general, el tamaño de la puerta, el consumo de energía y la aplicabilidad.

4 Conclusiones

Este Informe ofrece información útil de algunos habilitadores de tecnología previstos, tales como las tecnologías basadas en la dispersión del IP, el aumento de la potencia de procesamiento de la señal con semiconductores y la ampliación de la capacidad de transporte de las redes. Estos habilitadores tecnológicos proceden de diferentes áreas, tales como las nuevas tecnologías radioeléctricas que repercuten en la utilización del espectro, la red de acceso y las interfaces radioeléctricas, los terminales móviles y las tecnologías relacionadas con el sistema.

Se prevé que estas tecnologías sean examinadas en la investigación y desarrollo, si bien no serán necesariamente utilizadas en el desarrollo futuro de las IMT-2000 y sistemas posteriores. Aunque el Informe no ofrece una lista completa de las posibles tecnologías para el desarrollo futuro de las IMT-2000 y sistemas posteriores, debe señalarse que también se tendrán en cuenta otras tecnologías de aparición reciente que no se han tratado en el presente Informe.

5 Terminología y abreviaturas

El Cuadro 3 ofrece una explicación de la terminología utilizada para las tecnologías de las IMT-2000 terrenales actuales y mejoradas y puede ser útil para comprender los antecedentes de algunos de los temas que se presentan en este Informe.

CUADRO 3

Interfaces radioeléctricas terrenales IMT-2000

Nombre completo	Nombres habituales
IMT-2000 AMDC con dispersión directa (IMT-2000 CDMA Direct Spread)	UTRA DDF AMDC-W (WCDMA) UMTS
IMT-2000 AMDC multiportadora (IMT-2000 CDMA)	AMDC2000 (CDMA 2000) 1X y 3X AMDC2000 1xEV-DO AMDC2000 1xEV-DV
IMT-2000 AMDC DDT (código de tiempo) (IMT-2000 CDMA TDD)	UTRA DDT (UTRA TDD) de 3,84 Mchip/s gran velocidad de chip/s UTRA DDT (UTRA TDD de 1,28 Mchip/s velocidad de chip/s reducida (TD-AMDCS) (TD-SCDMA) UMTS
IMT-2000 AMDT portadora única (IMT-2000 TDMA)	UWC-136 EDGE
IMT-2000 AMDF/AMDT (IMT-2000 FDMA/TDMA) (frecuencia-tiempo)	DECT

También puede ser útil la lista siguiente de abreviaturas y sus significados.

AA	Antenas adaptables (<i>adaptive antennas</i>)
AAA	Autenticación, autorización, contabilidad
ALU	Unidad aritmética y lógica (<i>arithmetic-and-logic unit</i>)
AMC	Modulación y codificación adaptables (<i>adaptive modulation and coding</i>)
API	Interfaz de programación de aplicaciones (<i>application programming interface</i>)
ARPU	Ingreso medio por usuario (<i>average revenue per user</i>)
BAC	Componente de acceso básico (<i>basic access component</i>)
BAN	Red de acceso básico (<i>basic access network</i>)
BASM	Gestor de señalización de acceso básico (<i>basic access signalling manager</i>)
BMM	Módulo de gestión de anchura de banda (<i>bandwidth management module</i>)
BSI	Interfaz de estación de base (<i>base station interface</i>)
CCN	Red medular común (<i>common core network</i>)
C/I	Relación portadora/interferencia
CMM	Módulo de gestión de configuración (<i>configuration management module</i>)
C/N	Relación portadora/ruido
CoMM	Comprobación en modo cooperativo (<i>cooperative mode monitoring</i>)
CSI	Información del estado del canal (<i>channel status information</i>)
CU	Unidad central (<i>central unit</i>)
DDF	Dúplex por división de frecuencia
DDT	Dúplex por división en el tiempo
DES	Norma de cifrado de datos (<i>data encryption standard</i>)
EB	Estación de base
FEC	Corrección de errores directa
GKOS	Teclado universal optimizado para dispositivos inalámbricos pequeños (<i>global keyboard optimized for small wireless devices</i>)
HAPS	Estación en plataforma a gran altitud
H-ARQ	ARQ híbrida (<i>hybrid ARQ</i>)
HDRPN	Nodos de paquetes de gran velocidad de datos (<i>high data rate packet nodes</i>)
HRM	Gestor de reconfiguración propio (<i>home reconfiguration manager</i>)
IMSI	Identidad del abonado móvil internacional (<i>international mobile subscriber identity</i>)
IP	Protocolo Internet (<i>Internet Protocol</i>)
LMM	Gestión de movilidad local (<i>local mobility management</i>)
LOC	Componente de localizador (<i>locator component</i>)
LRM	Gestor de recurso local (<i>local resource manager</i>)
MCS	Esquema de modulación y codificación (<i>modulation and coding scheme</i>)

MEMS	Sistemas microelectromecánicos (<i>micro-electro-mechanical systems</i>)
MIMM	Módulo de identificación y comprobación de modo (<i>mode identification & monitoring module</i>)
MIMO	Múltiple-entrada múltiple-salida (<i>multiple-input multiple-output</i>)
MNSM	Módulo de negociación y conmutación de modos (<i>mode negotiation and switching module</i>)
MUT	Terminal de usuario multiservicio (<i>multiservice user terminal</i>)
NI	Interfaz de red (<i>network interface</i>)
PAN	Red de área personal (<i>personal area network</i>)
PDA	Agenda digital personal (<i>personal digital assistant</i>)
PRM	Gestor de reconfiguración alternativo (<i>proxy reconfiguration manager</i>)
RAN	Red de acceso radioeléctrico (<i>radio access network</i>)
RAT	Tecnología de acceso radioeléctrico (<i>radio access technology</i>)
RAU	Unidades de antena distantes (<i>remote antenna units</i>)
RHAL	Capa de abstracción de equipo radioeléctrico (<i>radio hardware abstraction layer</i>)
RoF	Radiocomunicación por fibra (<i>radio on fibre</i>)
RRM	Gestión del recurso radioeléctrico (<i>radio resource management</i>)
RSSI	Indicación de intensidad de la señal recibida (<i>received signal strength indication</i>)
SDP	Protocolo de descripción de sesión (<i>session description protocol</i>)
SDR	Equipo de radiocomunicaciones definido por soporte lógico (<i>software defined radio</i>)
SDRC	Descarga de soporte lógico y controlador de reconfiguración (<i>software download and reconfiguration controller</i>)
SDR-CF	Capa de marco medular SDR (<i>SDR core framework layer</i>)
SHO	Traspaso flexible (<i>soft hand-off</i>)
SIP	Protocolo de inicio de sesión (<i>session initiation protocol</i>)
S/N	Relación señal/ruido
SPRE	Descarga de soporte lógico y depósito de perfiles (<i>software download and profile repository</i>)
SRM	Gestor de reconfiguración de servicio (<i>servicing reconfiguration manager</i>)
SWD	Diversidad de conmutación (<i>switched diversity</i>)
TRSA	Zona de servicio de reconfiguración de terminal (<i>terminal reconfiguration serving area</i>)
UE	Equipo de usuario (<i>user equipment</i>)
UWB	Ultrabanda ancha (<i>ultra-wideband</i>)
VRC	Verificación por redundancia cíclica
WAP	Protocolo de aplicación inalámbrica (<i>wireless application protocol</i>)

Anexo 1

Tecnologías para mejorar la eficacia en cuanto a anchura de banda

1 Sistemas concentrados

1.1 Introducción

En entornos peatonales y de interiores, habrá fluctuaciones intensas de las demandas de tráfico, gran movilidad de usuarios y distintos tipos de tráfico. Este entorno de gran complejidad exigirá algoritmos avanzados de RRM. Será provechoso contar con una unidad inteligente central que pueda maximizar la utilización de los recursos.

Un sistema concentrado consta de un número limitado de RAU que se conectan a una entidad funcional denominada unidad central (CU). Toda la inteligencia, así como partes significativas del procesamiento de la señal se sitúan en la CU. Las RAU son unidades simples de antena capaces de transmitir y recibir señales de usuario. La centralización local al nivel de la CU permite utilizar algoritmos subóptimos para la gestión de recursos, ya que la CU conoce completamente todos los recursos atribuidos en todo momento. Ello da lugar a una utilización muy eficaz de los recursos en el sistema concentrado. Además, dicho sistema puede mejorarse para que la RAN pueda detectar cambios, adoptar decisiones inteligentes e incrementar las acciones adecuadas, minimizando o maximizando el efecto de los cambios.

Como los sistemas posteriores a las IMT-2000 suponen una deriva importante desde los servicios vocales a los de datos de gran velocidad, es necesario aumentar la capacidad del sistema. Los sistemas concentrados son muy adecuados para las aplicaciones de punto caliente. La cobertura de los sistemas concentrados puede ampliarse fácilmente y tiene cualquier forma geométrica deseada. La tendencia hacia células más pequeñas hará también que el proceso de planificación de las RAN sea intrínsecamente más difícil y oneroso. El sistema concentrado puede cohabitar con las microcélulas preexistentes y cooperar con otros sistemas concentrados cuando se organiza la red inalámbrica. Han de abordarse los temas de diseño de la arquitectura RAN y de los algoritmos RRM para los sistemas concentrados.

1.2 Características del sistema

Se describen las características y ventajas de los sistemas concentrados y se comparan con las de los sistemas convencionales.

– *Arquitectura centralizada localmente*

Los sistemas concentrados constan de una CU y múltiples RAU, estando dichas RAU conectadas a la CU. Como todos los transceptores están instalados en la CU, todos los recursos de canal están controlados por esta última. Así pues, los sistemas concentrados tienen una arquitectura centralizada localmente, en la que la CU controla todas las RAU. Este sistema es distinto del sistema celular convencional al contar con una o múltiples antenas en un emplazamiento de célula.

– *Estructuras jerárquicas de células de la RAN*

Los sistemas concentrados pueden considerarse como la capa de células inferior que abarca zonas de tráfico denso en una estructura de células jerárquica. Este sistema puede cohabitar con las actuales macrocélulas, así como con otros sistemas concentrados. Los sistemas concentrados son adecuados para los servicios de datos de gran velocidad en zonas urbanas y de interiores.

– *Distribución dinámica de la carga*

Los sistemas concentrados pueden dispersar la carga del sistema que se concentra en pequeñas regiones. Cuando la carga de tráfico se concentra en una de las RAU, la CU mantiene la calidad del servicio atribuyendo más recursos de canal a dicha RAU.

– *Gestión dinámica de recursos radioeléctricos*

Los sistemas concentrados pueden gestionar dinámicamente los recursos de canales, pues la CU puede sincronizar todas las RAU. Al contar con transceptores en la CU, ésta puede controlar todos los recursos de canal. El préstamo de recursos de canal entre diversas RAU puede controlarse fácilmente, efectuando la RRM de forma dinámica y adaptable, en un entorno en que se produzcan grandes cambios de tráfico.

– *Control adaptable de la cobertura*

En los sistemas concentrados, la cobertura puede ampliarse fácilmente y puede planificarse la red de la forma prevista. Ello se logra desplegando RAU adicionales cuando se necesita ampliar la cobertura. Además, pueden resolverse problemas de punto muerto instalando otras RAU de forma flexible, conforme a las circunstancias de la red radioeléctrica.

1.3 Algoritmo necesario de control del sistema

A continuación se presentan algoritmos para el funcionamiento y la fabricación de los sistemas concentrados. Hay dos tipos de algoritmo, siendo uno de ellos para el control en la concentración (es decir intra-concentración) y el otro para el control entre concentraciones adyacentes (es decir, inter-concentración).

– *Intra-concentración*

– *Multidifusión dinámica*

Se utiliza un esquema de multidifusión dinámica para mejorar la calidad del sistema. Puede aplicarse un esquema de selección de RAU como técnica dinámica de multidifusión. Con el esquema seleccionado, se reduce la interferencia transmitiendo la señal por ciertas RAU seleccionadas. Así pues, se necesita un algoritmo optimizado de selección.

– *Control adaptable de la cobertura de la RAU*

El control de la cobertura puede dispersar una carga de tráfico intensa de una RAU a otra. Ello evita la degradación de la calidad de servicio y puede ofrecerse un servicio de datos a gran velocidad en forma sencilla. Debe medirse la carga de tráfico en cada RAU y se necesita un algoritmo para ajustar la cobertura de la RAU conforme a la variación de la carga.

– *Traspaso entre diversas RAU de una concentración*

Cuando un usuario se traslada a una RAU adyacente del sistema con multidifusión dinámica, es preciso el traspaso entre las dos RAU. No se requiere el traspaso en un sistema sin multidifusión dinámica, es decir, cuando la señal de usuario se distribuye en una concentración. La RAU de servicio debe conmutarse a otra si sólo se selecciona en todo momento una RAU para la transmisión. Si la señal se transmite por múltiples RAU, debe actualizarse un grupo de las RAU seleccionadas.

- Técnicas de macrodiversidad

Entre múltiples RAU y un terminal móvil se generan varios multitrayectos de la propagación radioeléctrica. Puede utilizarse la diversidad de trayectos, porque las señales se reciben por trayectos distintos de diferentes RAU. En este caso se precisa un algoritmo que combine las señales recibidas para obtener una ganancia de macrodiversidad.

- Tecnología de radiocomunicación por fibra (RoF) para enlaces entre las RAU y la CU.

Se precisan tecnologías de radiocomunicación por fibra para transferir señales entre las RAU y la CU. Pueden utilizarse tecnologías RoF para un esquema de transmisión en el que las señales radioeléctricas modulen la señal óptica. Todas las RAU y la CU precisarán dispositivos y un algoritmo para la conversión satisfactoria de señales moduladas ópticas en señales modulas radioeléctricas.

- *Inter-concentración*

- Asignación dinámica de recursos

La asignación dinámica de recursos puede utilizar de forma eficaz los recursos radioeléctricos. Los esquemas de asignación dinámica de recursos, tales como la atribución dinámica de frecuencias y el control de potencia, pueden reducir la interferencia entre concentraciones y mejorar la calidad del sistema. El estado de la red debe medirse continuamente para gestionar de forma dinámica los recursos.

- Control adaptable de la cobertura de la concentración

El control de la cobertura puede dispersar cargas de tráfico intensas entre concentraciones. La dispersión de la carga mediante el control de la cobertura permite la prestación de servicios de datos a gran velocidad. Así pues, al igual que en el control de la cobertura de la RAU, es preciso también disponer de un algoritmo de control de la cobertura conforme a la variación de la carga.

- Traspaso entre concentraciones y entre las concentraciones y las macroestaciones de base

El traspaso entre concentraciones se necesita cuando un usuario pasa a través de concentraciones controladas por diferentes CU. Cuando un usuario se traslada de una zona de servicio de concentración a una zona de macroestación de base, se requiere también un traspaso entre las distintas capas del sistema.

1.4 Análisis ilustrativo de la capacidad de los sistemas concentrados

En este punto se evalúa la capacidad de los sistemas concentrados aplicando la tecnología a las redes de acceso radioeléctrico AMDC. La mayoría de los estudios sobre sistemas concentrados se han enfocado hacia la mejora de la eficacia de la agrupación en sistemas con anchura de banda limitada (por ejemplo, los sistemas AMDF o AMDT) [Ariyavisitakul y otros, 1996]. Otra ventaja de los sistemas concentrados es la reducción de las pérdidas del trayecto entre el terminal y las RAU, lo que da lugar a una mejora de la capacidad en los sistemas limitados por la interferencia, tales como las redes AMDC. Al aplicar los sistemas concentrados a las redes de acceso radioeléctrico AMDC, puede disminuir la potencia de interferencia en el enlace ascendente, aumentando la capacidad [Spilling y otros, 1999]. La siguiente generación de sistemas exige una utilización eficaz del recurso radioeléctrico en el enlace descendente más que en el ascendente, debido a la asimetría del tráfico. En este punto se obtiene y presenta la mejora de la capacidad en el enlace descendente de los sistemas concentrados respecto a la de los sistemas celulares convencionales.

En los sistemas concentrados, la relación E_b/N_0 recibida puede también representarse de la siguiente manera:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{i,j} = \sum_{k=0}^{\text{Número de RAU}} \left(\frac{P_{i,(k,j)}/L(d_{i,(k,j)})}{I_{sc,sr} + I_{sc,or} + I_{oc} + NoW} \cdot \frac{W}{R_i} \right) \quad (2)$$

donde:

- i : índice del terminal
- k : índice de la RAU
- j : índice de la CU
- $P_{i,(k,j)}$: potencia atribuida al terminal i ésimo en la RAU k ésima de la CU j ésima
- $P_{(k,j)}$: potencia total de transmisión de la RAU k ésima de la CU j ésima
- $L(d_{i,(k,j)})$: pérdidas del trayecto entre el terminal i ésimo y la RAU k ésima de la CU j ésima (incluyendo la ganancia de antena)

$I_{sc,sr} = (1 - \rho_{sr}) (P_{(k,j)} - P_{i,(k,j)})/L(d_{i,(k,j)})$: nivel de interferencia procedente de la misma RAU de una concentración

$I_{sc,or} = (1 - \rho_{or}) \sum_{t \neq k}^{\text{Número de RAU}} P_{(t,j)}/L(d_{i,(t,j)})$: nivel de interferencia procedente de RAU distintas de una concentración.

En los sistemas concentrados puede aplicarse el esquema de combinación de relación máxima que utilice macro diversidad entre las RAU para mejorar la E_b/N_0 recibida. En la ecuación anterior se supone una combinación ideal de relación máxima.

En el sistema celular convencional, la interferencia recibida puede dividirse en la misma célula y la interferencia de otra célula, tal como se representa en la ecuación (1). En los sistemas concentrados, la misma interferencia puede considerarse como la suma de dos interferencias distintas. Una es un nivel de interferencia recibido de la misma RAU de una concentración, es decir, $I_{sc,sr}$, y la otra es un nivel de interferencia recibida de distintas RAU de una concentración, es decir, $I_{sc,or}$. Las señales recibidas de RAU distintas por otros trayectos pueden ser menos ortogonales respecto a las señales deseadas que las que proceden de la misma RAU. Esta reducción de la ortogonalidad se considera en la ecuación (2).

Se define la interrupción como suceso en que la EB (o la RAU en los sistemas concentrados) tiene una potencia insuficiente para mantener la E_b/N_0 recibida al nivel requerido. Así pues, la probabilidad de interrupción puede definirse de la siguiente manera:

$$P_{outage} = P \left(\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i < \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req} \mid P_{TX} \geq \text{Potencia de transmisión máxima de la EB o de la RAU} \right) \quad (3)$$

1.4.2 Resultados

Se ha elaborado una simulación por computador para evaluar la calidad. Se selecciona un sistema DDF W-CDMA como modelo de sistema. En el Cuadro 4 se enumeran los parámetros del sistema y los valores por defecto fijados para el análisis.

Los sistemas concentrados tienen una CU y 7 RAU. Cada RAU está situada a 2/3 del radio respecto al centro. El modelo de simulación de Monte Carlo es de dos tercios y se recopilan datos estadísticos de la célula central. La potencia máxima de transmisión de la EB es 20 W en los

sistemas concentrados y en el sistema convencional. A continuación se considera que cada RAU de los sistemas concentrados tiene una limitación de potencia de transmisión de 20/7 W.

CUADRO 4

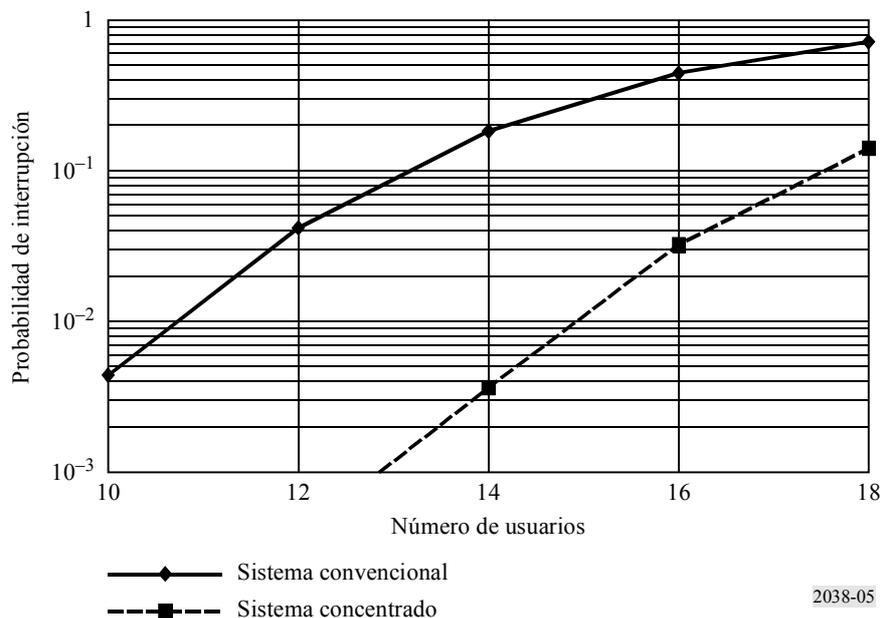
Parámetros del sistema aplicados

Parámetro	Valor
Radio de la célula	1 km
Velocidad de segmentos	3,84 Mchip/s
Obstrucción	8 dB
Relación de potencia de canal suplementario	0,15
Ganancia de antena	15 dBi
Velocidad de datos	64 kbit/s
E_b/N_0 requerida en el enlace descendente	5,4 dB
Distribución de usuario	Distribución uniforme
Ortogonalidad en una RAU	0,6
Ortogonalidad entre distintas RAU	0,3
Potencia del transmisor de la célula	20 W (43 dBm)
Control de potencia	Perfecto

1.4.2.1 Probabilidad de interrupción

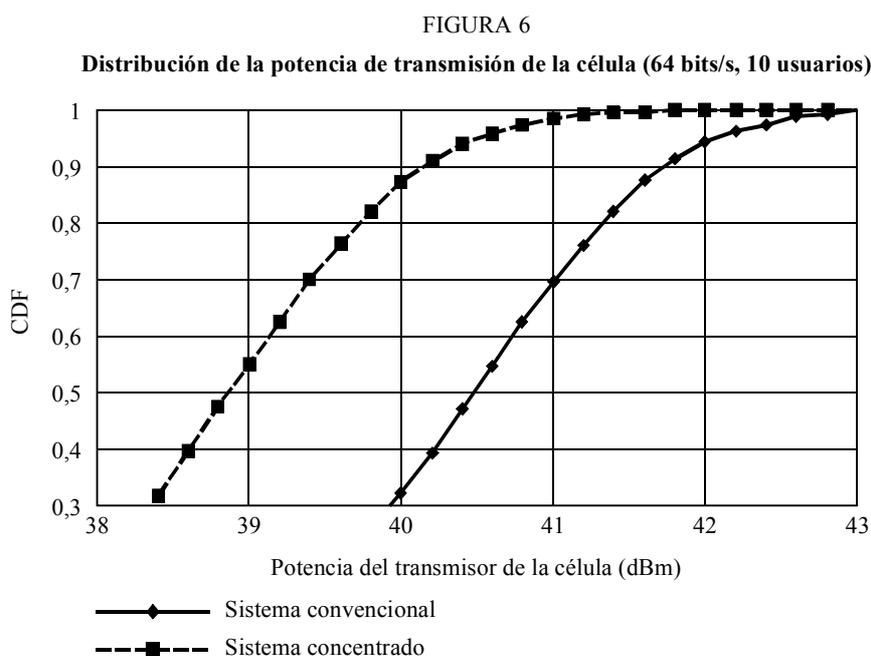
La Fig. 5 muestra las probabilidades de interrupción según diversos números de usuarios. Los resultados muestran que los sistemas concentrados AMDC pueden atender a más usuarios que el sistema convencional. Puede verse que es posible aumentar cerca del 40% la capacidad del enlace descendente con el objetivo de calidad de servicio del 1% de interrupciones.

FIGURA 5

Interrupciones en función del número de usuarios (64 bits/s)

1.4.2.2 Potencia de transmisión total de la EB (o CU)

La Fig. 6 muestra las funciones de distribución acumulativas (CDF) de las potencias de transmisión de la EB y la CU. El resultado muestra que los sistemas concentrados AMDC transmiten menos potencia que el sistema convencional. La mejora es de unos 2 dB en valor mediano. En los sistemas concentrados, la atenuación de la señal entre el usuario y las RAU es inferior a la del sistema celular convencional, porque las antenas distribuidas están más próximas al usuario. A medida que se reduce la potencia de transmisión requerida, la potencia de interferencia disminuye y puede atenderse a más usuarios.



2038-06

2 Tecnología de ultrabanda ancha

Se están desarrollando otras posibles técnicas de acceso, tales como la tecnología UWB. Hasta la fecha, no hay una definición convenida internacionalmente de la UWB, porque las aplicaciones y utilidades de estos dispositivos, para comunicaciones y otros destinos, son muy diversas y no se han desarrollado plenamente. Como puede haber muchos dispositivos y aplicaciones UWB que presenten técnicas y características operacionales diferentes, no se conocen aún las repercusiones reglamentarias en cuanto a interferencia de los dispositivos UWB. No obstante, una administración ha adoptado reglas que incluyen normas técnicas y restricciones en cuanto a espectro para las operaciones UWB de baja potencia, en un intento de asegurar que se protegen adecuadamente los servicios radioeléctricos actuales y planificados³. La aplicabilidad de la tecnología UWB depende del establecimiento de límites de interferencia adecuados y de restricciones sobre el espectro autorizado para funcionamiento. El concepto básico de la UWB es desarrollar, transmitir y recibir una ráfaga de duración extremadamente reducida de energía RF. Las ondas resultantes tienen una banda extremadamente amplia (típicamente, algunos gigaherzios).

³ La Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos adoptó un primer Informe y Orden, el 14 de febrero de 2002, sobre Sistemas de Transmisión UWB. Véase In the Matter of Revision of Part 15 of the Commission's Rules, Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems, ET Docket 98-153, First Report and Order, 67 FR 34872, 16 de mayo de 2002. El documento figura también en Internet, en: http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-02-48A1.pdf.

Un transmisor de ultrabanda ancha modulado en el tiempo (MT-UWB) emite impulsos ultrabreves formados especialmente (o monociclos) con intervalos entre impulsos controlados estrechamente. Ello puede traducirse en señales de potencia media reducida, de estilo ruido, de forma de onda continua o de tipo impulsos que pueden transmitir datos, señales vocales y comunicaciones de vídeo o que pueden utilizarse como radar personal, o como dispositivo de posicionamiento y seguimiento. Cada uno de los monociclos de RF puede transmitirse por una antena de banda ancha y, utilizando un receptor adaptado, pueden recuperarse.

Los sistemas MT-UWB conocidos suelen utilizar la modulación por posición del impulso sobre una base de impulsos individuales. Los receptores utilizan un transcorrelador que da al receptor la capacidad de detectar y recuperar la señal. Un bit único de información suele dispersarse a lo largo de múltiples monociclos. El receptor suma de forma coherente el número adecuado de impulsos a fin de recuperar la información transmitida. Con ello se incrementa considerablemente la ganancia de procesamiento.

La duración extremadamente reducida del impulso permite disponer un gran número de intervalos de tiempo de transmisión. Desplazando el tiempo de transmisión real de cada monociclo a lo largo de un gran intervalo conforme a un código adecuado, se pueden disponer por canales los trenes de impulsos. En un sistema de acceso múltiple, cada usuario tendrá su propia secuencia de código. Únicamente un receptor de correlación que funcione con el mismo esquema de forma de onda (por ejemplo, la secuencia de código) puede decodificar la señal transmitida.

En la actualidad, aún no se han estudiado ampliamente los efectos de la interferencia en los sistemas de comunicaciones digitales procedente de impulsos estrechos, ni se cuenta con una experiencia operativa sobre ello. En particular, los sistemas celulares AMDC basan su funcionamiento en un control de potencia rápido. Esto se señala generalmente por la interfaz radioeléctrica utilizando unos pocos bits de datos (que no van entrelazados, dada la necesidad de un tiempo rápido de respuesta). Esto significa que los sistemas de comunicaciones digitales (y los sistemas celulares en particular) pueden ser susceptibles a la interferencia que perturba constantemente bits particulares de los datos transmitidos. Por esta razón, se ha de prestar especial atención a la compatibilidad de los sistemas UWB con los sistemas celulares AMDC, hasta que se comprendan mejor las características de las emisiones UWB y sus efectos en las comunicaciones digitales.

De forma más general, algunas administraciones han empezado a examinar la tecnología UWB y participan en amplios análisis de los aspectos técnicos y reglamentarios a nivel nacional de la implementación de los dispositivos UWB, incluyendo el potencial de interferencia perjudicial procedente de los dispositivos UWB en otros sistemas, especialmente en los servicios que atañen a la seguridad humana.

3 AMC (Modulación y codificación adaptable) y ARQ híbrida

Se considera que las IMT-2000 y los sistemas posteriores sirven para una amplia gama de servicios, incluyendo el servicio multimedia de gran velocidad. La demanda creciente de capacidad hace que sea importante maximizar la eficacia espectral. Se han propuesto diversas técnicas para que los sistemas de comunicaciones inalámbricas sean espectralmente eficaces. Una de las áreas importantes de investigación a este respecto es la AMC. La AMC puede utilizarse para aumentar las velocidades de transmisión en canales con desvanecimiento. Los esquemas AMC se adaptan a la variación del canal variando parámetros tales como el orden de modulación y la velocidad de código. El principio básico de la AMC es modificar el MCS basándose en la CSI (información del estado del canal). De esta manera el programador tiene que conocer la CSI a fin de seleccionar el esquema de modulación y codificación adecuado. No obstante, los errores de la estimación del

canal pueden dar lugar a que el programador seleccione el nivel erróneo del MCS. La demora en la información del canal reduce también la fiabilidad de la CSI estimada, debido a la variación continua del canal móvil.

La H-ARQ (ARQ híbrida) puede combinarse con la AMC para aumentar la calidad general. Permite la implementación de la AMC reduciendo el número de los niveles necesarios del MCS y la sensibilidad de la medición de los errores y el retardo de realimentación. Dos métodos bien conocidos para la H-ARQ son la combinación de muestras y la redundancia incremental. El método de combinación de muestras implica la retransmisión por el transmisor del paquete de datos codificado. El decodificador del receptor combina estas copias múltiples en el paquete transmitido conforme a la S/N recibida. De esta manera, se obtiene una ganancia por diversidad. La redundancia incremental es otro modo de la técnica H-ARQ en el que, en lugar de enviar repeticiones simples de todo el paquete codificado, se transmite incrementalmente información redundante adicional si la decodificación falla en la primera tentativa.

3.1 Modulación adaptable en el enlace descendente basada en el emplazamiento del usuario, niveles de la C/I recibida, y velocidad necesaria de transmisión

3.1.1 Introducción

Se han propuesto múltiples esquemas de modulación tales como el de portadora única (SC), AMDC con dispersión directa (DS), la multiplexión por división de frecuencia ortogonal (MDFO), AMDC multiportadora (MC) para los sistemas móviles, el acceso inalámbrico nómada y el acceso inalámbrico fijo. La selección de la interfaz radioeléctrica depende de las especificaciones del sistema. La MDFO es un esquema de modulación interesante por su gran inmunidad al desvanecimiento multitrayecto y su capacidad de ofrecer una elevada velocidad de transmisión. No obstante, la calidad del enlace del sistema MDFO se degrada cuando aumenta el nivel de la señal de interferencia cocanal procedente de las células adyacentes. Por otro lado, la técnica de dispersión del espectro tiene una tolerancia a la interferencia cocanal, pero es difícil mejorar su velocidad de transmisión por usuario mediante la restricción de la anchura de banda atribuida.

Los esquemas de modulación combinados de MDFO y AMDC tales como el MC-AMDC y el MC-DS/AMDC son técnicas interesantes que aumentan la ganancia de procesamiento en el dominio de la frecuencia y en el del tiempo, respectivamente. Además, el esquema combinado de MDFO y AMDC ofrece una elevada velocidad de transmisión en entornos de desvanecimiento multitrayecto y reduce la interferencia cocanal procedente de las células adyacentes. No obstante, la calidad en términos de tasa de errores se deteriora cuando la ortogonalidad entre subportadoras y los códigos de dispersión se degrada debido a una gran dispersión del retardo, la desviación de frecuencia y otros factores.

3.1.2 Concepto tecnológico

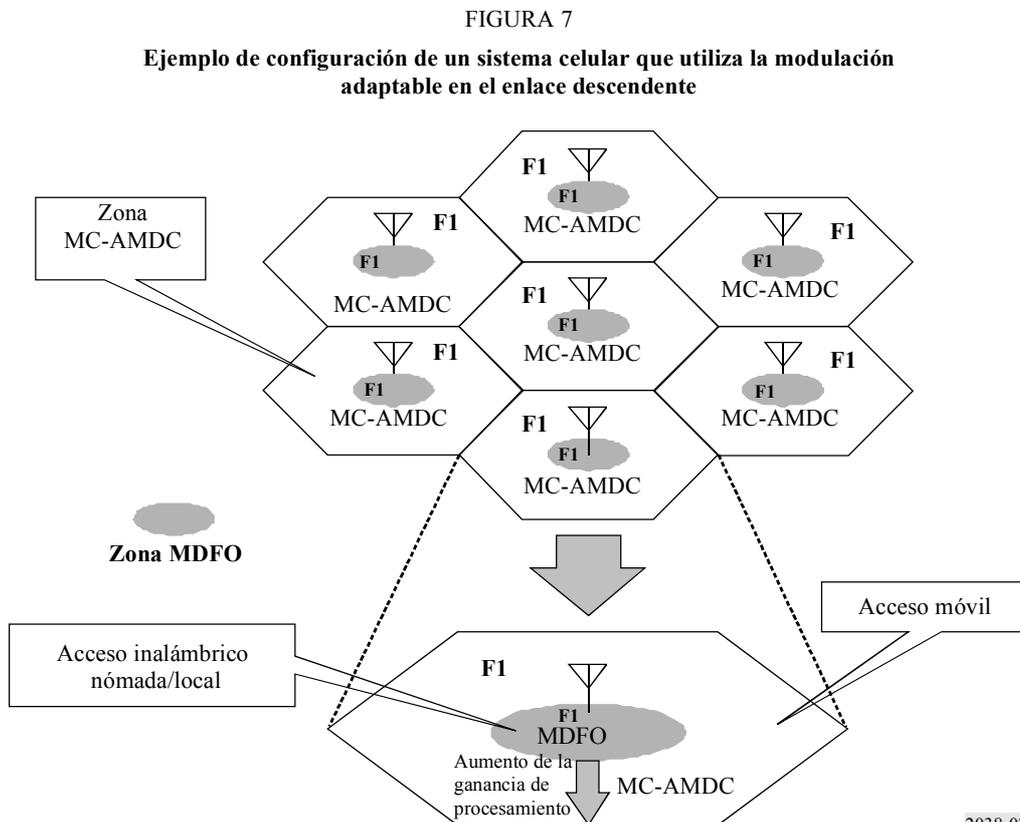
Tal como se ha explicado anteriormente, cada esquema de modulación tiene aspectos físicos distintivos. En particular, los esquemas presentan ventajas e inconvenientes conforme a las condiciones del canal, tales como la relación C/N , la relación C/I , la dispersión del retardo y otros parámetros.

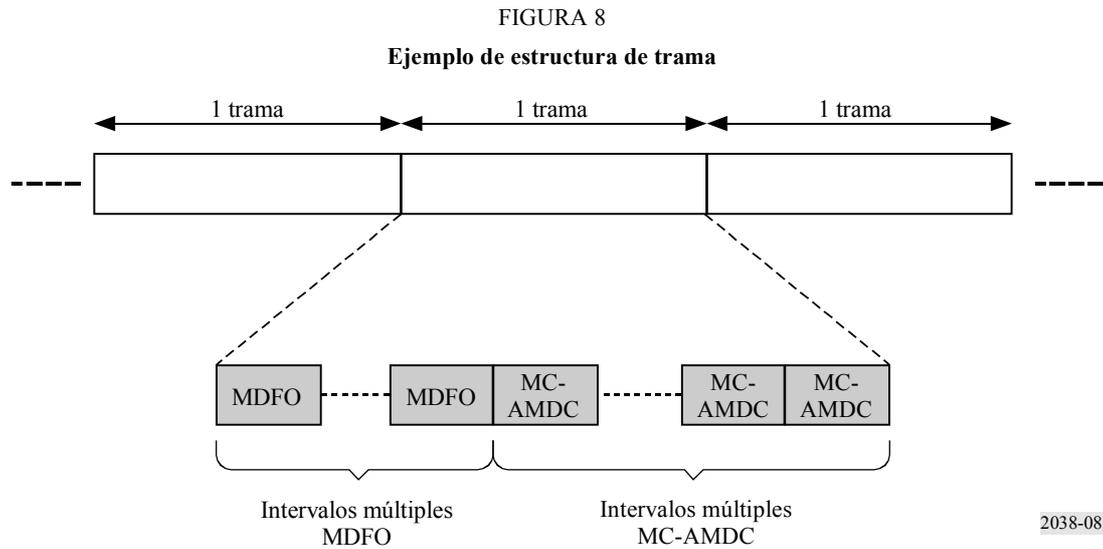
La modulación adaptable del enlace descendente basada en el emplazamiento del usuario, el nivel de la C/I recibida y la velocidad de transmisión requerida puede ser una opción para mejorar la capacidad del sistema que atribuye el esquema de modulación preferible a cada intervalo de tiempo por usuario. Los aspectos de la modulación adaptable en el enlace descendente pueden resumirse de la siguiente manera.

- La estación de base (EB) atribuye el esquema preferible de modulación a cada usuario por cada intervalo de tiempo, conforme a condiciones del enlace, tales como la distancia de propagación, el nivel de la indicación de la intensidad de la señal recibida (RSSI), la intensidad de la señal de interferencia, la dispersión del retardo y la velocidad de transmisión requerida de cada usuario.
- Cada intervalo de tiempo debe estar ocupado por un único esquema de modulación para evitar la interferencia entre distintas interfaces radioeléctricas. La sincronización de la temporización entre células múltiples se logra utilizando un GPS sin ninguna dificultad.
- La potencia de transmisión de cada intervalo de tiempo se fija a un valor distinto asociado al esquema de modulación. También puede aplicarse la técnica de control de potencia a cada esquema de modulación con un algoritmo de control diferente.
- La frecuencia del canal puede reutilizarse en cada célula radioeléctrica, atribuyendo un esquema de modulación diferente, conforme al emplazamiento del usuario.

3.1.3 Ejemplo de configuración

La Fig. 7 presenta un ejemplo de configuración de sistema celular que adopta el esquema de modulación adaptable en el enlace descendente. Se seleccionan la MDFO y la MC-AMDC como esquemas de modulación adaptable en el enlace descendente. La estructura de trama del sistema celular se dispone tal como se representa en la Fig. 8. En dicha Figura, una trama se divide en múltiples intervalos. Algunos de ellos se atribuyen a la MDFO y otros a la MC-AMDC. La sincronización temporal de la trama y los intervalos se establece entre las EB adyacentes mediante el GPS u otros métodos. Puede evitarse la interferencia entre la MDFO y la MC-AMDC atribuyendo los intervalos de tiempo a cada sistema de forma independiente.

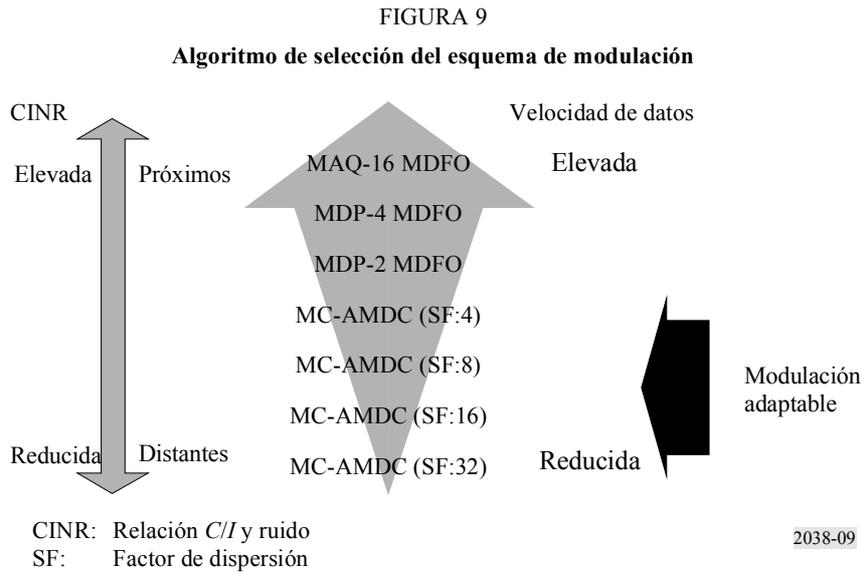




La potencia de transmisión para los intervalos MDFO se fija en un nivel inferior al de los intervalos MC-AMDC a fin de evitar la interferencia cocanal entre células adyacentes. En este caso las zonas de servicios de los intervalos MDFO se limitan a una zona alrededor de la EB y no se superponen, como se representa en la Fig. 7. Así pues, puede atribuirse la misma frecuencia de canal en cada célula, lo que mejorará la eficacia de la utilización del canal. Esta zona de servicio será adecuada para los servicios de acceso inalámbrico nómada y local con gran velocidad de datos.

Por otro lado, la potencia de transmisión de los intervalos MC-AMDC se fija a un valor superior al de los intervalos MDFO. Las zonas de servicio de la MC-AMDC se amplían y se superponen, tal como se representa en la Fig. 7. La interferencia cocanal entre células adyacentes se reduce utilizando un código de dispersión en el dominio de la frecuencia. En la selección del código de dispersión por usuario se debe tener en cuenta la ortogonalidad entre los otros códigos utilizados en la misma célula y en las células adyacentes. Como se despliegan las mismas zonas de servicio de las señales MC-AMDC que en los sistemas celulares actuales, los usuarios serán capaces de establecer su enlace de comunicación en entornos de gran movilidad.

La Fig. 9 presenta un ejemplo de selección de algoritmo para el esquema de modulación. Cuando la CINR del canal es elevada, la distancia del enlace inalámbrico es reducida y la velocidad de transmisión requerida del usuario es elevada, la EB asigna un intervalo MDFO con elevada tasa de modulación tal como la MAQ-16 y gran velocidad de codificación. Si la CINR es muy reducida y la distancia del enlace inalámbrico es larga, la EB atribuye un intervalo MC-AMDC con gran factor de dispersión y velocidad de codificación reducida para mantener el enlace de comunicación. El concepto de este algoritmo se basa en la combinación de una atribución adaptable a la interfaz radioeléctrica y una selección adaptable de sus parámetros. Como consecuencia de ello, el esquema de modulación adaptable en el enlace descendente mejorará la capacidad de los sistemas de comunicación inalámbricos, atribuyendo un esquema de modulación preferido a cada intervalo de tiempo por usuario.



3.1.4 Conclusión

El esquema adaptable de modulación en el enlace descendente constituirá una tecnología prometedora para mejorar los sistemas de comunicaciones inalámbricas, atribuyendo el esquema de modulación preferido a cada intervalo de tiempo por usuario. Mediante el uso de esta técnica se reutilizará la misma frecuencia del canal en cada célula radioeléctrica, atribuyendo un esquema de modulación distinto, conforme al emplazamiento del usuario. Además, la interferencia cocanal procedente de los distintos esquemas de modulación se evitará, separando la temporización de los intervalos para cada esquema de modulación sobre una base temporal. La potencia de transmisión de cada interfaz radioeléctrica puede modificarse para constituir distintas coberturas de haz. Este aspecto ofrecerá una calidad de servicio diferente a los distintos usuarios, conforme a sus requisitos y a las condiciones del canal. Atribuyendo el esquema de modulación y sus parámetros (diagrama de correspondencia, velocidad de codificación, factor de dispersión, etc.) de forma adaptable, los usuarios podrán mantener sus comunicaciones, incluso en entornos inalámbricos muy desfavorables.

El algoritmo de selección adaptable para el esquema de modulación ha de seguir examinándose junto con las especificaciones necesarias de los sistemas posteriores a las IMT-2000. También ha de examinarse el número de intervalos por trama, la longitud del intervalo, la longitud de la trama y el formato de ésta en el sistema. Además, el tipo de modulación, la velocidad de codificación, la potencia transmitida y otros parámetros de la interfaz radioeléctrica exigen una selección adecuada para que la tecnología de modulación adaptable del enlace descendente logre una gran eficacia en términos de anchura de banda. Hay de considerarse el método de medición de la C/I y la C/N , la distancia entre la EB y la MS y la dispersión del retardo. Las tecnologías combinadas con el sistema de antenas adaptable, la diversidad, la codificación temporal espacial y la MIMO requieren nuevos estudios para optimizar las mejoras.

4 Compartición flexible del espectro

4.1 Método para la compartición flexible del espectro entre operadores

El recurso radioeléctrico es escaso y costoso. La eficacia espectral de los sistemas celulares debe por tanto optimizarse. Se trata de un aspecto crucial, especialmente cuando hay varios operadores en competencia en la misma banda de frecuencias. Los recursos de espectro disponibles para cada operador deben ajustarse dinámicamente a sus necesidades. La compartición de frecuencias portadoras entre distintos operadores es un método para optimizar la utilización de estos recursos.

El proceso de atribución del espectro no es actualmente muy flexible. En suma, se atribuye a los operadores una cantidad fija de espectro y ellos se comprometen a priori al cumplimiento de ciertos objetivos en término de volumen de tráfico y cobertura. Si no cumplen estos compromisos, parte de su espectro puede reatribuirse a otros operadores si es necesario. No obstante, este método puede llevar gran tiempo y no es suficientemente flexible. Además, no es adecuado si la subutilización del espectro se produce en crestas. Se necesita una forma dinámica de reatribuir el espectro, conforme a las necesidades del tráfico.

Este Informe propone un método que permite la compartición de portadoras de frecuencia entre diferentes operadores, ajustando dinámicamente un conjunto de umbrales sin necesidad de intercambio de información de la carga entre los operadores, con lo que se da prioridad a la eficacia espectral.

4.1.1 Descripción

4.1.1.1 Preámbulo

Las portadoras de frecuencia pueden compartirse entre diversos operadores para mejorar la utilización del espectro. Por ejemplo, en lo que sigue, dos operadores A y B utilizan el espectro de frecuencia F_A y F_B que son «frecuencias propias» y que únicamente las redes A y B, respectivamente, pueden utilizarlas. $F_{\text{compartida}}$ son dos frecuencias portadoras compartidas entre las redes A y B. Esto implica que pueden asignarse los usuarios móviles de ambas redes a estas frecuencias compartidas, dependiendo de las condiciones de carga. En este caso, cada red puede utilizar potencialmente hasta cuatro frecuencias portadoras. El recurso radioeléctrico puede por tanto adaptarse a las necesidades del tráfico, lo que se traduce en una mejora de la utilización del espectro.

FIGURA 10

Atribución del espectro con compartición de frecuencias

F_A	F_A	$F_{\text{compartida}}$	$F_{\text{compartida}}$	F_B	F_B
-------	-------	-------------------------	-------------------------	-------	-------

2038-10

El objetivo de esta tendencia tecnológica es proponer un método para la gestión de estas frecuencias portadoras compartidas, teniendo presente los cuatro principios mencionados anteriormente, mediante la definición de:

- Reglas de admisión de los usuarios móviles, mediante acceso directo o traspaso.
- Control de la carga.
- Gestión de la prioridad entre operadores para la utilización de las portadoras compartidas.

4.1.1.2 Terminología

Se utilizan cuatro umbrales para gestionar la carga o el número de usuarios en las frecuencias portadoras:

- $T_{\text{admisión}}$: umbral de admisión de nueva llamada,
- $T_{\text{HO aceptación}}$: umbral de admisión de peticiones de traspaso,
- $T_{\text{HO partida}}$: umbral de traspaso de partida,
- T_{abandono} : umbral de abandono, para iniciar la desconexión de algunos usuarios móviles a fin de asegurar el mantenimiento de una cierta calidad de servicio (llamadas abandonadas de cualquier forma por condiciones de interrupción).

La diferencia entre T_{abandono} y $T_{\text{HO_partida}}$ debe definirse mediante los riesgos de interrupción para justificar el compromiso óptimo entre la probabilidad de interrupción y la utilización general de los recursos.

4.1.1.3 Descripción del método propuesto

En el caso de frecuencias compartidas, se definen dos grupos de estos cuatro umbrales:

- El *grupo de umbral por defecto* se refiere a los valores de los umbrales que se utilizan para evitar la utilización de las frecuencias portadoras compartidas.
- El *grupo de umbral objetivo* se refiere a los valores de los umbrales cuando se utilizan frecuencias portadoras compartidas.

Cada operador tiene libertad para variar los cuatro umbrales utilizados por las frecuencias compartidas, *siempre que permanezcan dentro de los grupos de umbrales por defecto y objetivo*. Los grupos de umbrales objetivo y por defecto pueden predefinirse o modificarse dinámicamente durante las operaciones.

Básicamente, cada operador utiliza un grupo objetivo de umbrales que es diferente del de los otros operadores. Las reglas de prioridad se generan automáticamente mediante la diferencia relativa de los umbrales objetivo entre operadores. Por ejemplo, si el operador A utiliza un T_{abandono} de 14 dB, mientras que el operador B utiliza un T_{abandono} de 20 dB, el operador A empieza a abandonar a sus usuarios móviles antes de que el operador B empiece a hacerlo. *De esta manera se habilita el establecimiento dinámico de las reglas de prioridad*. Además, el costo de utilización de estas frecuencias portadoras puede obtenerse fácilmente comparando los valores umbral respectivos utilizados.

4.1.1.3.1 Control de la carga en las frecuencias compartidas y propias

En lo que sigue, se ilustra el método utilizando umbrales de elevación del ruido. No obstante, debe señalarse que se dispone de otros criterios de medición, tales como el de la potencia total transmitida por EB, el de interrupción del sistema, etc.

Hay un grupo de umbrales para cada operador en las frecuencias compartidas que se ajusta dinámicamente, dependiendo de las condiciones de carga, tal como se explica en los dos casos que siguen.

4.1.1.3.1.1 Frecuencias portadoras propias no plenamente cargadas

Los usuarios móviles en las frecuencias portadoras compartidas han de traspasarse a las frecuencias propias. La admisión de los usuarios móviles en las frecuencias portadoras compartidas se detiene y ha de favorecerse el traspaso de los usuarios desde las portadoras compartidas a las propias.

En este caso, $T_{\text{admisión}}$ y $T_{\text{HO_aceptación}}$ disminuyen y $T_{\text{HO_partida}}$ también, para hacer que los usuarios abandonen la frecuencia compartida. El T_{abandono} puede mantenerse en el mismo nivel a fin de controlar la interrupción en la frecuencia compartida.

El ajuste de los umbrales no debe ser ciego a fin de no:

- sobrecargar las frecuencias portadoras propias,
- sobrecargar el sistema realizando demasiados traspasos entre frecuencias.

El resultado final es que todos los usuarios abandonarán la frecuencia compartida, mediante traspaso y de no ser así, al final de su llamada.

4.1.1.3.1.2 Frecuencias portadoras propias plenamente cargadas

En este caso, el objetivo es incrementar la carga en las frecuencias compartidas.

Las nuevas peticiones de llamada se colocan en las frecuencias portadoras compartidas. En este caso, $T_{\text{admisión}}$, así como $T_{\text{HO_partida}}$ y $T_{\text{HO_aceptación}}$ se incrementan.

$T_{\text{admisión_propia}}$ y $T_{\text{HO_aceptación_propia}}$ son los umbrales utilizados en la frecuencia propia.

Paso 1: Se verifica la elevación del ruido en la frecuencia propia a fin de evaluar su carga.

Paso 2: Se compara la elevación del ruido con el umbral de admisión.

Paso 3: Si la elevación del ruido es inferior al umbral de admisión, la frecuencia propia no está plenamente cargada y es capaz de aceptar peticiones de recurso. Como consecuencia de ello han de disminuirse los umbrales en la frecuencia compartida, dentro de los límites que determinan los grupos por defecto y objetivo, a fin de evitar la utilización de espectro compartido, en tanto que el espectro propio esté subutilizado.

Paso 4: Si la elevación del ruido es superior al umbral de admisión, se compara con el umbral de traspaso.

Paso 5: Si la elevación del ruido es inferior al umbral de aceptación de traspaso, la frecuencia propia no es capaz de aceptar nuevos usuarios, pero puede tratar usuarios que vienen de traspasos procedentes de otras células. Así pues, ha de aumentarse el umbral de admisión en la frecuencia compartida a fin de poder tratar nuevos usuarios directamente mediante la frecuencia compartida.

Paso 6: Si la elevación del ruido es superior al umbral de traspaso, la frecuencia propia no aceptará ningún nuevo usuario y está plenamente cargada. En este caso, han de incrementarse todos los umbrales en la frecuencia compartida.

4.1.1.3.2 Aumento de la flexibilidad: ajuste dinámico de los valores por defecto y los objetivos

Los umbrales por defecto y los umbrales objetivo pueden determinarse al inicio de las operaciones. No obstante, se cuenta con una mayor flexibilidad cuando los umbrales por defecto y los fijados como objetivo pueden ajustarse dinámicamente. Ello es posible utilizando un controlador central (CC) que se comunica con un cierto número de operadores en una zona geográfica determinada (por ejemplo, a fin de notificar la utilización de portadoras de frecuencia compartidas entre algunos operadores o evaluar los valores de los umbrales de cada una de las portadoras de frecuencia compartidas asignadas a los operadores).

4.1.1.3.2.1 Información intercambiada

El volumen de información que ha de intercambiarse está limitado. Además, este tipo de información se intercambiará únicamente en casos de eventos importantes, tales como los de una sobrecarga grande, después de variaciones lentas del tráfico (horas o días cargados, etc.).

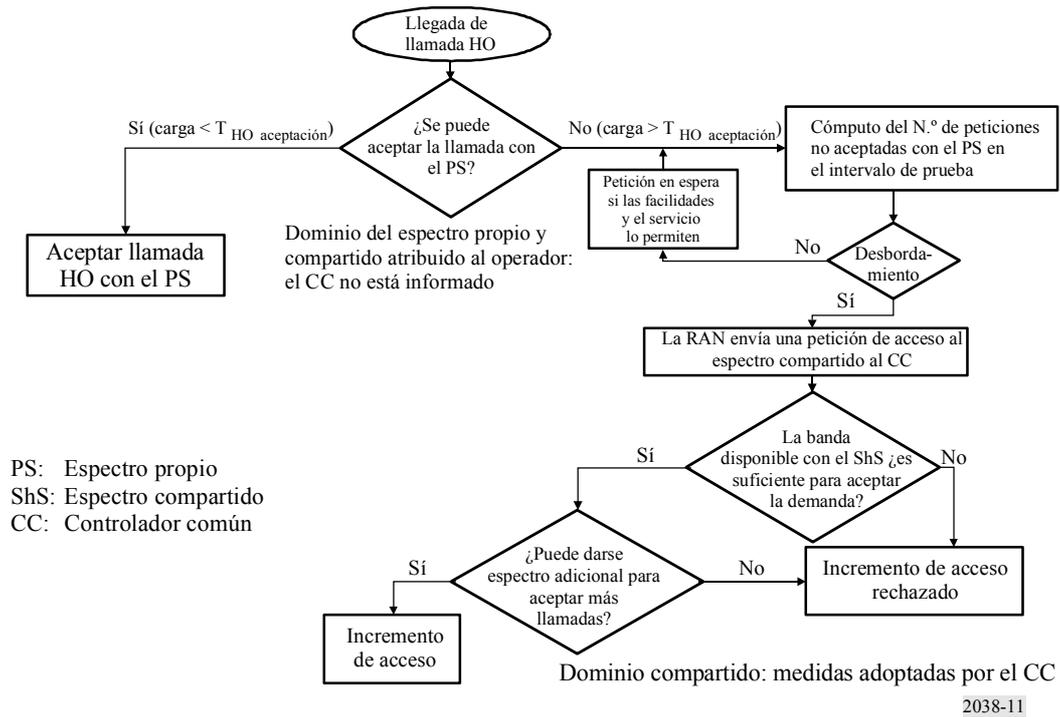
Tras analizar la petición de acceso, basándose en la utilización actual del espectro compartido y otras peticiones de acceso concurrentes, el CC enviará únicamente un mensaje de INCREMENTO DE ACCESO si puede ofrecerse algo de anchura de banda al operador B con el espectro compartido. Véase que el mensaje contendrá el conjunto de umbrales objetivo que aplicará el operador. Basta con informar al operador B de que puede acceder al espectro compartido.

4.1.1.3.2.2 Gestión del espectro compartido con el CC

La Fig. 11 representa el procedimiento de admisión de la llamada con este método. El ejemplo se refiere a llamadas de traspaso (HO), pero también es aplicable a llamadas nuevas.

FIGURA 11

Admisión de la llamada en la compartición dinámica entre operadores del espectro



Se accede al espectro compartido únicamente cuando el espectro propio está saturado. Antes de enviar un mensaje de PETICIÓN DE ACCESO AL ESPECTRO COMPARTIDO al CC, el controlador local determina en primer lugar la situación de desbordamiento. Ello se efectúa contando el número de peticiones no satisfechas a lo largo del tiempo de observación. Durante dicho tiempo de observación, pueden situarse las peticiones de acceso en línea de espera si existen dichas facilidades y los servicios pueden tolerar una cierta demora de espera. De no ser así, simplemente se abandonan.

Tras recibir una PETICIÓN DE ACCESO DE ESPECTRO COMPARTIDO, las llamadas a las que se ha detenido a la espera de recursos, se aceptan en el espectro compartido, si se dispone de anchura de banda suficiente. De no ser así, las llamadas que se situaron en espera han de abandonarse. Ello puede efectuarse enviando un mensaje específico al controlador local o simplemente mediante la extinción de las operaciones.

4.1.2 Conclusión y perspectivas

Se utilizan dos grupos de umbrales (por defecto y objetivo) con las frecuencias compartidas, como límites entre los que pueden variar los umbrales reales. Ello permite distribuir la carga entre frecuencias propias y compartidas y establecer prioridades en la utilización de las frecuencias propias.

Las reglas de prioridad y la distribución del costo entre los operadores se obtienen automáticamente de valores específicos de los grupos de umbrales por defecto y objetivo.

Puede obtenerse una mayor flexibilidad en el ajuste de los recursos disponibles para cada operador, notificando la disponibilidad de una frecuencia para la compartición, y mediante el ajuste dinámico de los umbrales fijados.

Tal como se ha mencionado anteriormente, han de respetarse cuatro principios para la compartición de frecuencias entre operadores:

- Este método consta de un algoritmo que permite el ajuste dinámico de los recursos disponibles para cada operador.
- Utilizando el algoritmo, estas portadoras de frecuencia compartidas han de utilizarse únicamente cuando todas las portadoras de frecuencia propias están plenamente cargadas. Ello puede reforzarse mediante controles y acuerdos reglamentarios.
- La prioridad entre los operadores que utilizan estas portadoras de frecuencia se determina dinámicamente mediante los valores de los umbrales, lo que permite establecer políticas óptimas de gestión de la carga y el control de la interferencia. El costo de utilización de las frecuencias compartidas puede repartirse entre operadores, fijándose la proporción para cada operador a partir de los valores de los umbrales objetivo fijados.
- No es necesario el intercambio de carga o de información confidencial o delicada que concierna a cada operador.

En definitiva, el enfoque propuesto hace factible el enfoque de compartición de portadoras de frecuencia, controlando dinámicamente un conjunto de umbrales ajustables para la admisión y terminación de la llamada, lo que se traduce en una utilización mejor del espectro escaso.

4.2 Compartición flexible del espectro y modo cooperativo de identificación y comprobación

Un problema importante planteado por la compartición dinámica del espectro es que la información sobre portadoras y/o modos alternativos varía significativamente en el tiempo.

Lo que se precisa entonces son métodos más dinámicos de recogida y procesamiento de la información sobre los modos y portadoras alternativos.

Un enfoque de «fuerza bruta», utilizando únicamente los vacíos (escasos) de los diagramas de transmisión/recepción de las normas actuales, no sólo es difícil de programar, sino que también utiliza intensivamente los recursos; con dicho enfoque se reduciría la vida de la batería del terminal a un nivel nunca visto durante más de diez años.

Un sistema basado en un banco de datos estático implicaría sobrecargas significativas debido a las numerosas actualizaciones frecuentes. A primera vista, una medición de una determinada portadora en un modo específico parecería no estar afectada por el operador que utilice dicha portadora. No obstante, a medida que los distintos operadores empiezan a utilizar dicha portadora, emplearán sus propias estaciones de base, que pueden muy bien estar en emplazamientos distintos de las estaciones de base del operador precedente, afectando con ello a las características de propagación de dicha portadora.

La comprobación en modo cooperativo (CoMM) parte de la idea de que, en vez de tener que reconfigurar (temporalmente) un terminal multimodo de itinerancia, a fin de verificar los modos alternativos, es más sencillo obtener una idea de la cobertura en estos modos alternativos «preguntando» a los terminales que ya están funcionando en dicho modo por sus mediciones, o extrapolándolas a partir de otras mediciones realizadas por terminales en dicho emplazamiento. Si las mediciones se solicitan por demanda o si se recogen centralmente a lo largo de un periodo de tiempo, dependerá de la carga resultante en la red y de la velocidad con que «expiran» los valores de la medición.

4.3 Conclusión y perspectivas

Este Informe presenta nuevas soluciones a dos temas fundamentales de la compartición flexible del espectro: cómo efectuar la compartición de portadoras de frecuencia entre distintos operadores sin intercambiar información de la carga, y cómo detectar y comprobar las RAT de forma ciega y cooperativa. La propuesta presentada amplía el marco necesario para la aplicación flexible de la compartición del espectro. Así pues, los estudios deben centrarse en la evaluación de las estrategias de negociación del servicio combinadas con la eficacia de la compartición del espectro. Ha de evaluarse la conveniencia de dichos esquemas ya que se refieren a los niveles de calidad de la red y de satisfacción del usuario.

4.4 Referencias Bibliográficas

ARIYAVISITAKUL, S. y otros [mayo de 1996] Performance of simulcast wireless techniques for personal communication systems. *IEEE J. Select. Areas Comm.*, Vol. 14, 4, p. 632-643.

SPILLING, A. G. y otros [mayo de 1999] Adaptive networks for UMTS – An investigation of bunched base stations. *Proc. IEEE VTC*, p. 556-560.

4.5 Bibliografía

SPILLING, A. G. y otros [junio de 2000] Self-organization in future mobile communications. *Electron. & Comm. Engin. J.*, p. 133-147.

Anexo 2

Soluciones de tecnología en apoyo de la asimetría del tráfico

1 Aspectos técnicos

A continuación se resumen los detalles de los distintos conceptos del § 3.1.2. La Recomendación UIT-R M.1036 ofrece otros detalles.

1.1 Asimetría de la banda de frecuencias

Con la modulación dúplex por división de frecuencias (DDF) puede atribuirse a cada uno de los sentidos una cuantía diferente de espectro de enlace ascendente y de enlace descendente, separadas en el dominio de frecuencias.

Pueden distinguirse tres casos (típicamente, múltiples usuarios comparten cada portadora):

- En el primer caso, la portadora del enlace ascendente y la del descendente tienen igual anchura de banda. No obstante, se atribuyen más portadoras al enlace descendente en comparación con el enlace ascendente (o viceversa), a fin de dar más capacidad general al enlace descendente en comparación con la capacidad del enlace ascendente (o viceversa).
- En el segundo caso, la anchura de banda de la portadora del enlace descendente es mayor que la de la portadora del enlace ascendente (o viceversa).
- En el tercer caso, se utiliza la misma tecnología en ambos sentidos, pero se utilizan técnicas de acceso múltiple bien conocidas para compartir la portadora del enlace ascendente, mientras que se emplea una portadora específica para el enlace descendente.

Los casos mencionados exigen una estimación razonable a priori de la asimetría prevista para obtener una atribución de frecuencia y una utilización del espectro eficaces.

Para lograr una capacidad de asimetría flexible por medio de la asimetría de la banda de frecuencias, utilizando el primero de los dos métodos anteriores, el equipo ha de tener la capacidad de distancia dúplex variable.

En el tercer método se utiliza la misma anchura de banda de la portadora en ambos sentidos, pero los múltiples canales del enlace descendente tienen una relación común con el extremo de su propio bloque. Los bloques inferiores del enlace descendente pueden facilitar el funcionamiento simétrico convencional y cierto funcionamiento asimétrico, mientras que los bloques superiores del enlace descendente adicional, que tienen una separación de portadora fija respecto a los bloques inferiores del enlace descendente sirven para el funcionamiento asimétrico (para más detalles, véase la Recomendación UIT-R M.1036). Así pues, puede utilizarse el mismo equipo para todos los operadores. La separación dúplex en el equipo que utiliza los mismos bloques es común, y en lugar de la capacidad dúplex variable, se requieren diversas separaciones dúplex fijas, con lo que se simplifica la complejidad del terminal.

La apertura de los bloques superiores puede hacerse paulatinamente a medida que se disponga de espectro adicional y de equipo de banda mejorado. Véase que no hay un requisito de que los bloques superiores sean adyacentes entre sí. Esto puede superponerse a las tecnologías «existentes» 2G o IMT-2000 en las que ya se han desplegado bandas simétricas.

1.2 Asimetría en la atribución de intervalos de tiempo

La modulación dúplex por división de tiempo (DDT) es una técnica dúplex en la que el tráfico del enlace ascendente y del descendente se producen por la misma portadora. Los canales del enlace descendente y del ascendente están separados en el dominio del tiempo, dividiendo el marco temporal en intervalos. Cada intervalo temporal puede atribuirse al tráfico del enlace ascendente o al del descendente. Atribuyendo números distintos de intervalos al enlace ascendente y al descendente, puede obtenerse una capacidad asimétrica.

Una trama comprende N intervalos de tiempo, en la que se utilizan n intervalos de tiempo para el enlace descendente y $N-n$ intervalos de tiempo para el ascendente. Otra alternativa es utilizar intervalos de tiempo de tamaño variable, en vez de múltiples intervalos.

Para que un sistema DDT funcione adecuadamente y logre una buena calidad, debe por lo general evitarse que en una célula haya una configuración del enlace descendente/ascendente distinta a la de las células cocanal o de canal adyacente, especialmente en el caso de una reutilización de frecuencias igual a uno, a fin de evitar una interferencia intensa. No obstante, esto puede resolverse en gran medida si todos los operadores sincronizan sus redes y concuerdan en la configuración de enlace descendente/ascendente en todas las células.

En el caso de un solo operador y con una reutilización de frecuencias superior a uno, son factibles diferentes configuraciones de enlace descendente/ascendente en distintas células, debido al desacoplo adicional que produce un aumento de la distancia geográfica entre las mismas frecuencias portadoras. Se requiere un cierto grado de planificación y coordinación de frecuencias.

1.3 Disposición dúplex DDF o DDT combinada con otras tecnologías

La asimetría de modulación es una técnica general aplicable a los sistemas que funcionan en DDF o DDT y en la que pueden utilizarse diferentes esquemas de modulación de los canales de enlace ascendente y de enlace descendente, respectivamente, a fin de obtener velocidades de datos

distintas, y que puede ofrecer cierta capacidad de tráfico asimétrico. La relación máxima y la dirección de la asimetría están limitadas básicamente por el diseño del equipo y los formatos de modulación aplicados en los sistemas prácticos.

No obstante, los esquemas de orden de modulación superior o de codificación con tara reducida, exigen relaciones S/I superiores a la del esquema en el otro enlace. Por tanto, dichos conceptos sólo pueden aplicarse como compromiso entre la capacidad del enlace y la cobertura de los servicios por paquetes en un modo de adaptación del enlace. Utilizando técnicas distintas de modulación se pueden emplear velocidades de datos máximas mayores para usuarios que tengan buenas condiciones radioeléctricas.

Este método puede utilizarse para mejorar los sistemas DDF y DDT en la futuras ampliaciones de las normas IMT-2000 y sistemas posteriores. Esto significa que la cuestión reglamentaria importante de si debe reservarse nuevo espectro para los sistemas DDT o DDF no tiene necesariamente que incluir la consideración sobre la asimetría de la modulación.

Un método adicional para mejorar la capacidad asimétrica es la utilización de antenas adaptables o de esquemas de detección más avanzados, a fin de aumentar la capacidad para un enlace. Esto ofrecería alguna posible asimetría adicional para una atribución de frecuencia determinada. Estas técnicas supondrán un aumento de capacidades, de forma individual o en combinación con los sistemas basados en la DDF y la DDT. Propiedades similares de la propagación radioeléctrica en enlaces ascendentes y descendentes DDT presentan ciertas ventajas en la aplicación de antenas adaptables para sistemas móviles de velocidad reducida.

Pueden aplicarse a la DDF y la DDT esquemas de detección avanzados, a fin de reducir el efecto de la interferencia cocanal.

2 Comparación de los diversos métodos que ofrecen capacidad de tráfico asimétrico

En general, el esquema dúplex es uno de los múltiples factores que determinan la eficacia espectral general de un sistema. En términos de eficacia para el tráfico asimétrico, tanto el esquema DDF como el DDT ofrecen ventajas e inconvenientes propios.

2.1 Esquema DDF con atribución simétrica del espectro

La velocidad de datos de usuario máxima disponible por enlace es fija.

Este esquema presenta las ventajas siguientes:

- Permite una transmisión continua (no por ráfagas) en el enlace ascendente y el descendente. Ello permite también una transmisión más rápida de la información de señalización o de retroalimentación para, por ejemplo, el control de potencia, la adaptación del enlace y la programación rápida dependiente del canal.
- En una amplia zona de cobertura, el alcance está limitado principalmente sólo por el margen del sistema.
- No hay requisitos particulares adicionales para el aislamiento del canal adyacente o la planificación simultánea de sistemas en canales adyacentes, en comparación con la DDT.
- Es posible la ubicación en las mismas estaciones de base de múltiples operadores, dependiendo del diseño del sistema y de la reutilización de frecuencias, independientemente de la asimetría general del espectro.
- No hay una relación inherente entre la gama de velocidades de datos disponibles de servicio máximas y el grado de capacidad asimétrica, como es el caso en la DDT.
- Flexibilidad, en cierta medida, para la asimetría del tráfico.

Los posibles inconvenientes a considerar son:

- Se requiere un espectro simétrico agrupado por pares con una distancia dúplex mínima.
- La eficacia espectral de la disposición depende de la relación entre el espectro simétrico y la asimetría real del tráfico en la red.

2.2 Esquema DDF con atribución asimétrica del espectro

La velocidad de datos de usuario disponible máxima por enlace es fija.

Este esquema dúplex tiene las ventajas siguientes, además de las del § 2.1:

- Es posible la agrupación por pares flexible de las portadoras de enlace ascendente y de enlace descendente, lo que da una capacidad asimétrica. La utilización del espectro tiene eficacia máxima si la relación de anchura de banda seleccionada para ambas bandas se corresponde con la asimetría del tráfico. El espectro asimétrico puede utilizarse para tener más portadoras en un sentido o para portadoras más amplias en un sentido, o para una combinación de ambas.
- La multianchura de banda alternativa permite obtener velocidades máximas más altas en el sentido con la banda más amplia.
- Es suficiente la disponibilidad de espectro adicional no apareado.

Los posibles inconvenientes a tener en cuenta son:

- Requisitos de espectro asimétrico por pares.
- Se requiere una estimación de la demanda futura de espectro por cada sentido, lo que puede ser difícil de efectuar con antelación. Una adaptación inmediata puede ser difícil de implementar, pero hay indicaciones de que será necesario más espectro en el enlace ascendente y en el descendente, y es posible una adaptación posterior.
- Se requiere una separación dúplex flexible para los métodos que exigen ligeros aumentos de la complejidad en la implementación del terminal.
- La eficacia espectral de la disposición depende de la relación entre el grado de la asimetría real del tráfico en la red y el grado de asimetría del espectro.
- Se requiere la capacidad de múltiples velocidades y múltiples anchuras de banda para canales de diferentes anchuras, si las portadoras del enlace ascendente y del descendente están concebidas para diferentes anchuras de banda.

2.3 Esquema DDT

La velocidad de datos máxima de servicio disponible por enlace depende de la relación de asimetría.

Este esquema dúplex presenta las ventajas siguientes:

- Es suficiente la disponibilidad de espectro no apareado. La identificación de bloques únicos de espectro puede ser más fácil que en el caso del espectro por pares.
- Se dispone de flexibilidad respecto al grado de asimetría del tráfico, dependiendo de las condiciones de interferencia cocanal y de canal adyacente. La utilización del espectro es independiente del emplazamiento del punto de conmutación entre transmisión del enlace ascendente y del descendente.

- La eficacia espectral de la disposición depende menos de la asimetría real del tráfico en la red, pues la DDT puede variar el grado de asimetría dentro de una gama especificada.
- Si las células o sistemas vecinos concuerdan en la misma configuración de intervalos, dependiendo del diseño del sistema y de la reutilización de frecuencias, la gama de asimetría viene dada por el número de intervalos de tiempo.
- El aumento de capacidad por la utilización de antenas adaptables puede mejorarse aún más utilizando la reciprocidad del canal radioeléctrico para velocidades móviles reducidas.

Los posibles inconvenientes a tener en cuenta son:

- Los servicios en bandas adyacentes deben ser capaces de compensar la interferencia en el enlace ascendente y en el descendente.
- Se requiere la sincronización y la coordinación del enlace ascendente y del descendente de las células vecinas con una pequeña reutilización de frecuencias; en el caso de un tamaño suficientemente grande de agrupación para la reutilización, no es necesaria la coordinación en una atribución de frecuencia de un operador, aunque sigue precisándose entre operadores que tengan bandas de frecuencia adyacentes entre sí.
- La ubicación de las mismas estaciones de base de múltiples operadores depende del diseño del sistema, la reutilización de frecuencias y la separación de frecuencias de operadores en el mismo emplazamiento.
- Se requiere un aislamiento entre canales adyacentes.

2.4 Comparación de las tecnologías alternativas para ofrecer la capacidad de tráfico asimétrico

La modulación asimétrica presenta las ventajas siguientes:

- No se requieren atribuciones adicionales de frecuencia o atribuciones de intervalos de tiempo.
- Se obtiene un mejor caudal por el mismo canal, aunque únicamente en la gama inferior o en los casos de relación S/N superior (es necesaria la adaptación del enlace).
- Este método puede utilizarse para mejorar los sistemas DDT y DDF en áreas con condiciones radioeléctricas favorables.

Los posibles inconvenientes a tener en cuenta son:

- Influencia del sentido en el margen del sistema.
- Sólo ofrece una relación limitada posible de asimetría.
- Compromiso entre cobertura y velocidad de datos máxima disponible.
- Se requiere la adaptación del enlace.
- Aplicable principalmente a los servicios por paquetes.
- Planificación e implementación más complicadas.
- Si puede mejorarse la capacidad en un enlace, el mismo método incrementa también la capacidad en el otro enlace; por tanto, no hay ventaja inherente respecto a la mejora de la prestación asimétrica del servicio.

La aplicación de técnicas adicionales ofrece las ventajas siguientes:

- Las mejoras pueden aplicarse a la DDF y a la DDT.
- La mejora de la capacidad mediante antenas adaptables en el enlace descendente sólo se obtiene mediante la antena transmisora para terminales simples.
- Las antenas de transmisión adaptables son más eficaces para DDT que para DDF.

Posibles inconvenientes a tener en cuenta:

- Se necesitará más capacidad en el enlace descendente, lo que puede hacer aumentar la complejidad del receptor terminal en comparación con la estación de base para esquemas de detección avanzados.
- Estos métodos introducen una mayor complejidad en el terminal que la de la EB.

La selección de una disposición dúplex adecuada depende de la aplicación (corto alcance, zona amplia, flexibilidad, etc.). El esquema dúplex es solamente uno de los aspectos a tener en cuenta (otros aspectos son, por ejemplo, la sensibilidad a la interferencia, la flexibilidad del punto de conmutación, etc.).

2.5 Comparación de la utilización normalizada del espectro para DDF y DDT

La utilización del espectro puede caracterizarse mediante el caudal medio total en el enlace descendente y en el ascendente, normalizado respecto a la anchura de banda total atribuida al enlace descendente y al ascendente (caudal normalizado) para una atribución de espectro y una asimetría del tráfico determinadas. La atribución de espectro es fija, mientras que la asimetría del tráfico puede variar. Para la DDF, se supone aquí una atribución simétrica del espectro.

En la DDF, el caudal para ambos enlaces puede ajustarse, independientemente entre $0 < a_{\uparrow} < 100\%$ y $0 < a_{\downarrow} < 100\%$. La utilización del espectro para la asimetría del tráfico se hace máxima si uno de los enlaces está completamente utilizado con a_{\uparrow} o a_{\downarrow} igual a 100% y el otro parámetro puede variar respecto a la relación de asimetría en menos del 100%. En el caso de que a_{\uparrow} y a_{\downarrow} sean ambos inferiores al 100%, el espectro se utiliza menos eficazmente.

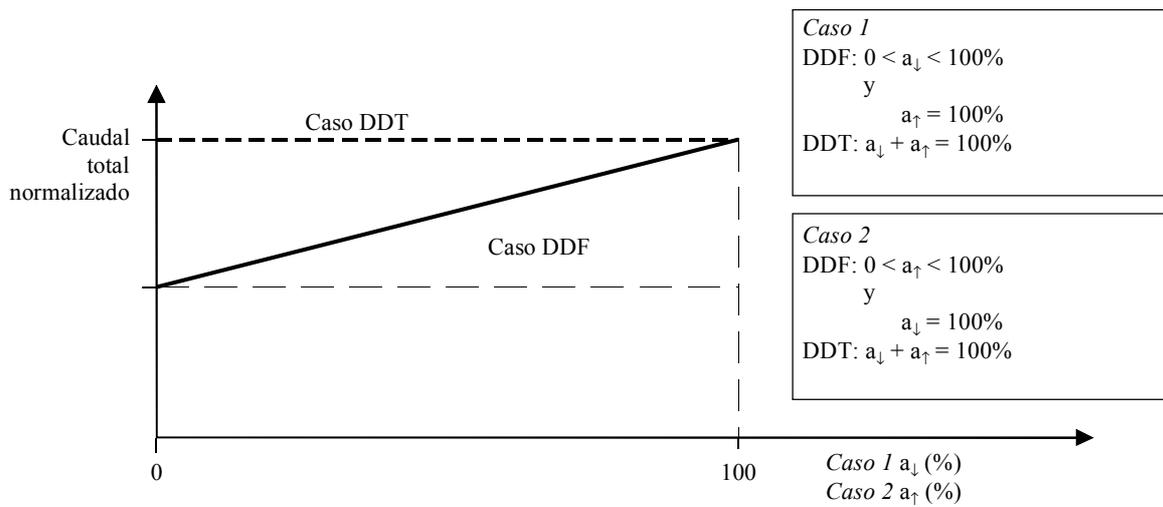
En el caso de la DDT, a_{\uparrow} y a_{\downarrow} no pueden ajustarse de forma independiente, porque en condiciones óptimas, la suma de ambas es igual a 100%. Si los intervalos de tiempo pueden ajustarse conforme a la asimetría del tráfico y se utilizan todos los intervalos de tiempo, la utilización del espectro es óptima.

Según estas hipótesis óptimas para la DDF y la DDT, la Fig. 12 muestra una comparación de la utilización del espectro en ambos esquemas dúplex, en función de a_{\uparrow} y a_{\downarrow} . El ajuste del emplazamiento del punto de conmutación entre la transmisión por el enlace ascendente y por el enlace descendente en la DDT puede estar restringido (por ejemplo, para mantener la sincronización con otras células, y la asimetría del tráfico procedente de otros usuarios de la misma célula). En dicho caso, el caudal de la DDT se aproxima al de la DDF.

La selección de una disposición dúplex adecuada depende de la aplicación (corto alcance, zona amplia, flexibilidad, disponibilidad de posible nuevo espectro por pares o no apareados, etc.). El esquema dúplex sólo es uno de los diversos aspectos que han de considerarse (otros aspectos son, por ejemplo, la sensibilidad a la interferencia, la flexibilidad del punto de conmutación, etc.). Este Anexo ofrece información sobre el compromiso entre la utilización eficaz del espectro y el caudal máximo por sentido, incluyendo otras ventajas e inconvenientes, que tienen repercusiones distintas dependiendo de los requisitos. La disponibilidad de espectro no se conocerá antes de la CMR-07. Por tanto, no pueden obtenerse aún orientaciones generales.

FIGURA 12

Comparación de la utilización normalizada del espectro en el caso de la DDF y de la DDT



Anexo 3

Innovación de sistema avanzado utilizando DDT

Los miembros de la TDD Coalition, por ejemplo, han elaborado innovaciones técnicas importantes mediante la implementación de la DDT.

Pueden obtenerse ventajas del sistema utilizando canales recíprocos - aspecto singular de los sistemas DDT. La reciprocidad del canal para portadoras únicas de frecuencia compartidas por el enlace ascendente y el descendente permite un acceso más fácil a la información sobre el estado del canal para las técnicas avanzadas de procesamiento de la señal. Por ejemplo, la reciprocidad del canal asegura que el desvanecimiento en el enlace ascendente y en el descendente guardan una estrecha correlación. Como las características del canal son las mismas en ambos sentidos, cualquier recurso de procesamiento de la señal para el proceso de las variables espacio/tiempo/ecualización/frecuencia puede compartirse entre el transmisor y el receptor. Así pues, la DDT es una tecnología singularmente adecuada para el procesamiento avanzado de la señal en áreas de control de potencia en bucle abierto, multirayecto nuevo y combinación de antenas, así como en las técnicas de procesamiento tiempo-espacio, con un aumento menor de costos.

Por ejemplo, pueden añadirse los sistemas de antenas adaptables implementando un procesamiento avanzado de la señal en la EB y compartiendo la información de ponderación del canal con las unidades de abonado. Ello permite aumentar la eficacia espectral del sistema en un orden de magnitud sin aumentar el costo del equipo de procesamiento (CPE). Otro ejemplo son las redes en malla. Estos sistemas innovadores que utilizan una arquitectura hasta ahora más habitual en los sistemas militares de ondas decamétricas, pueden realizarse más fácilmente con la implementación de la DDT. La planificación de la red y de las frecuencias en un sistema en malla DDF (multipunto-multipunto) es significativamente más difícil que en el caso de los sistemas punto a punto multivía o punto a multipunto (zona coordinada).

Otra área de innovación es la del control de MAC. El funcionamiento DDT permite establecer configuraciones muy dinámicas y variadas de la trama temporal de la capa física. Los sistemas DDT tienen una flexibilidad muy superior para tratar el tráfico ascendente/descendente dinámico, pues pueden ajustar de forma adaptable la separación entre el ciclo de trabajo del enlace ascendente y del descendente a fin de encajar los requisitos del servicio. Los sistemas DDT dinámicos son mucho más eficaces en términos de anchura de banda que los sistemas DDF tradicionales para el tráfico futuro multimedia centrado en los datos. Implementando protocolos inteligentes («atentos al canal») de control de MAC y utilizando la arquitectura superior que ofrece la DDT, puede lograrse una multiplicación del caudal, una ganancia estadística de multiplexación y la reducción de los retardos de paquetes.

1 Introducción

La técnica DDT ofrece una solución para los servicios de alta velocidad de datos asimétricos y da flexibilidad al despliegue de redes en entornos diversos, incluyendo el urbano cargado, los de punto caliente y los entornos en interiores cargados, así como una amplia gama de aplicaciones a costo reducido. La DDT sirve para todas las aplicaciones vocales y de datos, permitiendo una utilización eficaz del espectro en la mayoría de los servicios intensivos en datos. Constituye la interfaz aérea más eficaz para las aplicaciones asimétricas de datos «por ráfagas» y un modo «siempre abierto». Esta capacidad es crucial a medida que aumente el número de aplicaciones Internet inalámbricas y servicios multimedia para consumidores y usuarios empresariales durante los próximos años. La tecnología DDT ofrece pues a los operadores una oportunidad de poder desplegar una capacidad suficiente para incrementar su ingreso medio por usuario (ARPU) mediante la oferta de servicios de datos exigentes en anchura de banda y asimétricos.

La DDT se basa en el concepto de transmisión y recepción por la misma frecuencia, lo que significa que los canales de enlace ascendente y de enlace descendente experimentan ambos las mismas condiciones aproximadamente del canal radioeléctrico. Esta reciprocidad en el enlace ascendente y en el descendente puede utilizarse al máximo para introducir técnicas nuevas e innovadoras en las que puede efectuarse el procesamiento intensivo de la señal en la EB o en el terminal de usuario, y dicha estación de base será capaz de utilizar información procedente del canal para mejorar al máximo el sistema. Estas técnicas (que se describen en los puntos siguientes) pueden utilizarse para mejorar la cobertura y la capacidad.

La DDT también es rentable para el despliegue de la red pues puede potenciar la infraestructura de un despliegue únicamente DDF aportando una capacidad de tamaño adaptable para «puntos calientes» en la que el tráfico combinado de voz y de datos contará con el apoyo de una arquitectura múltiple de macrocélulas, microcélulas y picocélulas.

En general, la DDT ofrece una plataforma a los sistemas posteriores a las IMT-2000. El punto siguiente abunda en ello.

2 DDT mejoradas – Plataforma clave para los sistemas posteriores a las IMT-2000

Algunos de los aspectos clave inherentes de la DDT, así como los desarrollos que actualmente llevan a cabo los Grupos de Trabajo y Comisiones de Estudio generadores de normas hacen de la DDT una plataforma ideal para los sistemas posteriores a las IMT-2000. A continuación se describen ejemplos de los aspectos clave.

2.1 Soporte de velocidad de datos elevada

La tecnología DDT se está mejorando para ir hacia un soporte de velocidades de datos cada vez mayores. Ello está en línea con la utilización creciente de los datos prevista. Las modulaciones de

orden superior combinadas con la adaptación rápida del enlace aportarán técnicas adaptables de modulación y codificación que reducen los requisitos de señal/ruido y permiten establecer comunicaciones de datos más eficaces, incrementando de hecho la capacidad de transporte de datos del sistema. Además, las técnicas mejoradas de diversidad y las de antenas inteligentes contribuirán al soporte del tráfico de datos de gran velocidad. Asimismo, las técnicas tales como la ARQ híbrida y sus variantes harán que las transmisiones de datos sean más eficaces desde el punto de vista de la interfaz aérea. Se están introduciendo estos aspectos y otros que permitirán a la DDT dar soporte a velocidades de datos constantemente crecientes.

La capacidad de la DDT para ofrecer multiplexación tanto del tiempo como del código, la hace más interesante para los esquemas de acceso en alta velocidad, porque permite una utilización más flexible y eficiente de los recursos del canal físico, que le dan una mejor integración de los distintos tipos de servicio (es decir, voz, datos, etc.). Ello a su vez aporta una capacidad superior, así como una eficacia espectral mayor.

Además, la reciprocidad inherente del enlace ascendente y el descendente en la DDT hará más factible desplegar técnicas tales como las de antena inteligentes y las técnicas de diversidad para poder dar soporte a tráfico de datos de velocidad superior.

2.2 Mayor eficacia espectral

Además de las técnicas de procesamiento de la señal y los esquemas de modulación mencionados anteriormente, los algoritmos de atribución de recursos muy eficaces hacen que la DDT sea eficaz espectralmente, en especial cuando se aplica a datos asimétricos, tales como los de los servicios relacionados con Internet. Los denominados algoritmos de atribución dinámica lenta y rápida del canal aseguran que los recursos unitarios se atribuyen de forma óptima al enlace ascendente y al descendente.

2.3 Mejora de la planificación y la cobertura de células

La DDT ofrece una segunda «dimensión» en la planificación de células, cuando se despliega junto con los sistemas DDF. Al abordar áreas de puntos calientes, de división de células y de servicio de utilización intensiva de datos, pueden establecerse sistemas DDT y DDF de forma que se aprovechen las ventajas de cada uno de ellos. Al efectuar la planificación de células, las zonas de cobertura DDF y DDT pueden tratarse casi de forma independiente y ofrecer al operador un nuevo plano de mapas de cobertura si se respetan las prácticas de coexistencia.

2.4 Despliegue flexible y de datos IP

A medida que las demandas de velocidad de datos se incrementan, los tamaños de célula se reducen, evolucionando hacia micro y picocélulas. La tecnología DDT también puede ofrecerse en formato de picocélula, orientándose hacia usuarios de velocidad de datos elevada en apoyo de aplicaciones IP que exigen grandes anchuras de banda. Con la DDT se planifican arquitecturas de estación de base y terminales de usuario que aprovechan plenamente los algoritmos de detección multiusuario, la diversidad y las técnicas de procesamiento de antenas que exigen dichos entornos.

2.5 Soluciones multimodo integradas

La dinámica de las entidades de normalización y de sus actividades indican actualmente la pronta aparición de más de una norma para los sistemas posteriores a las IMT-2000 con múltiples trayectos de evolución. La tecnología DDT se ofrecerá formando parte de productos de solución múltiple que respondan a más de una norma. Los aspectos inherentes de la DDT mejorada ofrecen la oportunidad de lograr arquitecturas comunes rentables junto a otros sistemas posteriores a las IMT-2000.

3 DDT actual e innovación emergente en el sistema

La DDT ofrece una oportunidad excelente para la innovación de los sistemas futuros gracias a sus aspectos inherentes. Uno de sus aspectos clave es la capacidad de transmitir y recibir por la misma frecuencia lo que permite a las técnicas innovadoras aprovechar la reciprocidad de los canales de enlace ascendente y enlace descendente. A continuación se ofrecen ejemplos clave de las técnicas innovadoras que se están considerando.

3.1 Detención y reciprocidad de canal

Las características de un canal inalámbrico varían con el tiempo y la frecuencia. Se dice que los canales de enlace ascendente y de enlace descendente de un sistema de comunicación inalámbrica son recíprocos si la respuesta impulsiva del canal no varía significativamente entre las transmisiones por el enlace ascendente y por el descendente. Para los sistemas DDF, los requisitos de intervalo dúplex en la separación de las frecuencias del enlace ascendente y del enlace descendente eliminan la reciprocidad del canal. No obstante, pueden obtenerse ventajas del sistema utilizando canales recíprocos – aspecto singular de los sistemas DDT. Las respuestas del canal de enlace ascendente y del canal de enlace descendente en un sistema DDT son recíprocas si el tiempo de reposo es razonablemente pequeño. La reciprocidad del canal en una frecuencia portadora única compartida por el enlace ascendente y el descendente permite un acceso más fácil a la información sobre el estado del canal para las técnicas de procesamiento avanzado de la señal. Por ejemplo, la reciprocidad del canal asegura que el desvanecimiento en el enlace ascendente y en el descendente guardan una estrecha correlación. Como las características del canal son las mismas en ambos sentidos, cualquier recurso de procesamiento de la señal para el tratamiento de los parámetros de espacio/tiempo/ecualización y frecuencia puede compartirse entre el transmisor y el receptor. Así pues, la DDT es una tecnología singularmente adecuada para el procesamiento avanzado de la señal en áreas de control de potencia en bucle abierto, multitrayecto nuevo y combinación de antenas y en las técnicas de procesamiento tiempo-espacio, con un costo adicional reducido.

Como ejemplo de las ventajas de la detección del canal, una estación de base equipada con sistemas de antena adaptables conformadores del haz puede detectar el entorno en el enlace ascendente, pero debe extrapolar las condiciones del canal en el enlace descendente, a menos que se utilice la DDT. Mientras que las técnicas de conformación del haz introducen mejoras en los sistemas DDT y en los DDF, la utilización de un sistema de antenas para mejorar la calidad del enlace descendente de un sistema DDF suele ser un problema más difícil que en el enlace ascendente, debido a la falta de mediciones directas de la respuesta del canal de enlace descendente. Los métodos tradicionales de conformación del haz en el enlace descendente de la DDF, tales como los basados en la dirección de llegada (DoA) utilizan señales del enlace ascendente para construir la respuesta del canal de enlace descendente. Dichas técnicas exigen cálculos muy complicados y no actúan tan bien en presencia de propagación multitrayecto intensa. Además, la aplicación de una técnica ciega de conformación del haz en el enlace descendente que utilice las características espaciales del canal de enlace ascendente da lugar a un comportamiento subóptimo, debido a la separación angular entre la dirección de llegada y la dirección de partida (DoA-DoD) causada por el canal de propagación multitrayecto. Por otro lado, la descorrelación de un sistema DDF hace que los esquemas ciegos de combinación óptima del enlace descendente actúen de forma subóptima cuando el intervalo dúplex es superior a sólo unos MHz. La reciprocidad del canal en la DDT, por otra parte, actúa como una retroalimentación inherente y permite a las antenas adaptables funcionar de forma óptima para el enlace ascendente y el descendente.

3.2 Antenas adaptables

Pueden añadirse sistemas de antenas adaptables aplicando un procesamiento avanzado de la señal en la estación de base y compartiendo la información de ponderación del canal con los terminales

de usuario. En los sistemas DDT, ello permite aumentar la eficacia espectral del sistema en un orden de magnitud, sin incrementar el costo del terminal de usuario.

3.3 Detección multiusuario

En los sistemas AMDC, los usuarios están simultáneamente activos en el mismo canal, y se diferencian por sus códigos ortogonales específicos. La ortogonalidad de estos códigos protege a los usuarios contra la interferencia de acceso múltiple. No obstante, esta ortogonalidad se pierde en cierta medida en presencia de desvanecimientos selectivos con la frecuencia. Pueden utilizarse técnicas de detección multiusuario para combatir el efecto de la interferencia de acceso múltiple. Todas estas técnicas exigen un conocimiento de la respuesta impulsiva del canal. La estimación del canal, especialmente en el enlace descendente, puede efectuarse de una forma mucho más simple y eficaz con la DDT, tal como se examinó anteriormente en el § 3.1.

Anexo 4

Conceptos de antena adaptable y características técnicas fundamentales

1 Introducción

Este Anexo identifica los conceptos clave de las antenas adaptables y describe brevemente sus características técnicas. El enfoque tradicional en el análisis y diseño de los sistemas inalámbricos ha consistido generalmente en abordar los sistemas por separado de otros aspectos clave del sistema, tales como:

- los temas de propagación;
- las técnicas de reducción de la interferencia;
- la organización del sistema (técnicas de acceso, control de potencia, etc.);
- la modulación.

La forma óptima de implementar las tecnologías de antena adaptable es mediante un enfoque general del sistema en el que se integren de forma óptima todos los componentes del sistema, incluyendo el sistema de antena, lo que da lugar a mejoras considerables de la cobertura.

En este Anexo se examinan los diversos conceptos de antenas adaptables, incluyendo el concepto de «canales espaciales», y se realizan análisis teóricos del potencial de la tecnología, al tiempo que se identifican las características clave.

2 Conceptos de antena y de antena adaptable

2.1 Antena y cobertura

Adecuado para entornos simples de RF en los que no se dispone de un conocimiento específico del emplazamiento del usuario, el enfoque omnidireccional dispersa las señales, llegando a los usuarios pretendidos únicamente una fracción pequeña de la energía total radiada al entorno (o a la inversa, en el caso de las emisiones procedentes de los usuarios hacia la EB).

Dada esta limitación, las estrategias omnidireccionales tratan de superar los retos de la propagación, aumentando simplemente el nivel de potencia de las señales. En las disposiciones en que hay numerosos usuarios (y por tanto fuentes de interferencia) relativamente próximos entre sí, se

empeora una situación mala pues la amplia mayoría de la energía de la señal de RF se convierte en fuente de interferencia potencial para otros usuarios de la misma célula o de células adyacentes, más que aumentar la cuantía de la información que transporta el enlace. En aplicaciones de enlace ascendente (usuario a EB) las antenas omnidireccionales no ofrecen ventajas para las señales de los usuarios a los que se da servicio, limitando el alcance de los sistemas. Además, este enfoque de elemento único no tiene capacidad de reducción multitrayecto. Así pues, las estrategias omnidireccionales repercuten directa y adversamente en la eficacia espectral, limitando la reutilización de frecuencias.

Los sistemas de antenas por sectores toman la zona tradicional de la célula y la subdividen en sectores a los que se da cobertura utilizando múltiples antenas direccionales con apuntamiento fijo en el emplazamiento de la EB. Operacionalmente, cada sector se trata como una célula diferente. La técnica de células por sectores puede mejorar la reutilización del canal al limitar la interferencia que presenta la EB y sus usuarios al resto de la red, y se utiliza ampliamente con estos fines. Se han empleado hasta seis sectores por célula en el servicio comercial.

2.2 Antena y trayectos múltiples

En un nuevo paso hacia las antenas «más inteligentes» los sistemas de diversidad de antena incorporan dos (o más) elementos de antena cuya separación física se utiliza para combatir los efectos negativos de la propagación multitrayecto.

La diversidad ofrece una mejora de la intensidad efectiva de la señal recibida, utilizando uno de los dos métodos siguientes:

- *Diversidad conmutada (SWD)*: Suponiendo que al menos una antena esté en un emplazamiento favorable en un momento determinado, este sistema se conmuta continuamente entre antenas (conectando cada uno de los canales recibidos a la antena situada más favorablemente) para seleccionar la antena con la máxima energía de la señal. Al tiempo que reduce el desvanecimiento de la señal, la SWD no aumenta la ganancia, pues se utiliza sólo una antena en cada momento, y no ofrece reducción de la interferencia.
- *Combinación de diversidad*: este enfoque combina de forma coherente las señales procedentes de cada antena para producir una ganancia. Los sistemas de combinación de relación máxima combinan las salidas de todas las antenas para maximizar la relación entre la energía y el ruido de la señal recibida combinada.

Al contrario de los sistemas SWD, la combinación de diversidad utiliza todos los elementos de antena en todo momento para cada usuario, creando un diagrama efectivo de antena que se ajusta dinámicamente al entorno de propagación. No obstante, la combinación de diversidad no garantiza el máximo de ganancia para cada usuario particular. Como los algoritmos que determinan la estrategia de combinación tratan de hacer máxima la energía total de la señal, más que la de un usuario en particular, el diagrama efectivo de antena puede de hecho dar una ganancia máxima para los elementos radiantes distintos de los del usuario deseado (por ejemplo, los usuarios cocanal de otras células). Ello es especialmente así en los entornos de interferencia elevada que son típicos de un sistema celular fuertemente cargado.

2.3 Sistemas de antena e interferencia

Otros sistemas de antena más sofisticados pueden reducir el otro factor de limitación importante en los sistemas inalámbricos celulares: la interferencia cocanal. A los fines de la transmisión, el objetivo es concentrar la potencia de RF hacia cada usuario de un canal radioeléctrico únicamente cuando se requiere, limitando de esta manera la interferencia causada a otros usuarios en células adyacentes. Para la recepción, el objetivo es dar una ganancia máxima en la dirección del usuario

deseado, limitando simultáneamente la sensibilidad en la dirección de otros usuarios cocanal. Ello supone un sistema de antena con capacidades de orientación instantánea de enlace: puede lograrse esto con la tecnología de sistemas de antena en fase, en particular con las técnicas digitales de conformación del haz.

Además, utilizando un gran número de elementos simples de antena se obtiene una nueva dimensión para el tratamiento de la diversidad.

2.4 Sistemas de antena adaptable

La aparición de procesadores digitales de la señal potentes y económicos, de procesadores multifunción y de ASIC (circuitos integrados de aplicación específica), junto al desarrollo de técnicas de procesamiento de la señal basadas en el soporte lógico han convertido en conjunto los sistemas avanzados de antenas adaptables en una realidad práctica para los sistemas de comunicaciones celulares. Los sistemas de múltiples antenas combinados con las técnicas digitales de conformación del haz y el procesamiento avanzado económico de la señal de banda de base, abren un campo nuevo y prometedor para mejorar los sistemas de comunicación inalámbrica.

Los términos utilizados habitualmente hoy en día que abarcan los diversos aspectos de la tecnología de sistema de antena «con inteligencia» incluyen antenas inteligentes, sistemas de antena en fase, procesamiento espacial, conformación digital del haz, sistemas de antenas adaptables, etc. Los sistemas de antenas adaptables se clasifican generalmente como sistemas de «haz conmutado» o de «grupo adaptable». No obstante, ambos comparten múltiples características del equipo y se distinguen principalmente por su inteligencia adaptable.

En el centro de un sistema de antena adaptable hay un conjunto de elementos de antena (generalmente, entre 4 y 12), cuyas salidas se combinan para controlar de forma adaptable la transmisión y la recepción de la señal. Los elementos de la antena pueden disponerse en configuraciones lineales, circulares, planas o aleatorias y a menudo van instaladas en el emplazamiento de la EB, aunque también pueden implementarse en el terminal móvil. Cuando una antena adaptable dirige su lóbulo principal con una mejora de la ganancia para dar servicio a un usuario en una dirección particular, los lóbulos laterales y los nulos del sistema de antena (o las direcciones de ganancia mínima) se dirigen en diversas direcciones desde el centro del lóbulo principal. Sistemas diferentes de haz conmutado y de antena inteligente adaptable controlan los lóbulos y los nulos con diversos grados de precisión y flexibilidad.

2.4.1 Antena de haz conmutado

Los sistemas de antena de haz conmutado forman múltiples haces fijos con mayor sensibilidad en direcciones particulares. Estos sistemas de antena detectan la intensidad de la señal, eligiendo uno entre varios haces fijos predeterminados, sobre la base de combinaciones ponderadas de salidas de antena con la máxima potencia de salida en el canal del usuario distante, y conmutando entre un haz y otro a medida que el móvil se desplaza por el sector. Estas elecciones están controladas por técnicas de procesamiento digital de la señal en RF o en banda de base. Los sistemas de haz conmutado pueden considerarse como una estrategia de «micro-sectorización».

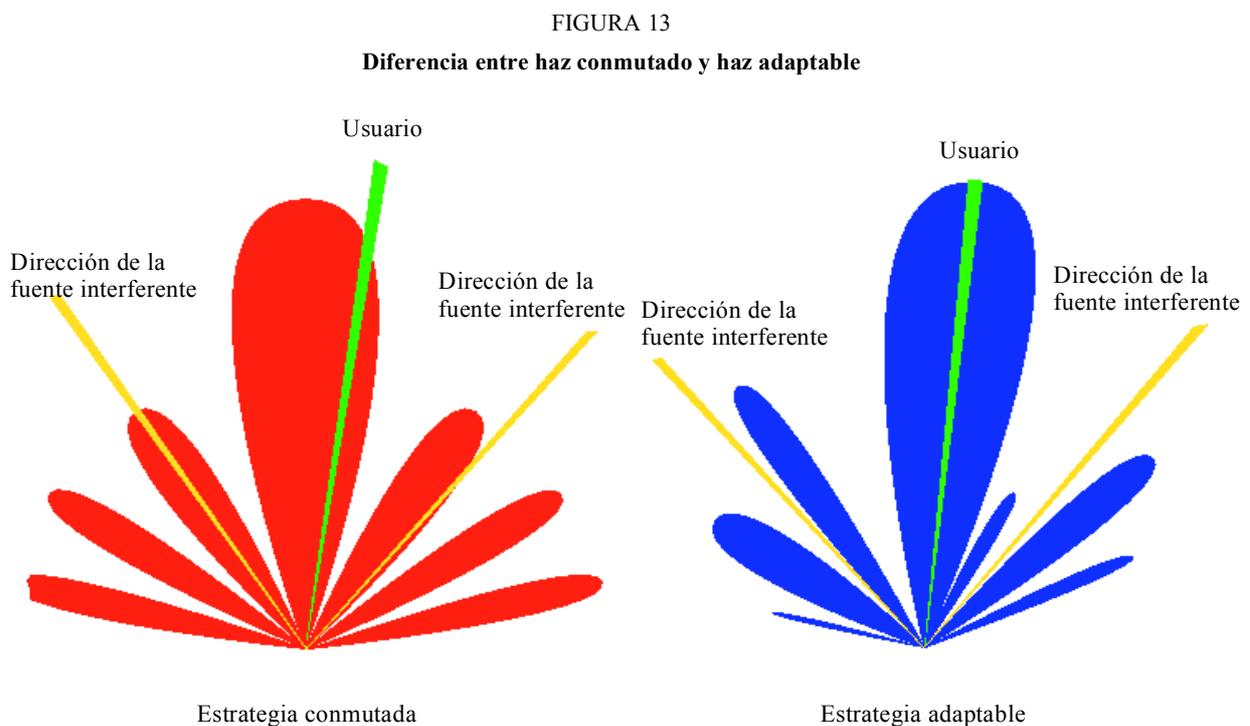
2.4.2 Sistema de antenas adaptables

La tecnología de antenas adaptables representa el enfoque más avanzado hasta la fecha. Utilizando diversos algoritmos de procesamiento de la señal, un sistema adaptable trata de forma efectiva de identificar y seguir todas las señales de interés y las fuentes de interferencia presentes, a fin de minimizar dinámicamente la interferencia y maximizar la recepción de las señales de interés. De la misma manera que un sistema de haz conmutado, un sistema adaptable tratará de aumentar la

ganancia basándose en la señal del usuario recibida en los distintos elementos del sistema de antenas. No obstante, únicamente el sistema adaptable ofrece una ganancia óptima al tiempo que reduce simultáneamente la interferencia. La combinación de diversidad adapta también de forma continua el diagrama de antena en respuesta al entorno. La diferencia entre éste y el método de antenas adaptables radica fundamentalmente en la riqueza de los modelos en los que se basan las estrategias de procesamiento de los dos sistemas. En un sistema de diversidad, el modelo parte simplemente de que sólo hay un usuario en la célula, en el canal radioeléctrico de interés. En el sistema adaptable, el modelo se amplía para incluir la presencia de fuentes interferentes y, a menudo, el historial temporal relativo a las características de propagación del usuario. Con este segundo modelo, es posible discriminar entre usuarios y fuentes interferentes, incluso con relaciones señal/ruido reducidas, y ofrecer una ganancia fiable y una reducción de la interferencia simultáneamente.

El enfoque de sistemas de antenas adaptables para la comunicación entre un usuario y la estación de base aprovecha efectivamente la dimensión espacial, adaptándose al entorno de RF – incluida toda la constelación de usuarios y de otros emisores – a medida que varía, conforme a estrategias predefinidas. Este enfoque actualiza continuamente los diagramas de radiación y de recepción del sistema de la EB, basándose en los cambios de la configuración relativa de las señales deseada e interferente. En particular, la capacidad de seguir de forma eficaz a los usuarios mediante los lóbulos principales de la antena y a las fuentes interferentes mediante los nulos asegura la maximización constante del balance del enlace. Implementando digitalmente las estrategias de antena inteligente, es posible que la EB pueda aplicarse a una estrategia separada y a medida para cada canal activo del sistema, mediante un grupo simple de antenas y un conjunto de circuitos electrónicos radioeléctricos.

La diferencia entre los dos enfoques – haz adaptable y conmutado – se ilustra de forma simple en la Fig. 13, que representa el comportamiento de los algoritmos adaptables respecto a las fuentes de interferencia y la señal deseada.



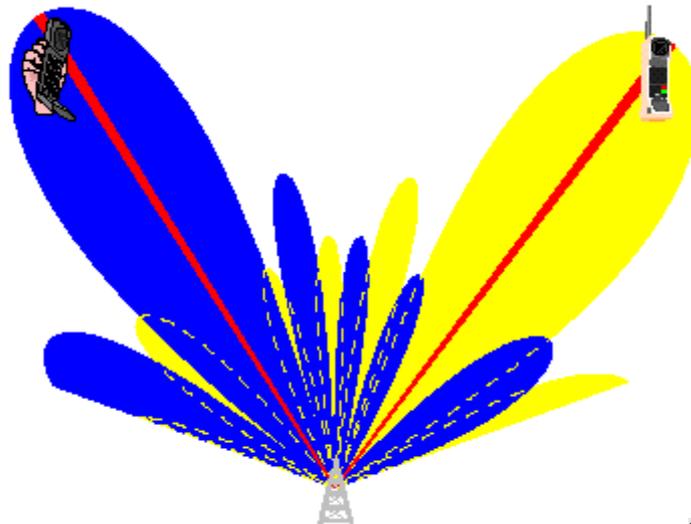
2.4.3 Procesamiento espacial: enfoque plenamente adaptable

Utilizando algoritmos sofisticados y circuitos y microprocesadores potentes de procesamiento, el «procesamiento espacial» aprovecha la ventaja de la reutilización de frecuencias resultante de la supresión de la interferencia a un nuevo nivel. Fundamentalmente, el procesamiento espacial crea dinámicamente un haz diferente para cada usuario y asigna frecuencias y canales de forma constante en tiempo real. El procesamiento espacial maximiza la utilización de antenas múltiples para combinar de forma útil señales en el espacio, mediante métodos que van más allá de la metodología de «un usuario-un haz».

Dependiendo de los detalles de la interfaz aérea y de la definición del servicio, los denominados «canales espaciales» pueden crearse de forma segura mediante el procesamiento espacial, en el que cada canal temporal convencional (por ejemplo, la frecuencia y el intervalo de tiempo o la combinación de códigos) puede reutilizarse dentro de la célula, logrando un factor de reutilización inferior a uno. La Fig. 14 representa dicha situación para dos usuarios. Los canales espaciales o la reutilización intra-célula se emplean operacionalmente hoy en día en los sistemas celulares comerciales. Aunque el concepto de reutilización intra-célula puede parecer extraño, se aplica ya desde hace tiempo, cuando se dispone de una selectividad espacial en la distribución y captación de energía radioeléctrica procedente de la célula. Dependiendo de la interfaz aérea, puede ser adecuada una selectividad espacial o aislamiento para los diversos emplazamientos en la célula de tan sólo 10 dB.

FIGURA 14

Estrategia de canales espaciales de dos usuarios; reutilización = 0,5



2038-14

La eficacia espectral general, definida como el número de bits/s/Hz/célula puede aumentarse unas 20-40 veces o incluso más en los sistemas prácticos, mediante el uso de antenas adaptables (por ejemplo, PHS, GSM). A nivel mundial, se han desplegado ya más de 140 000 sistemas basados en antenas adaptables para los diversos sistemas celulares de microondas, móviles y fijos (acceso fijo inalámbrico FWA).

3 Efectos de las antenas adaptables en la coexistencia DDT/DDF

El efecto directo de la coexistencia es debido al hecho de que la energía de RF radiada por los transmisores se enfoca hacia zonas específicas de la célula y no es constante en el tiempo. Esta característica desempeña un papel importante en la determinación de la probabilidad de interferencia en escenarios de coexistencia, especialmente en el contexto de los despliegues de sistema

mixto DDT/DDF. Aunque un caso más desfavorable absoluto pueda parecer prohibitivo, el factor estadístico que introduce la utilización de antenas adaptables, determina el porcentaje de tiempo en el que se produce el caso más desfavorable. Si este porcentaje es satisfactoriamente pequeño, pueden relajarse, por ejemplo, las reglas establecidas de coexistencia, contribuyendo con ello a la economía del despliegue. Puede utilizarse el enfoque de Montecarlo en el análisis estadístico para estudiar las mejoras que pueden obtenerse de las antenas adaptables. En las simulaciones realistas de sistema IMT-2000, se obtuvieron mejoras significativas en términos de distancias seguras de coexistencia (que se redujeron considerablemente) o en la reducción del requisito de aislamiento de RF en las EB. En algunos casos todo aislamiento adicional resulta actualmente suficientemente reducido para que pueda lograrse de forma fácil y simple, adoptando las prácticas de ingeniería de un emplazamiento de fácil coexistencia, y en otras situaciones, los casos en los que de otra manera la coexistencia sería imposible, resultan prácticos.

4 Consideraciones sobre el diseño de la interfaz radioeléctrica

4.1 Enlace ascendente

La alineación de la temporización o la discrepancia de la temporización entre bits de la señal puede variar debido a las variaciones de fase, y la frecuencia de llegada puede desviarse respecto a la frecuencia de transmisión debido a que las diferencias en los osciladores locales y las señales multi-trayecto pueden dar lugar a fluctuaciones en los niveles de la señal recibida. El resultado neto es una tasa de errores binarios elevada o una señal irrecuperable, si no se la corrige. Puede intentarse corregir estas anomalías en la antena utilizando la diversidad de antena conmutada o la combinación de relación óptima. No obstante, el análisis de la señal después de que abandone el demodulador y la utilización de mecanismos de retroalimentación para corregir continuamente la señal son las formas con que pueden conseguirse mejoras máximas.

Los grados de libertad para corregir estas anomalías aumentan si pueden analizarse diferentes muestras de la misma señal procedentes de múltiples cadenas de antenas/receptor como si fuera una misma señal que llega a los distintos elementos de antena con características ligeramente diferentes, es decir, con diferencias de fase y amplitud. Esas anomalías, junto con otros parámetros temporales pueden analizarse por separado y en conjunto para optimizar la señal última que se retransmite a la red de conmutación. Otro factor de calidad que puede mejorarse significativamente al analizar señales de esta manera es el rechazo C/I , o en otras palabras, el rechazo que puede aplicarse a la interferencia procedente de señales que no ofrecen interés y aislarse, para limpiar la señal deseada, lo que lleva a unas mejores cobertura de células y calidad de la llamada.

A fin de lograr estas mejoras de calidad, los costos de la adición de amplificadores de potencia en una EB con múltiples antenas pueden llegar a ser menores que el costo del amplificador de potencia en una EB convencional con una sola antena. Los costos del amplificador aumentan desproporcionadamente con la potencia de salida y el costo de múltiples amplificadores de potencia que pueden integrarse en la antena resulta inferior hoy en día al de un amplificador de potencia superior que tenga la misma potencia radiada equivalente.

4.2 Enlace descendente

Utilizando la reciprocidad, es posible lograr el mismo aumento de la calidad en el sentido del enlace descendente. Ello es fácil con la técnica de DDT, pero resulta más difícil cuando se utiliza en un DDF, si bien no es insuperable. Los canales de señalización de radiodifusión presentan también dificultades especiales, pero pueden encajarse con soluciones innovadoras.

4.3 Unidad de abonado

Para ciertas aplicaciones, puede ser económicamente factible incorporar el procesamiento en la antena adaptable de la unidad de abonado, con lo que aumenta la ganancia del enlace descendente y se reduce la interferencia en todo el sistema del enlace ascendente. También es posible obtener beneficios significativos mediante estrategias más simples en el enlace ascendente cuando hay antenas adaptables únicamente en la EB. La implementación del control de potencia en el enlace ascendente mejorará la calidad general de la red, ya que una interferencia menor equivale a más capacidad. El acoplo estrecho del control de potencia en el abonado con la estrategia general de mejora de la calidad puede aumentar significativamente la calidad de la red.

4.4 Nuevas interfaces radioeléctricas óptimas

A lo largo de los últimos diez años, se ha realizado una gran labor para aumentar la eficacia de las redes inalámbricas. Este esfuerzo se ha enfocado en gran medida hacia los tipos de modulación, la codificación del canal y los métodos de acceso. A continuación se enumeran algunas áreas en las que un diseño minucioso, teniendo en cuenta las antenas adaptables, puede acercarse más estrechamente al óptimo total.

4.5 Métodos de duplexión

Tal como se ha mencionado, las ventajas de la DDT respecto a la DDF son evidentes debido a la reducción significativa de la descorrelación entre los canales de enlace ascendente y de enlace descendente. Asimismo, uno de los inconvenientes iniciales de la tecnología DDT era el de los problemas asociados a la conmutación rápida entre la transmisión y la recepción, que limitaba la p.i.r.e. de una EB DDT. No obstante, combinando la señal procedente de diversos elementos independientes de transmisión, el nivel de potencia total que puede ahora conmutarse rápida y efectivamente entre encendido y apagado, aumenta de forma significativa. Al igual que en los sistemas con plena movilidad de gran velocidad terrenales de zona amplia, la utilización de bandas por pares y de la transmisión DDF puede ofrecer ventajas, mientras que los sistemas de movilidad inferior y corto alcance junto con la transmisión DDT en bandas sin aparear puede ser ventajosa para tratar el tráfico asimétrico.

4.6 Anchura de banda de la portadora

La decisión de incorporar antenas adaptables afectará a la elección de la anchura de banda de la portadora. Los sistemas de antena adaptable pueden controlar más eficazmente el entorno de RF cuando el número de usuarios significativos cocanal (vistos desde la EB) en la célula y fuera de ella, es modesto. Puede ser mejor repartir los usuarios en tramos de espectro, más que un gran número de usuarios compartan «todo» el espectro. También puede desearse considerar la variación de la correlación de la señal a lo largo de la anchura de banda, que tiende a disminuir cuando la anchura de banda del canal aumenta, volviendo más complejo el procesamiento de la antena adaptable.

4.7 Métodos de modulación

En el diseño de una interfaz aérea que utilice antenas inteligentes, deben seleccionarse los métodos de modulación para maximizar el caudal del sistema cuando se considera el nivel de interferencia de la red y la capacidad de las antenas inteligentes para rechazar dicha interferencia. Este diseño puede conducir a una estructura de modulación de tasa variable que funcione eficazmente en una gama de puntos operativos de C/I .

4.8 Métodos de señalización, control y difusión

Un punto que suele discutirse es la forma en que las antenas inteligentes pueden tratar los canales de difusión que son comunes a múltiples interfaces aéreas existentes. Se trata de un tema importante cuando al diseñar la interfaz aérea teniendo presente las antenas adaptables, las estructuras de radiodifusión pueden diseñarse de manera que funcionen bien en una estructura de antenas múltiples. Sin duda, la interfaz aérea puede contener información de radiodifusión, pero debe efectuarse un diseño minucioso de dicha estructura o de lo contrario, muchas de las ventajas de las antenas adaptables en términos de costos de estación de base pueden no obtenerse plenamente.

Lo mismo se aplica a los canales «ciegos», tales como los de radiobúsqueda, en los que la información se dirige a un único usuario (a diferencia de la información de radiodifusión), pero en que el emplazamiento de dicho usuario no es conocido.

4.9 Estructuras por ráfagas

La utilización de antenas adaptables también afectará al diseño de las estructuras de transmisión por ráfagas. Estas estructuras pueden incluir datos de «entrenamiento» que ayuden al procesamiento de la antena adaptable. Ha de tenerse en cuenta un balance entre las ventajas de la eficacia espectral y la sobrecarga de dichos datos para crear un caudal óptimo.

4.10 Estructuras de trama

Si no se consideran las antenas adaptables, la consideración principal de la estructura de trama es la latencia y la compartición de recursos. Considerando las antenas adaptables en el diseño, puede desearse tener en cuenta la velocidad con la que se actualiza la información espacial. Ello puede repercutir en la eficacia espectral, a medida que aumenta la movilidad del usuario. En general, cuanto más rápido se actualice la información espacial, mejor será la eficacia espectral cuando aumente la velocidad. Esto tiende a dar lugar a tramas de duraciones inferiores, típicamente por debajo de 10 ms.

4.11 Control de acceso al medio

La utilización de antenas adaptables puede tener repercusiones amplias en toda la cadena de protocolos. Ello incluye elementos del protocolo que tradicionalmente se han considerado en el diseño – independientemente del sistema de RF. Un área de este tipo es el acceso al medio, en el que cada vez es más importante que las interfaces aéreas sirvan para datos conmutados por paquetes con acceso aleatorio, así como en la garantía de la calidad de servicio para las que las latencias aceptables son del orden de decenas de milisegundos.

La adición de la tecnología de antena adaptable en el sistema permite la resolución de la colisión espacial en el MAC, reduciendo la retención del acceso y mejorando la calidad respecto a la que puede conseguirse con los sistemas de antena no adaptable tradicionales.

5 Conclusiones

La integración de sistemas con antena adaptable en el diseño de las futuras IMT-2000 y sistemas posteriores mejorará significativamente la eficacia espectral de estos nuevos sistemas radioeléctricos. La ganancia de la eficacia espectral obtenida por los sistemas de antena adaptable puede utilizarse no sólo para reducir el número de estaciones de base (células) necesarias al despliegue de una red IMT-2000, sino también para obtener un aumento significativo de las velocidades de datos con una cantidad limitada de espectro.

6 Bibliografía

- COMPTON [1988] *Adaptive antennas: Concepts and performance*. Prentice Hall.
- ETSI [septiembre de 2001] ETSI TR 125 942 V4.0.0 (2001-09) Technical Report. Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); RF System Scenarios. European Telecommunications Standards Institute.
- FARINA [1991] *Antenna based signal processing techniques for radar systems*. Artech House, Boston, Estados Unidos de América.
- HAYKIN, S. (Ed.) [1991] *Advances in spectrum analysis and array processing*. Vol. II. Prentice Hall.
- HAYKIN, S. [1991] *Advances in array processing*. Prentice Hall.
- HAYKIN, S. [1991 y 1996] *Adaptive filter theory*. Prentice Hall.
- HUDSON [1981] *Adaptive arrays principles*. Peter Peregrinus.
- KIM, K. y otros [2000] *Handbook of CDMA System Design, Engineering and Optimization*. Prentice Hall.
- LAIHO J. y otros [2002] *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. Wiley.
- LIBERTI, J. C. y RAPPAPORT, T. S. [1999] Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications. *Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies*.
- LITVA, J. [1996] *Digital Beam forming in Wireless Communications*. Artech House.
- MOZINGO y MILLER [1980] *Introduction to adaptive arrays*. Wiley Interscience.
- RAPPAPORT, T. S. Smart Antennas: adaptive arrays, algorithms and wireless position location: Selected Readings IEEE.
- RAPPAPORT, T. S. [1996] *Wireless communications*. Wiley.
- WIDROW, B. y STEARUS, S. D. [1985] *Adaptive signal processing*. Prentice Hall.

Anexo 5

Técnicas de múltiple entrada y múltiple salida

1 Introducción

Las técnicas de MIMO utilizan antenas multielemento en ambos extremos del enlace con algoritmos de procesamiento de la señal que emplean de forma positiva los canales con propagación por trayectos múltiples existentes en las comunicaciones móviles terrenales. Para la propagación en un entorno urbano típico, se ha demostrado que se incrementa con ello la capacidad del enlace respecto a la disponible mediante técnicas convencionales de conformación del haz.

Con la amplia gama de posibles configuraciones de antena que pueden considerarse, es habitual en la literatura y en las entidades de normalización clasificar los diversos esquemas de antenas múltiples en dos categorías, por el número de antenas de transmisión utilizadas y por el número de antenas de recepción empleadas. Así, una combinación de antenas para un enlace se describe llamándola [$M_{\text{Transmisión}}, N_{\text{Recepción}}$] o más simplemente, esquema de tipo [M, N].

Los actuales sistemas 2G tienen terminales con una antena y por tanto utilizan generalmente:

[1,2] – por ejemplo, diversidad de recepción utilizando la combinación de relación máxima en el enlace ascendente;

[2,1] – por ejemplo, diversidad de transmisión en el enlace descendente.

Además, para algunos sistemas IMT-2000 3G se define lo siguiente:

[1,4] – diversidad de recepción adicional en el enlace ascendente;

[4,1] – diversidad de transmisión en el enlace descendente basada en la retroalimentación adaptable desde el terminal móvil.

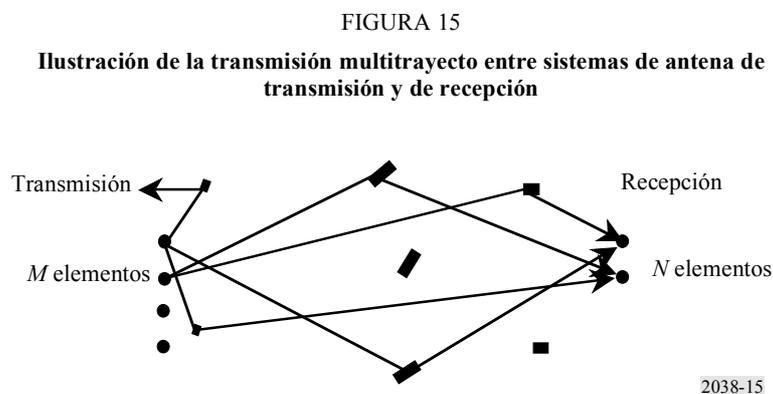
Los sistemas clásicos de conformación activa del haz son generalmente del tipo:

[$N,1$] – enlace descendente;

[$1,N$] – enlace ascendente.

2 Esquemas de antena MIMO

En un entorno de propagación típico en las bandas utilizadas por los sistemas móviles, hay evidentemente muchos trayectos para que la energía de RF pase entre los elementos de antena del transmisor y el receptor. En un enlace MIMO habrá por tanto muchos trayectos separados entre los distintos pares de antenas de elementos y la Fig. 15 muestra un diagrama de alguno de estos trayectos que pueden existir entre los sistemas de antena de transmisión y recepción.

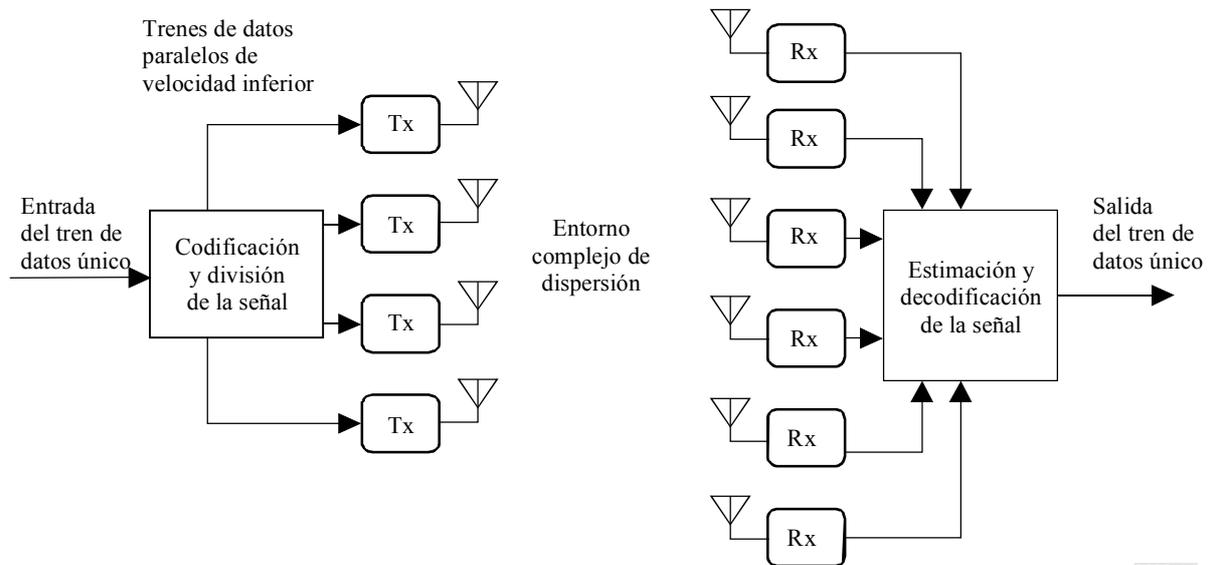


Con las técnicas de conformación adaptable del haz, las señales dirigidas a los elementos de antena y procedentes de ellos se ajustan en fase y amplitud para conformar un haz que seleccione el trayecto único óptimo entre el sistema de transmisión y el de recepción, minimizando al tiempo la ganancia de antena y la dirección de las señales interferentes no deseadas. Con múltiples elementos de antena en ambos extremos del enlace, también es posible transmitir distintos trenes de datos por alguno o por todos los elementos de transmisión y separar las distintas transmisiones por diversos receptores que maximicen cada uno de ellos una señal, al tiempo que minimizan las otras. Este proceso puede ofrecer ventajas significativas en cuanto a capacidad respecto al enfoque simple de conformación del haz en entornos de dispersión compleja y llega a deducirse [Foschini y Gans, 1998] la capacidad obtenible con este tipo de disposición en un entorno típico de propagación móvil.

El tratamiento de la señal en estos sistemas MIMO será generalmente como el que se representa en la Fig. 16. Los trenes de datos pueden codificarse independientemente, lo que permite una decodificación más sencilla en el receptor [Foschini y otros, 1999], o puede obtenerse el potencial máximo del método incluyendo todos los trenes de datos en un esquema de codificación bidimensional [Foschini, 1996]. La capacidad máxima se obtiene cuando se utiliza una retroalimentación desde el receptor para ajustar la división de potencia, la codificación y la modulación en el transmisor.

FIGURA 16

Esquema de las funciones de transceptor MIMO



2038-16

Estas técnicas MIMO están sujetas actualmente a una gran actividad de investigación y los puntos siguientes informan sobre orientaciones generales hacia las posibles mejoras que pueden obtenerse, y el tipo de entornos de propagación en el que estas técnicas ofrecen el potencial máximo para incrementar la capacidad de una red. No pretenden ser resultados definitivos y en las referencias se señalan otros análisis más detallados disponibles.

3 Eficacia espectral de los sistemas MIMO en enlaces aislados

La capacidad (bit/s/Hz) de un enlace MIMO $[M, N]$ viene dada por:

$$C = B \log_2 (\mathbf{I}_N + r\mathbf{H}\mathbf{H}^H/M)$$

donde:

B : anchura de banda

\mathbf{I}_N : matriz de identidad N por N

r : relación media S/N

\mathbf{H} : matriz M por N cuyo elemento (m,n) -ésimo es la amplitud compleja entre el transmisor m -ésimo y el receptor n -ésimo.

Se ha supuesto una información perfecta sobre el estado del canal en el receptor (en otras palabras, los datos de la matriz \mathbf{H} se conocen exactamente). En un entorno de dispersión abundante, los datos de \mathbf{H} son variables independientes e idénticamente distribuidas según una función aleatoria gaussiana compleja. En estas condiciones y con la adicional de que r es mucho mayor que uno, a medida que el número de antenas aumenta y $M = N$, la capacidad se acerca a:

$$C = BM \log_2(r/e)$$

Por un lado, utilizando la conformación de haz, el sistema de antena se hace más direccional a medida que M aumenta, dando lugar a un aumento lineal de la S/N . Por tanto la capacidad viene dada por:

$$C = B \log_2 \left[1 + Mr \sum_{n=1}^N |h_n|^2 \right]$$

en donde h_n es la amplitud compleja en el receptor n -ésimo. Así pues, en un entorno de dispersión suficientemente complejo, la capacidad es directamente proporcional al número de antenas en cada extremo del enlace para el sistema $[N, N]$ MIMO operativo, pero es sólo proporcional al logaritmo del número de antenas en el caso de técnicas de conformación de haz por desfase.

(Para una explicación muy simplificada de la base de este efecto, véase la Nota.)⁴

⁴ Las ventajas desde un punto de vista espectral del enfoque MIMO se demuestran más fácilmente mediante un modelo aún más simplificado:

El límite de capacidad de un canal único se expresa mediante la fórmula clásica de Shannon:

$$C = B \log_2(1 + S/N_{Omni})$$

donde:

S/N_{Omni} : relación señal/ruido en el receptor para un canal único entre dos antenas omnidireccionales convencionales.

Si la potencia de transmisión se dispersa igualmente entre M elementos de transmisión y se utilizan M elementos de recepción con técnicas convencionales de conformación del haz por fases en ambos extremos del enlace, la capacidad se aproxima a:

$$C_{Beams} = B \log_2(1 + M^2 \cdot S/N_{Omni}) \Rightarrow B \{2 \log_2(M \cdot S/N_{Omni})\}$$

para una S/N razonable.

No obstante, si en condiciones ideales similares la potencia se divide entre M canales separados independientes con las mismas pérdidas del trayecto, la capacidad puede acercarse a M veces la de cada enlace $[1, M]$:

$$C_{MIMO} = MB \log_2(1 + S/N_{Omni}) \Rightarrow MB \log_2(S/N_{Omni})$$

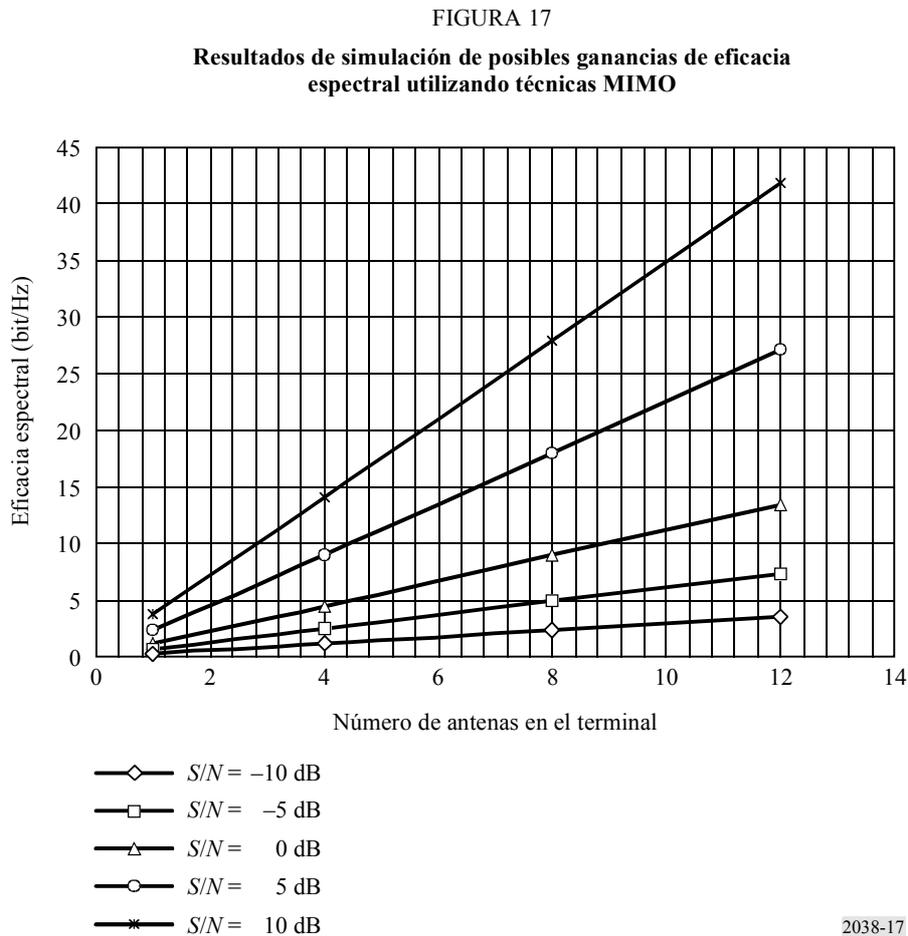
para una S/N razonable.

Esto es, evidentemente, una gran simplificación para ilustrar el efecto y se supone que las señales separadas procedentes de los canales con dispersión son independientes y no se afectan entre sí.

4 Ganancias de la eficacia espectral en un sistema celular con interferencia limitada

La Fig. 17 muestra la eficacia espectral que puede lograrse basándose en la capacidad de Shannon [Telatar, 1999]. El número de antenas en la EB y en cada terminal es el mismo.

En [Catreux y otros, 2001] figuran resultados similares para un entorno de red móvil con interferencia limitada.



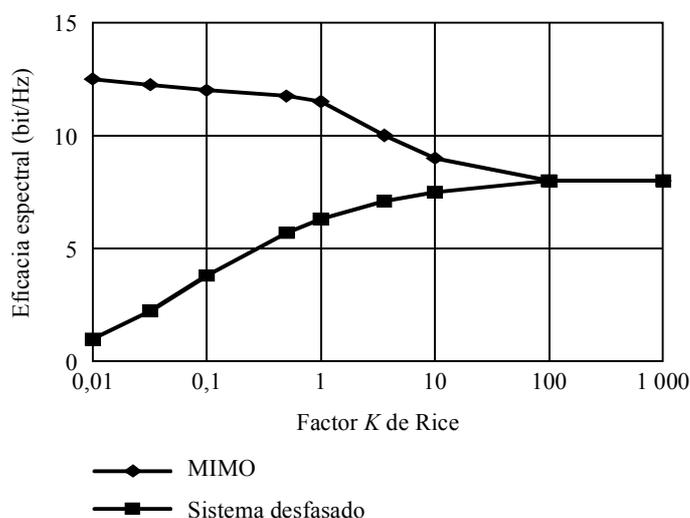
5 Variación de las ganancias de eficacia espectral utilizando técnicas MIMO para distintos entornos de dispersión

A fin de lograr las ganancias potenciales de los sistemas MIMO, es necesario tener un entorno de dispersión complejo y también es fundamental cuantificar las ganancias para los distintos entornos de dispersión. La Fig. 18 ilustra una demostración de las ganancias que es posible obtener cuando se representan los resultados de algunas simulaciones de la eficacia espectral obtenible para un enlace simple de un sistema móvil que funciona en diversos entornos de dispersión. Se establecen modelos de canales de Rice de los entornos simulados con una gama de factores K a fin de abarcar los casos que van desde la línea de visibilidad bastante directa ($K > 10$) a los entornos de dispersión abundante ($K < 0,1$).

Estos resultados se obtuvieron en condiciones ideales de información perfecta sobre el estado del canal en el transmisor y en el receptor, con una S/N de 10 dB.

FIGURA 18

Eficacia espectral de un enlace utilizando un esquema de antena* con técnica MIMO y conformación del haz en un sistema de antenas desfasadas para distintas condiciones de canal con dispersión



* [Raleigh y Cioffi, 1998; Foschini y otros, 1999]

2038-18

6 Variación de la capacidad del enlace MIMO en una red celular

A fin de poder planificar las redes que emplean técnicas MIMO, es necesario disponer de modelos de la distribución de capacidad de los enlaces con los terminales individuales que permitan efectuar estimaciones de ingeniería de la capacidad del sistema, el caudal total y la probabilidad de interrupción de la capacidad.

Este tema es el centro de una gran actividad de investigación, por ejemplo, en [Smith y Shafi, 2001 y 2002b] que muestra que la distribución de la capacidad MIMO para los canales clásicos de Rayleigh tiende hacia una distribución gaussiana, a medida que aumenta el número de antenas de transmisión y de recepción. Las simulaciones de las que informan estos documentos muestran que la aproximación gaussiana de la capacidad es razonablemente precisa, incluso para sistemas con tres o más antenas en cada extremo del enlace, y en [Smith y Shafi, 2001] se dan expresiones exactas de la media y la varianza de la capacidad gaussiana para un número determinado cualquiera de antenas de transmisión y recepción.

Se demuestra [Smith y Shafi, 2002] que la distribución de la capacidad MIMO para condiciones de desvanecimiento de Rice puede también expresarse como una variable aleatoria gaussiana con dependencia similar del número de antenas de transmisión y de recepción.

Estos temas se desarrollan con más detalle en [Smith y Shafi, 2002a] donde se examina la capacidad MIMO sometida a la influencia de diversos algoritmos de atribución de la potencia en el transmisor, y se demuestra que la aproximación gaussiana sigue siendo válida para las distintas estrategias estudiadas de atribución de la potencia. Entre ellas están las de potencia igual para cada antena, la técnica clásica de «hidrorrelleno» con perfecto conocimiento de las condiciones del canal y una nueva estrategia que da una mejor capacidad que las dos primeras para estimaciones subideales de las condiciones del canal. Se demuestra que todos estos métodos de atribución de la potencia dan una capacidad del enlace que puede aún aproximarse mediante una variable única aleatoria gaussiana para los canales con desvanecimiento de Rayleigh y de Rice.

7 Temas de implementación

La introducción de las técnicas MIMO en los sistemas de comunicación inalámbrica supone una serie de retos de implementación. En la EB, el efecto máximo es probable que radique en el aumento de los requisitos de RF y de cableado, debido al mayor número de elementos de antena de transmisión/recepción, hasta que se desarrollen estructuras más integradas de antena, receptor y transmisor. No obstante, los retos más importantes radican en el terminal en el que deben superarse las limitaciones de tamaño, potencia y costo.

Las iniciativas de investigación deben abordar la viabilidad de los terminales que emplean técnicas MIMO o de diversidad, haciendo hincapié particular en la optimización de la calidad del sistema de antena terminal en escenarios realistas de despliegue macro-celular y con los factores restringidos de conformación de los terminales futuros tales como computadores portátiles, agendas personales y aparatos de mano. Los retos claves estarán en el diseño de antenas con pequeña correlación dentro de un espacio tan reducido y buena calidad en entornos realistas de propagación en interiores y en exteriores, errante y móvil, así como en las dificultades de minimizar las interacciones entre las distintas funciones del terminal (EMC).

Se han investigado ya diversas antenas terminales para varios factores de forma, incluyendo las unidades de base picocelulares [Smith y otros, 1997 y 1999] y los terminales de acceso inalámbrico fijo [Kitchener y Smith, 1998]. En los dos primeros casos, las antenas son meramente internas a un alojamiento normalizado, mientras que en el tercero, el factor de forma del terminal se adapta para lograr una calidad de la antena óptima. Ambos enfoques constituyen opciones para las implementaciones futuras de antenas de terminal diversas o MIMO. En el contexto de un terminal autónomo, por ejemplo, el de un computador portátil, un aspecto importante es el de si los elementos de la antena del terminal son planos sobre una mesa (por ejemplo, en la unidad de base) o están orientados verticalmente (en la pantalla) y parte del reto es hacer que el diseño sea robusto respecto a diversos despliegues [Smith y otros, 1997 y 1999].

Un elemento clave en el desarrollo de los sistemas de antena MIMO es la optimización del diseño para trabajar en los canales de propagación MIMO de los escenarios de despliegue pretendidos. El canal de propagación MIMO es una área actual de estudio en las organizaciones de producción de normas 3GPP y 3GPP2 a las que ha llegado una serie de contribuciones de diferentes compañías. Además el equipo del proyecto de investigación COST 259 ⁵ se ha valido de diversos resultados de mediciones de la propagación para llegar a un modelo de canal de exteriores-exteriores y dicho equipo COST 273 ⁶ pretende ampliar su tarea con actividades a nivel de subgrupo, incluyendo los sistemas MIMO, las antenas de terminal de mano, las mediciones del canal y los modelos de éste.

Se prevé que la investigación en curso en la industria arroje resultados en las áreas siguientes:

- Modelos del canal de propagación MIMO para escenarios de despliegue macro-, micro-, y picocelulares que sean suficientemente detallados para poder efectuar una evaluación teórica de las configuraciones MIMO y de la antena de terminal con diversidad.
- Diseños de sistema genérico de antena para computadores móviles, agendas personales, unidades autónomas y aparatos de mano.

⁵ <http://www.lx.it.pt/cost259/>.

⁶ <http://www.lx.it.pt/cost273/>.

- Compresión de la interacción entre el diseño de antena multielemento y el entorno complejo de propagación localizada.
- Diseño de algoritmos eficaces de procesamiento de la señal y de los esquemas de codificación asociados con los que se logra gran parte de las ganancias de capacidad que prevé la teoría, pero que pueden implementarse con niveles muy inferiores de potencia de procesamiento [Ariyavisitakul, 2001].

Hay temas de implementación realmente sustanciales por resolver antes de que puedan utilizarse las técnicas MIMO para incrementar la capacidad de las redes de comunicación móvil. No obstante, es útil considerar la complejidad del logro de velocidades de datos elevadas con la misma anchura de banda del canal, utilizando esquemas de modulación de orden superior. Para un enlace MIMO que utilice antenas [4,4] y modulación de cuatro estados, el enlace equivalente de un canal simple tendría que utilizar constelaciones de modulación de 256 puntos para la misma velocidad de símbolos. Con una modulación de 16 puntos que no es irrazonable en el sistema MIMO [4,4], sería necesario implementar una modulación en cierto modo poco realista de 4096 puntos en el canal único de alta velocidad.

8 Conclusiones

Los esquemas de antena MIMO ofrecen el potencial de aumentar considerablemente la capacidad de los sistemas móviles. En particular, tiene en el potencial máximo para establecer enlaces de gran velocidad y mayor capacidad en los entornos urbanos densos en los que la demanda de capacidad es la máxima. Como tales, constituyen una técnica complementaria a la de conformación convencional del haz y a las técnicas de diversidad utilizadas con sistemas similares de antena. Por tanto, se prevé que las redes avanzadas adapten el procesamiento de las señales que van a las antenas y procedentes de éstas para funcionar en todos los modos simultáneamente, en un emplazamiento único de EB. Con esto se optimizará la capacidad total de células y de las velocidades de datos individuales para los terminales con distintas disposiciones de antena que se muevan entre distintos entornos radioeléctricos.

9 Referencias Bibliográficas

- ARIYAVISITAKUL, S. L. [agosto de 2001] Turbo Space-Time Processing to improve Wireless Channel Capacity. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 49, **8**, p. 1347.
- CATREUX, S., DRIESSEN, P. F. y GREENSTEIN, L. J. [agosto de 2001] Attainable Throughput of an Interference-Limited Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Cellular System. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 49, **8**, p. 1307-1311.
- FOSCHINI, G. J. [otoño de 1996] Layered Space-Time Architecture for Wireless Communications in a Fading Environment When Using Multi-Element Antennas. *Bell Labs Tech. J.* p. 41-59.
- FOSCHINI, G. J. y GANS, M. J. [1998] On Limits of Wireless Communications in a Fading Environment when Using Multiple Antennas. *Wireless Personal Comm.*, **6**, p. 315-335.
- FOSCHINI, G. J., GOLDEN, G. D., VALENZUELA, R. A. y WOLNIANSKY, P. W. [noviembre de 1999] Simplified processing for high spectral efficiency wireless communication employing multi-element arrays. *IEEE J. Selected Areas in Comm.*, Vol. 17, p. 1841-1851.
- KITCHENER, D. y SMITH, M. S. [24 de febrero 1998] Low cost antennas for mobile communications. Proc. IEE Colloquium 1998/206 on «Low cost antenna technology».

- RALEIGH, G. G. y CIOFFI, J. M. [marzo de 1998] Spatio-Temporal Coding for Wireless Communications. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 46, **3**, p. 357-366.
- SHAFI, M. y SMITH, P. J. [enero de 2002] MIMO Capacity in Rician Fading Channels and its Relationship to the K-Factor. *IEEE Trans. Lett. Comm.*
- SMITH, M. S., BUSH, A. K., GWYNN, P. G. y AMOS, S. V. [septiembre de 1999] Microcell and Picocell base station internal antennas. Proc. WCNC 99, p. 708, New Orleans, Estados Unidos de América.
- SMITH, M. S., KITCHENER, D. K., DALLEY, J. E. J. y THOMAS, R. R. [abril de 1997] Low cost diversity antennas for low power wireless base stations. Proc. ICAP 97, p. 1.445, Edinburg, Reino Unido.
- SMITH, P. J. y SHAFI, M. [agosto de 2001] On a Gaussian Approximation to the Capacity of Wireless MIMO Systems. *IEEE Trans. Comm.*
- SMITH, P. J. y SHAFI, M. [2002a] Water Filling Methods for MIMO Systems. Proc. of 3rd AusCTW (4-5 de febrero de 2002), Canberra, Australia.
- SMITH, P. J. y SHAFI, M. [2002b] On a Gaussian Approximation to the Capacity of Wireless MIMO Systems. Conference Proc., ICC 2002 (abril de 2002), Nueva York, Estados Unidos de América.
- TELATAR, E. I. [noviembre de 1999] Capacity of Multi-Antenna Gaussian Channels. *Euro Trans. Telecom.* Vol. 10, p. 585-595.

10 Bibliografía

- NAGUIB, A. F., TAROHK, V., SESHADRI, N. y CALDERBANK, A. R. [octubre de 1998] A Space-Time Coding Modem for High-Data-Rate Wireless Communications. *IEEE JSAC*, Vol. 16, **8**, p. 1459-1477.
- DRIESSEN, P. F. y FOSCHINI, G. F. [febrero de 1999] On the capacity Formula for Multiple-Input Multiple-Output Wireless Channels: A Geometric Interpretation. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 47, **2**, p. 173-176.
- JEFFRIES, A. y SMITH, M. [marzo de 2002] Multiple Antenna Terminals Incorporating MIMO and Diversity Technologies. WWRF5 Research Submission, Tempe, Arizona, Estados Unidos de América.

Anexo 6

Equipo radioeléctrico definido por soporte lógico

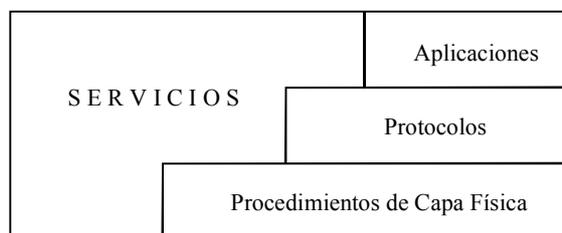
1 Introducción

Este Anexo ofrece información más detallada sobre el concepto de arquitectura de sistema SDR (radiocomunicaciones definidas por soporte lógico). Es un complemento al resto del § 3 (Panorámica de las nuevas tecnologías principales) que contiene una definición del SDR y describe sus requisitos.

Este Anexo describe las funcionalidades y una arquitectura de sistema para cumplir los requisitos establecidos en el § 3.

Las radiocomunicaciones definidas por soporte lógico conciernen por tanto básicamente a todas las capas de comunicación (desde la capa física a la capa de aplicación) de la interfaz radioeléctrica (véase la Fig. 19) y repercuten en el lado del terminal móvil y de la red.

FIGURA 19
Capas de comunicación sujetas a SDR



2038-19

Como objetivos clave, las SDR aportarán los medios para:

- la adaptación de la interfaz radioeléctrica a los diversos entornos de despliegue y normas de interfaz radioeléctrica;
- la provisión de nuevas aplicaciones y servicios posibles;
- las actualizaciones del soporte lógico;
- las posibilidades de explotación plena de servicios flexibles heterogéneos de redes radioeléctricas.

La arquitectura lógica SDR tiene que servir para las funciones siguientes:

- gestión del terminal, perfiles de usuario y de servicio en las entidades y el terminal de red;
- control eficaz de la descarga y gestión de reconfiguración para terminales y entidades de red;
- funcionalidades de negociación y adaptación para los servicios y tecnologías de acceso radioeléctrico RAT (por ejemplo, traspaso vertical);
- garantía de cumplimiento de normas.

Estas funciones son funciones lógicas, es decir, que pueden implementarse en distintos lugares de la red. Además, pueden distribuirse en la red y entre la red y el terminal.

2 Arquitectura de sistema terminal

Anteriormente, los terminales de usuario de comunicaciones móviles interactuaban típicamente con servidores de red inteligente situados en la arquitectura distribuida de la red. Los servicios de comunicación solían desplegarse en el lado de la red, lo que significaba que la mayoría del trabajo, por ejemplo, el del establecimiento de una conexión tenía que hacerlo el servidor de la red. Entre tanto, las capacidades de los terminales móviles aumentaron progresivamente y hoy en día, las capacidades del terminal tienen la suficiente sofisticación para ofrecer una contrapartida aceptable al despliegue de servicios de intercambio de datos de alta velocidad y de aplicaciones, en todo momento y en cualquier lugar. No obstante, los requisitos necesarios para utilizar los distintos servicios, basados en recursos de terminal diferentes son interfaces flexibles dentro de una arquitectura de terminal que ofrece la reconfiguración de éste. En particular, las API en el terminal tienen que aportar mecanismos que añadan, sustituyan y eliminen módulos o componentes del soporte lógico para las capas de aplicación y de protocolo.

2.1 Componentes terminales y arquitectura API para la reconfiguración

2.1.1 Definición y requisitos de la API

Una API puede definirse en los términos siguientes:

- Un conjunto de definiciones sobre las formas en que un elemento del soporte lógico se comunica con otro.
- Un método de lograr la abstracción, generalmente (pero no necesariamente) entre soporte lógico de nivel inferior y de nivel superior.
- Frecuentemente, puntos de funciones, procedimientos, variables, estructuras, etc.

Una API puede entonces considerarse como una definición de interfaz abstracta que es una descripción de las relaciones entre el soporte lógico correspondiente y/o los módulos de soporte físico, tales como el flujo bidireccional de datos y de información de control. Describe la relación de los módulos, pero no la implementación de estas relaciones. Las interfaces deben ser independientes de la implementación.

2.1.2 Componentes del terminal

Sobre la base de la arquitectura representada en la Fig. 20, hay cuatro API y capas principales identificadas necesariamente para un proceso de reconfiguración eficaz y flexible:

API:

- *API de terminal*: Interfaz con el «mundo exterior» que incluye toda interacción con los servicios del proveedor o de terceras partes, la conexión con la red del operador, la conexión al área local en interacción con los usuarios.
- *API modular*: Interfaz que soporta y habilita el proceso de reconfiguración entre la capa de configuración radioeléctrica y la capa de soporte lógico modular.
- *API de capa de abstracción de soporte físico*: Interfaz que permite a un sistema operativo (OS) por computador interactuar con un dispositivo de soporte físico a un nivel general o abstracto.
- *API (RT)OS*: Interfaz, control y comprobación de todo tipo de aplicaciones en marcha, así como estado de dispositivos y capacidades del terminal.

Capas:

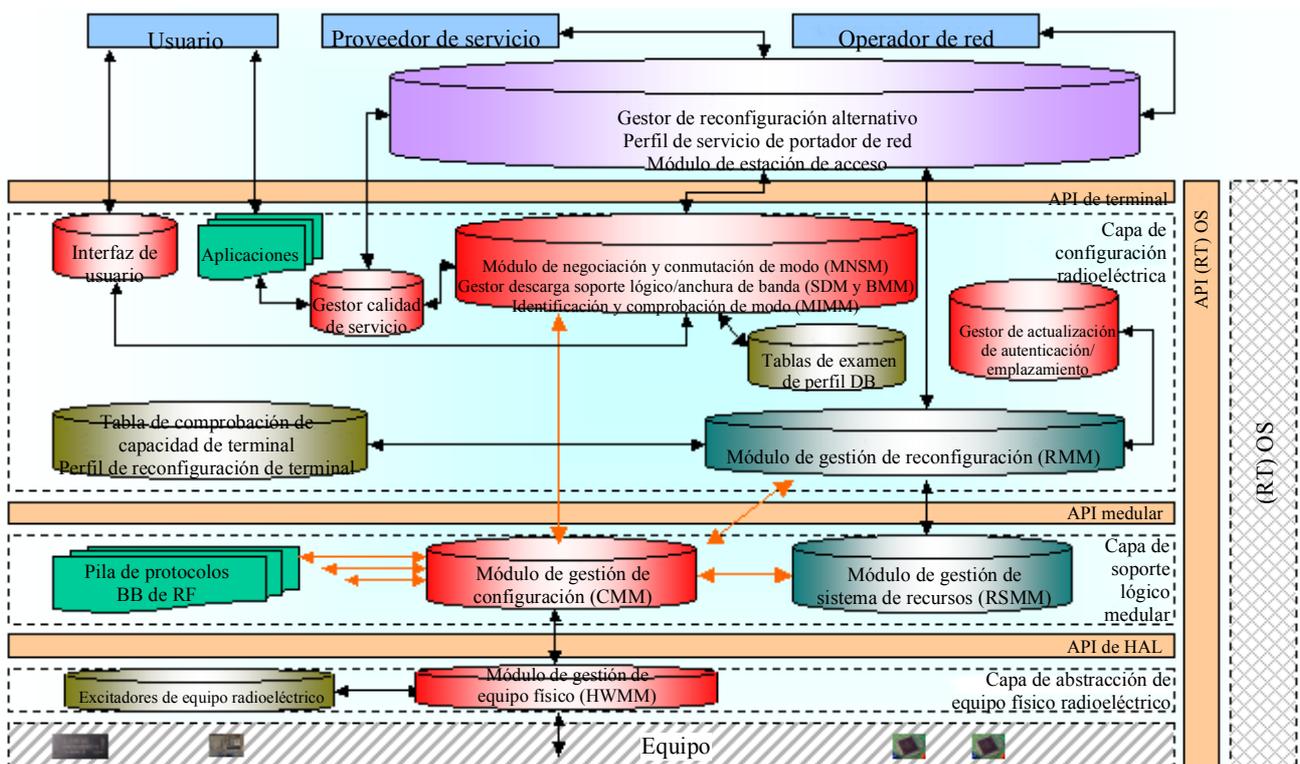
- Capa de configuración radioeléctrica.
- Capa de soporte lógico modular.
- Capa de abstracción de equipo radioeléctrico.
- Capa (RT)OS.

La capa de configuración radioeléctrica incluye todos los componentes de soporte lógico que se encargan de toda interacción con el «mundo exterior». De esta manera, el módulo de negociación y conmutación de modos (MNSM), el módulo de descarga de soporte lógico (SDM), el módulo de gestión de anchura banda (BMM) y el módulo de identificación y comprobación de modo (MIMM) se utilizan para comunicarse con el servidor de red del proveedor de servicio o el operador de red, y también con la capa de soporte lógico modular inferior a la que soportan las tablas de examen y el módulo de gestión de perfiles y reconfiguración (RMM). De esta manera, la API de terminal habilita las interfaces con los actores exteriores, tales como el usuario, la red, el proveedor o la conexión de zona local (por ejemplo, Bluetooth, RLAN, etc.). Un gestor de configuración alternativo (PRM) debe reducir la anchura de banda, los recursos de terminal y el tiempo de

conexión mediante el apoyo de servicios autónomos y negociaciones al igual que un intermediario de servicio Internet o de información. Una interfaz de usuario personalizada ayuda al usuario en la interacción con la funcionalidad de terminal completa a la que le está permitido acceder. Esto incluye el tratamiento de las aplicaciones de usuario (por ejemplo, PIM, Oficina, ...) así como la corrección de preferencias y configuraciones para la comunicación de red y los servicios.

FIGURA 20

Arquitectura API y de capas en terminales reconfigurables



2038-20

La capa de marco medular SDR (SDR-CF) contiene el CMM encargado de la temporización, comprobación y control de las componentes de soporte lógico radioeléctrico modulares. La API modular sostiene y habilita el proceso de reconfiguración entre la capa de soporte lógico de configuración radioeléctrica y la capa de soporte lógico modular.

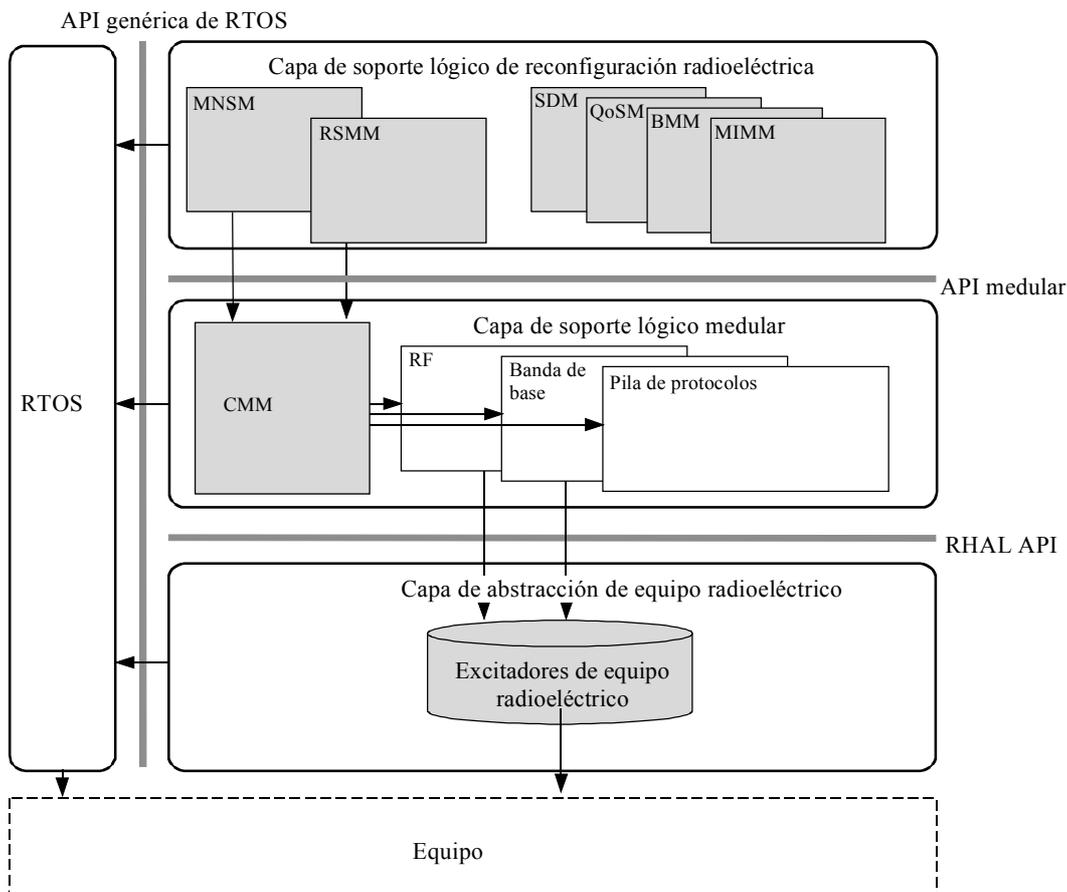
La capa OS controla las configuraciones de terminal actuales y futuras, da soporte a los gestores de dominio y a los agentes de terminal, ofrece acceso entre las capas SDR-CF e inferiores y realiza la gestión de datos y recursos (tablas de examen, capacidades, perfiles, ...).

Para la visualización simple, las dos Figuras que siguen reflejan la arquitectura API mencionada en forma esquemática. Sólo está desatendida la API de terminal, porque esta API contiene un grupo de interfaces normalizadas que no dejan gran margen para nuevos elementos de desarrollo. Ambas Figuras, la Fig. 21 utiliza una capa de abstracción de equipo radioeléctrico, mientras que en la Fig. 22 se toman como base para explicar los procesos e interacciones entre las API, las interfaces y las componentes de participación (soporte lógico y soporte físico) de forma abstracta.

Empezando por la parte inferior de la figura y subiendo hacia arriba, el primer elemento es el propio equipo terminal. Ejemplos de ello son los equipos de procesamiento, tales como DSP y microcontroladores, los equipos específicos de función, tales como ASIC, mezcladores y osciladores, los equipos reconfigurables y los dispositivos de entrada/salida. Todo lo que está por encima del equipo es algún tipo de soporte lógico. Hay cuatro conjuntos de soporte lógico; los tres representados

horizontalmente corresponden a las *capas de soporte lógico*, mientras que el cuarto se representa verticalmente y puede considerarse que es una *sección de soporte lógico*. Esta sección es el sistema operativo. En un sistema incorporado en tiempo real, se tratará de un sistema operativo en tiempo real (RTOS). El RTOS ofrece servicios normalizados (por ejemplo, programación de tareas, gestión de memoria, tratamiento de interrupciones, ...) a todas las capas de soporte lógico. La implementación de estos servicios varía desde un RTOS a otro, según sea de origen comercial o de desarrollo propio. A fin de mantener una interfaz común con estos servicios normalizados, para cualquier RTOS determinado, esta API se representa en la Fig. 21 por la barra vertical entre las capas de soporte lógico y el RTOS.

FIGURA 21
Arquitectura de bajo nivel (incluyendo RHAL)



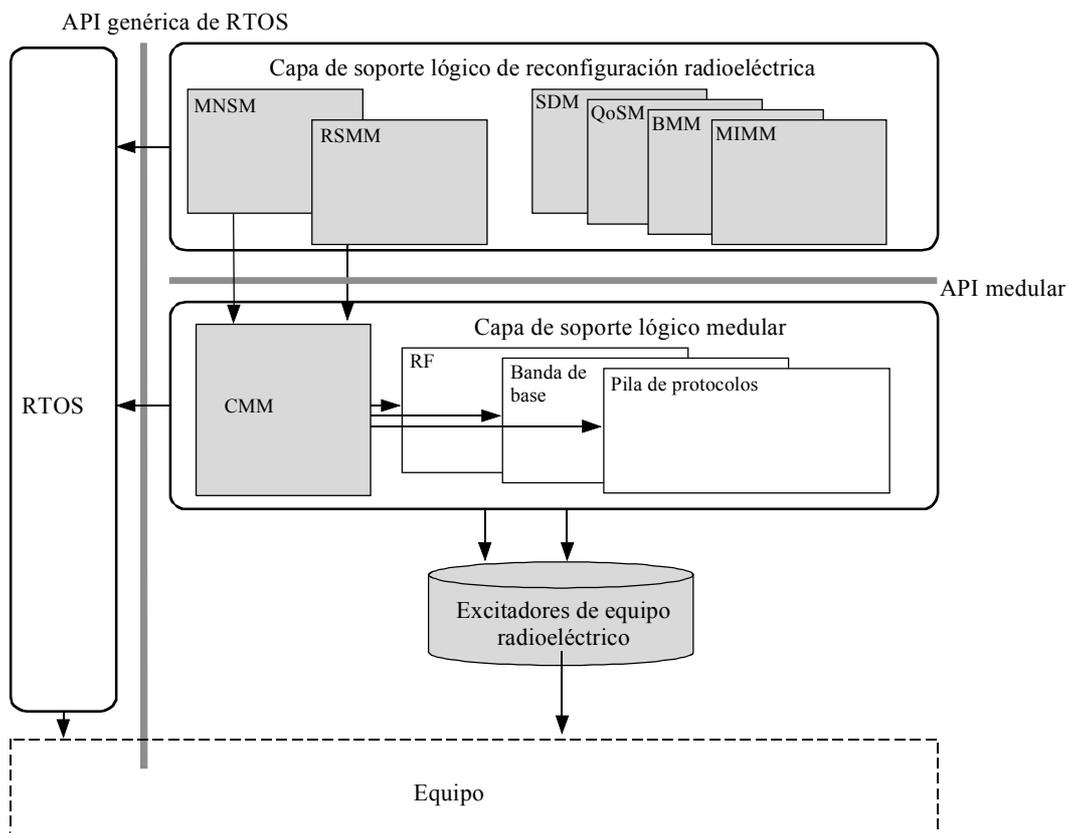
2038-21

Un RTOS puede también dar soporte a otros servicios; en particular, utilizando *excitadores de dispositivos*, puede servir para la entrada/salida de los dispositivos normales de los equipos. En un terminal reconfigurable, muchos de los dispositivos del equipo estarán asociados a la funcionalidad radioeléctrica; por ejemplo, los mezcladores y osciladores del dominio de RF y los aceleradores ASIC en el dominio de la banda de base. Además, los dispositivos de equipo reconfigurable habilitarán los aceleradores de equipo radioeléctrico flexible. Como el número y el tipo de estos dispositivos variará entre una clase de terminal y otra, no es probable que se les pueda dar un soporte genérico de sistema operativo. El acceso al equipo radioeléctrico directo se efectuará a través de una *capa de abstracción de equipo radioeléctrico*, tal como se representa en la Fig. 21 como la primera capa de soporte lógico por encima de la del equipo.

Esta capa contiene una biblioteca de *excitadores de equipo radioeléctrico*, de los que cada uno publica una interfaz de soporte lógico con los servicios del equipo radioeléctrico para los que se suministra. Las aplicaciones de soporte lógico en las capas superiores acceden a estos servicios a través de la *API de capa de abstracción de equipo radioeléctrico* (API RHAL). Este mecanismo para el acceso directo al equipo radioeléctrico, sin un sistema operativo intermedio, también es fundamental para optimizar la calidad en términos de velocidad y potencia.

Puede verse que la API RHAL dependerá de la clase de terminal, debido a las variaciones del equipo al que se da soporte. Podría entonces considerarse que no es una API; ello no es general a nivel conceptual de un terminal reconfigurable. Llegando al extremo, se obtiene una arquitectura alternativa como la que se muestra en la Fig. 22. Esta arquitectura no contiene una capa de abstracción de equipo radioeléctrico y una API; se accede directamente a los excitadores de equipo radioeléctrico desde una biblioteca que va incluida en el terminal. No obstante, se prefiere la arquitectura anterior, dada la posibilidad de normalizar algunos componentes del equipo al nivel de un terminal reconfigurable genérico y también porque puede ser necesario normalizar el mecanismo real del soporte lógico para acceder a los excitadores de equipo.

FIGURA 22
Arquitectura de bajo nivel alternativa



2038-22

Siguiendo hacia arriba en la arquitectura de la Fig. 22, se llega a la *capa de soporte lógico medular*. Esta capa contiene los componentes del soporte lógico radioeléctrico medular para la configuración radioeléctrica actual. Típicamente, incluye los componentes de RF, de banda de base y de pila de protocolos. Además, el CMM se encarga de la temporización, comprobación y control del soporte lógico radioeléctrico medular. Se incluye una API, la *API medular*, de forma que la capa inmediatamente superior, la *capa de soporte lógico de reconfiguración radioeléctrica*, pueda acceder a los servicios que ofrece la capa medular.

La capa de reconfiguración radioeléctrica se ocupa de todos los aspectos de la reconfiguración y contiene los componentes siguientes:

- módulo de gestión de reconfiguración (RMM)
- módulo de descarga de soporte lógico (SDM)
- gestor de calidad de servicio
- módulo de negociación y conmutación de modos (MNSM)
- módulo de identificación y comprobación de modos (MIMM)
- gestión de la anchura de banda (BMM).

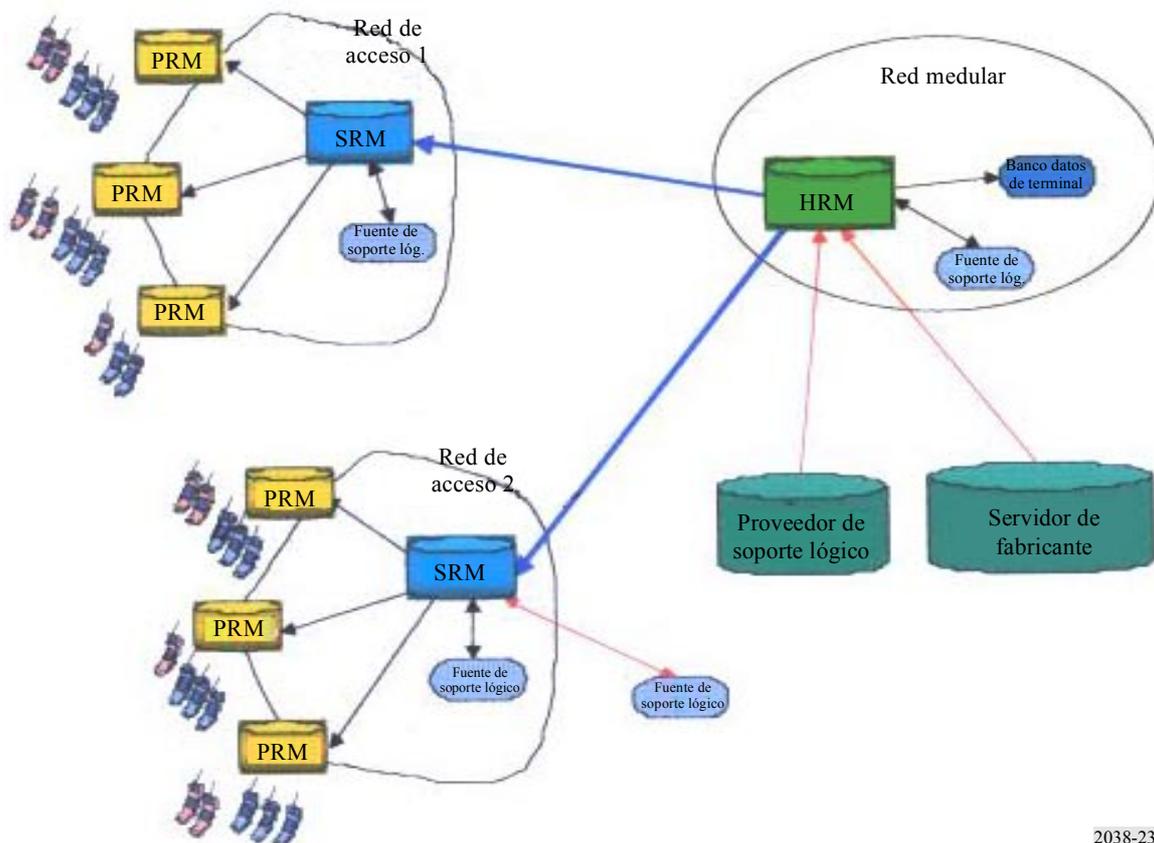
Tanto el MNSM como el RMM invocan servicios del CMM a través de la API medular; el primero, para modificar la configuración de soporte lógico medular y el último para obtener cifras de utilización de recursos. En una arquitectura abierta por capas, también sería posible que una capa acceda a los servicios de cualquier capa situada más abajo, si es necesario. Por ejemplo, podría ser conveniente que el RMM obtenga cifras de utilización de recursos directamente utilizando la API RHAL.

3 Arquitectura de red que sirve para terminales reconfigurables

Un modelo jerárquico de la arquitectura de la red para terminales reconfigurables se basa en un enfoque central de red (véase la Fig. 23) que implica la asociación del gestor de reconfiguración propio (HRM), el gestor de reconfiguración de servicio (SRM) y el gestor PRM. Esta arquitectura amplía las redes de acceso radioeléctricas celulares clásicas.

FIGURA 23

Gestores de reconfiguración que agrandan las redes celulares clásicas



En el caso de que el soporte lógico de modo necesario para otra tecnología de acceso radioeléctrico no esté ya almacenado en el terminal, el PRM debe entregar los módulos de soporte lógicos requeridos. Dado el gran número de esquemas distintos de acceso radioeléctrico y de terminales diferentes, el PRM no almacena cada módulo posible de soporte lógico. Por tanto, esta arquitectura de reconfiguración incluye una arquitectura de gestión de reconfiguración jerárquica. A fin de acelerar el proceso de reconfiguración, cada PRM guarda los módulos de utilización más frecuente dentro de su red de acceso.

Surge una dificultad en la aceleración del proceso de reconfiguración, si los módulos de soporte lógico necesario no están disponibles en el actual PRM ni en el nuevo PRM. Para ello, el PRM entra en contacto con su SRM y le informa sobre el soporte lógico adecuado. En ese caso el SRM se responsabiliza de la provisión del soporte lógico y lo envía al PRM solicitante.

Las interacciones entre el terminal y la red son cruciales, pues la anchura de banda disponible en el enlace inalámbrico es un recurso limitado que debe utilizarse para los servicios, más que para las negociaciones. Además, los recursos del propio terminal suelen estar también generalmente limitados. A fin de liberar al terminal de la carga de las interacciones frecuentes con entidades de red, la información procedente de la red puede obtenerse generalmente a través del PRM, que está situado en la red de acceso radioeléctrico. Actúa como instancia alternativa para las negociaciones con otras entidades de red, en particular, el SRM y el HRM.

Las entidades medulares en el proceso de reconfiguración son los PRM situados en cada red de acceso radioeléctrico. Los PRM son los puntos de contacto para cada terminal asociado a la red de acceso radioeléctrico en relación con la reconfiguración.

El PRM está a cargo de la negociación y de la obtención de todo tipo de información procedente de la red, a fin de minimizar las interacciones en el enlace inalámbrico y también para evitar el desperdicio de recursos de terminal en estos procesos de negociación y de obtención de información. El PRM actúa en nombre de terminales reconfigurables gestionados; a continuación se ofrece una relación de algunas funcionalidades del PRM:

- Intermediario de información para el terminal.
- Descubrimiento del servicio autónomo y negociación de modo (se requiere durante la negociación de modo).
- Gestión de descarga (interfuncionamiento con otras funciones RRM).
- Aviso de marca de clase de terminal.
- Registro de marca de clase de terminal y de información de capacidad.
- Almacenamiento de mediciones de terminales que funcionan en modo específico (se requieren durante la comprobación del modo).
- Almacenamiento de negociaciones de terminales que solicitan los mismos servicios portadores (se requiere durante la negociación de modo).

En el caso de una descarga de soporte lógico iniciada en el terminal, éste señala la necesidad de reconfiguración al PRM actual en la red de acceso radioeléctrico y a partir de ahí el PRM se responsabiliza de la entrega del módulo de soporte lógico adecuado. Para el soporte de conmutación de modo, el PRM realiza adicionalmente mediciones distintas e informa al terminal, así como a los PRM vecinos.

Con referencia a la descarga de soporte lógico, el PRM almacena los módulos de soporte lógico necesarios en su depósito local. Pero la capacidad total del almacenamiento en el PRM no es tan elevada. Se pretende contar con un acceso rápido a los módulos utilizados más frecuentemente. Para las peticiones menos frecuentes del soporte lógico requerido existe una interfaz entre el PRM y el banco de datos del servidor intermedio, el gestor SRM. De esta manera, la petición se retransmite y procesa en este SRM.

Otra funcionalidad de soporte posible de reconfiguración es la de la interfaz inter-PRM. Según ésta, los PRM vecinos se conectan entre sí y se les habilita para intercambiar cierta información sobre el estado actual del acceso radioeléctrico correspondiente o sobre un cambio de modo en curso de un terminal.

La reconfiguración de un terminal no sólo debe iniciarse en éste, sino que también debe ser desencadenada por una entidad externa. En el caso de una nueva versión de excitador de equipo, no es eficaz informar por separado a cada terminal.

La utilización de la multidifusión ayudaría a optimizar la distribución de contenidos. Para la mejora en masa de los terminales, podría utilizarse el mecanismo de multidifusión a fin de evitar la sobrecarga de la red. La idea es que cada fabricante de terminal, diseñador de aplicaciones, etc., cuente con su propio servidor. Si un terminal se registra con su perfil en el PRM, éste conoce los componentes del terminal por los que puede producirse una actualización en masa. Tras el registro del terminal, el PRM se une a una sesión de multidifusión para cada componente posible. Si está en curso una actualización en masa, que inició un determinado servidor, los conjuntos de soporte lógico se entregan únicamente a los PRM que se unieron al grupo de multidifusión.

3.1 Función y emplazamiento del SRM y el HRM

La idea principal es disponer de una arquitectura distribuida jerárquicamente, que minimice la carga de la red y acelere la descarga del soporte lógico.

El HRM está situado en la red propia del terminal y recibe la información de los proveedores acerca de las nuevas actualizaciones del soporte lógico. En este caso, el HRM notifica la disponibilidad de nuevo soporte lógico a los SRM de las redes de acceso radioeléctrico y les transmite el soporte lógico en el caso de una actualización en masa. Si llega una petición de descarga de soporte lógico al HRM, éste se responsabiliza también de la autorización del terminal en el caso de una petición de descarga de un soporte lógico con licencia. Otro punto a considerar es la contabilidad de la descarga del soporte lógico. Para ello, el HRM utiliza un depósito de carga que se actualiza si se descarga el soporte lógico adecuado.

Los SRM están situados entre los PRM y el HRM. Un SRM se conecta a varios PRM y se encarga de la provisión del soporte lógico de reconfiguración a los PRM correspondientes. Así pues, el SRM gestiona por un lado un gran banco de datos de módulos de soporte lógico para el proceso de reconfiguración y por el otro es capaz de obtener soporte lógico no disponible, por ejemplo, el que procede de servidores externos o del HRM.

Tal como se ha mencionado, el HRM informa a los SRM sobre el nuevo soporte lógico y lo distribuye a los PRM correspondientes. Dada la posible heterogeneidad de las tecnologías de acceso radioeléctrico en una red móvil basada en el protocolo Internet, el tamaño de las redes de acceso radioeléctrico individuales puede variar. Si el soporte lógico debe transportarse a un gran número de PRM, los gestores de reconfiguración de servicio tienen la ventaja de minimizar la carga. Además, no se necesita cada soporte lógico disponible en cada red de acceso o en cada punto de acceso. Así pues, los PRM tratan de reducir la demora y la memoria necesaria, e intentan guardar únicamente una cantidad pequeña de ficheros; por otro lado, los SRM tienen acceso a grandes depósitos de soporte lógico y almacenan muchos más ficheros.

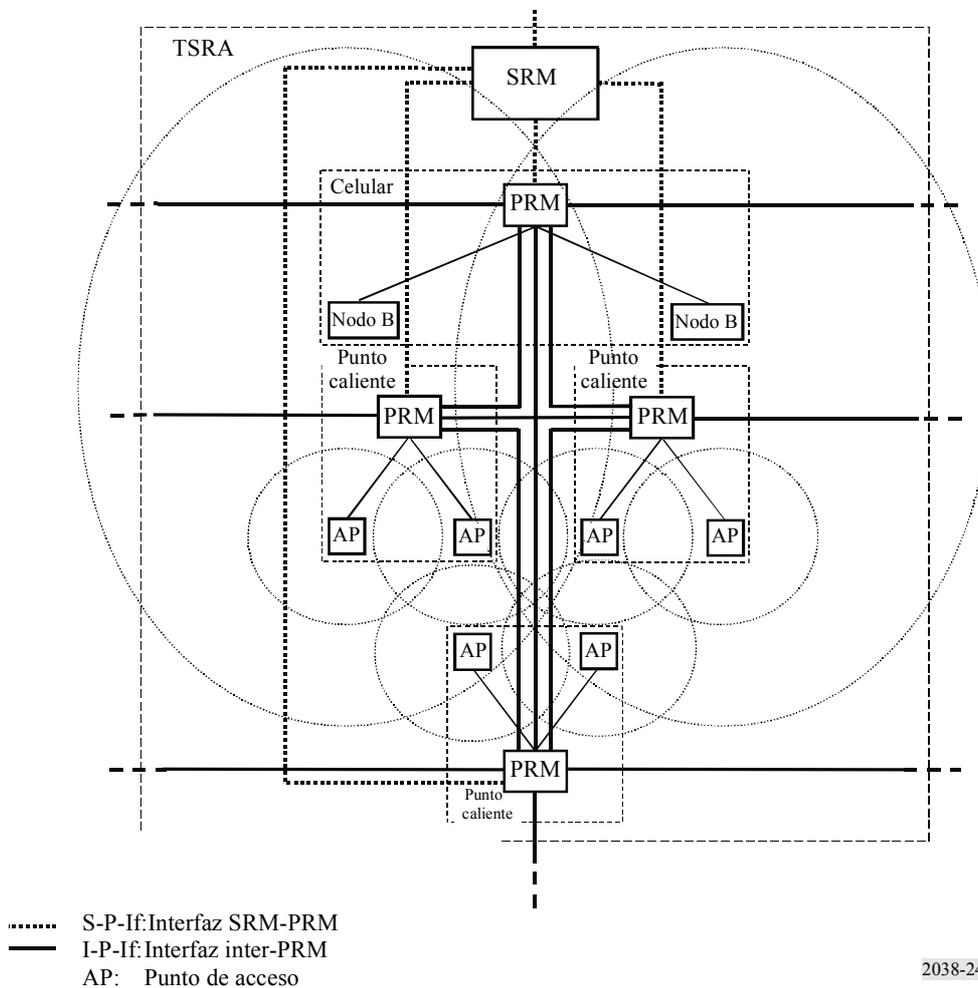
Además, el SRM puede intervenir en el control de la movilidad, en la atribución de recursos y en la seguridad de los terminales en movimiento. Ello incluye los procedimientos que requieren los trasposos a nivel vertical, la actualización del emplazamiento y el interfuncionamiento entre distintas tecnologías de acceso radioeléctrico, a fin de ofrecer la calidad de servicio deseada.

3.2 Zona de servicio de reconfiguración de terminal (TRSA)

A la zona de los PRM servidos por un SRM se le llama zona de servicio de reconfiguración de terminal (TRSA). La cobertura de la TRSA puede ser distinta de la zona de una única red de acceso radioeléctrico.

La Fig. 24 muestra un ejemplo de una zona de servicio de reconfiguración de terminal. En esta zona se sitúan diferentes tecnologías de acceso radioeléctrico. Hay tres puntos calientes de acceso (por ejemplo, IEEE 802.11 o Hiplerlan2) de gama inferior, pero anchura de banda disponible máxima y un punto de acceso celular que pertenece a la misma TRSA. Los PRM vecinos que tienen cobertura celular con superposición se acoplan entre sí mediante la interfaz inter-PRM y cada PRM tiene una conexión con el SRM local.

FIGURA 24
Ejemplos de entidades e interfaces de una zona de TRSA con distintas tecnologías de acceso radioeléctrico



3.3 Interfaz inter-PRM

En los puntos anteriores se ha mostrado ya que la funcionalidad general del PRM va más allá de la funcionalidad alternativa habitual. Una extensión del PRM puede ser una conexión a los PRM vecinos y el intercambio de información adicional a través de una interfaz inter-PRM. En primer lugar, ello puede contener una información de larga duración como la calidad de servicio general a

la que se atiende en la otra red de acceso radioeléctrico (por ejemplo, las prioridades de las distintas clases de tráfico, la velocidad binaria máxima, el retardo máximo, etc.). De esta manera, el PRM puede decidir con antelación el modo vecino que es útil y para qué modo debe realizar una exploración el terminal. Tras la detección de un modo alternativo, que promete la calidad de servicio general, el PRM puede solicitar mediciones a corto plazo al PRM vecino. La decisión final debe adoptarse tras considerar todas las mediciones.

Después de iniciar una conmutación de modo, el antiguo PRM puede transferir información de terminal útil al nuevo PRM por la interfaz inter-PRM. De esta manera, el nuevo PRM puede preparar la información relativa a las redes correspondientes de acceso radioeléctrico vecinas para el nuevo terminal y facilitarla al terminal en una etapa inicial.

Por lo que concierne a la medición y a la información de recursos, toda calidad de servicio que dé soporte a una red de acceso radioeléctrico debe ofrecer un mecanismo de reserva de recursos. Si se dispone de un gestor de recursos, el PRM puede solicitar la información a largo plazo, así como la de corto plazo a este gestor, a través de la interfaz inter-PRM y el PRM vecino y responder al gestor con antelación si se inicia una conmutación de modo. Si no hay un gestor de recursos u otra entidad de información de recursos en una red, el PRM debe medir y almacenar por sí mismo los resultados generales.

3.4 Entidades alternativas en redes basadas en el IP

Para aportar requisitos a la arquitectura de red de acceso radioeléctrico basada en el IP, se parte del escenario IP completo siguiente que da soporte a los terminales configurables. El PRM se divide fundamentalmente en servidores de usuario y de plano de control siguiendo la metodología de la RAN basada en el IP. La arquitectura de RAN basada en el IP parte de los paradigmas indicados a continuación:

Decapado

El término se refiere a la separación lógica y física de los elementos de redes en los tres planos funcionales.

- Plano de control.
- Plano de usuario.
- Plano de transporte.

El *plano de usuario* trata los datos de usuario intercambiados entre el terminal y la CN. Su tarea principal es transformar los datos de usuario en tramas radioeléctricas que transmite la EB radioeléctrica y viceversa. Dados los requisitos de procesamiento radioeléctrico en tiempo real, las funciones del plan de usuario se implementarán en una plataforma de equipo altamente especializada: el *servidor del plano de usuario (UPS)*.

El *plano de control* gestiona los recursos radioeléctricos y controla el procesamiento radioeléctrico en el plano de usuario. Las funciones del plano de control se agrupan en el *servidor de control radioeléctrico (RCS)* que típicamente es una plataforma normalizada multifunción. Una repercusión es que las funciones de control (en el plano-c) tienen capacidad de gestionar y controlar el recurso radioeléctrico del plano-u aun cuando estén relacionadas con distintas tecnologías radioeléctricas.

Protocolo de transporte IP

Todo el transporte de tráfico en la totalidad de la red se basa en datagramas IP. Así pues, la red ofrece una conectividad de extremo a extremo basada en el IP y sirve para prácticamente todos los servicios basados en el IP. Las estaciones de base radioeléctricas (EB, Nodo B) están conectadas directamente a la red de transporte IP. Ello significa que las estaciones de base radioeléctricas están conectadas con el resto de la red a través del protocolo de transporte IP.

Distribución jerárquica en funciones

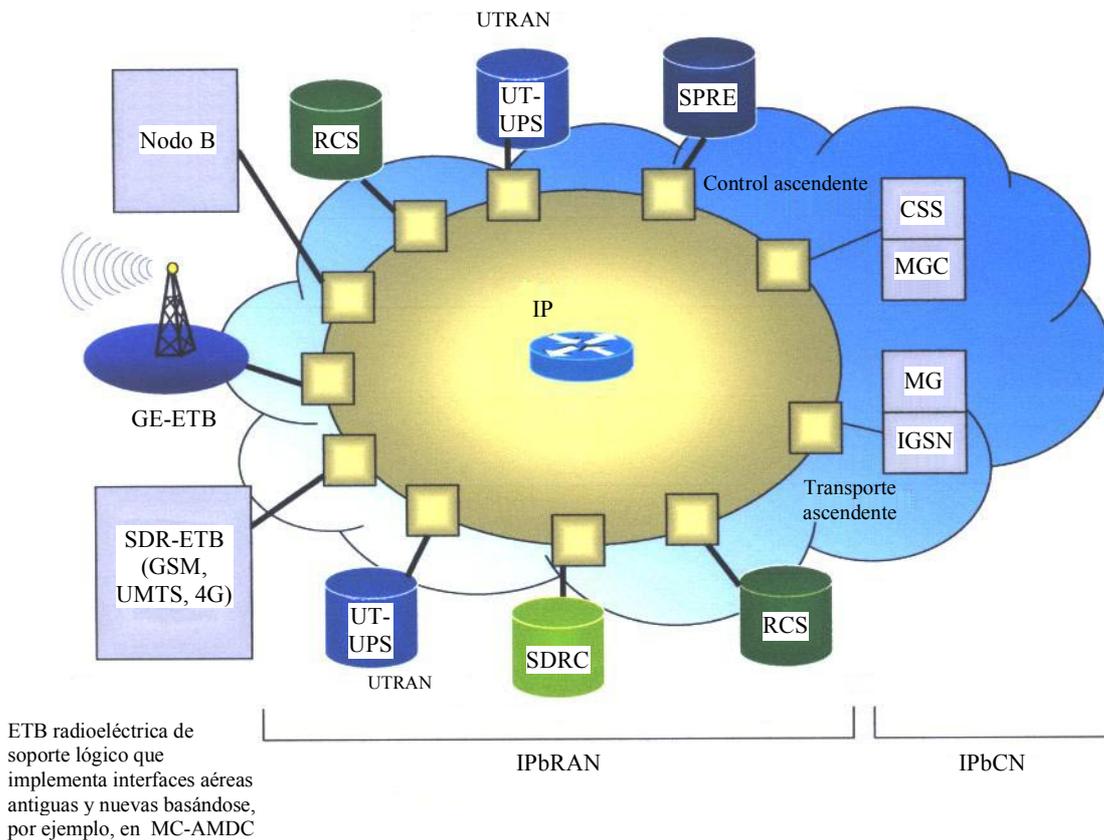
La distribución jerárquica de las funciones significa que las entidades funcionales de la red que ejecutan funciones relacionadas con una tecnología de acceso particular se agrupan en dominios funcionales denominados «redes de acceso» (IPbRAN). Las funciones comunes a todas las tecnologías de acceso vienen de una subred denominada «red medular» (IPbCN).

La división de la función en el dominio del plano-c y del plano-u introduce la posibilidad de cambio de escala y del equilibrio de la carga para las entidades alternativas y su capacidad de procesamiento. Siguiendo el mismo enfoque, el PRM se divide en el *controlador de descarga de soporte lógico y de reconfiguración* (SDRC) que recopila funciones del plano-c y el *depósito de descarga de soporte lógico y perfil* (SPRE) que recopila funciones del plano-u. Sus funciones, junto al objetivo de abordar las funciones de descarga de soporte lógico y reconfiguración se explican en los puntos siguientes.

Por ejemplo, puede utilizarse una nueva evolución de la ETB para la interfaz con un terminal SDR. Este tipo de ETB debe tener una interfaz IP y contener algunas de las funcionalidades que anteriormente radicaban en la red medular, con objeto de ofrecer capacidades multimodo.

FIGURA 25

Red basada en el IP y entidades alternativas que dan soporte a terminales reconfigurables



CSS: Servidor de conmutación de circuitos

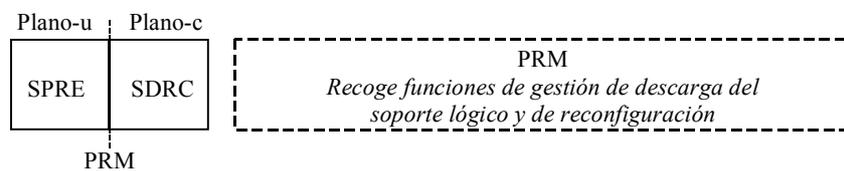
División de función en el plano de control y de usuario para el PRM

Se deduce de las funciones alternativas, que el PRM interviene principalmente en la comprobación del modo, la negociación del modo, la conmutación de modo y la descarga de soporte lógico, cuando se requiere información sobre el usuario, el terminal y los servicios y la capacidad de control. Siguiendo el enfoque de *decapado*, las funciones PRM pueden dividirse en funcionalidades

de plano-u y de plano-c. Las funciones de plano-u recogen todos los perfiles y la información necesaria para realizar la descarga del soporte lógico. Las funciones de plano-c recogen todas las funciones necesarias para realizar las operaciones de control. Se denomina:

- *SPRE*: Descarga de soporte lógico y depósito de perfiles (plano-u), la entidad lógica que recoge:
 - Perfiles de terminal, usuario, servicio
 - Módulos de soporte lógico.
- *SDRC*: Descarga de soporte lógico y controlador de reconfiguración (plano-c), la entidad lógica que acoge las funciones de control del PRM, en particular:
 - Las funciones de control de descarga del soporte lógico
 - Las funciones de control de reconfiguración.

FIGURA 26

División de funciones PRM

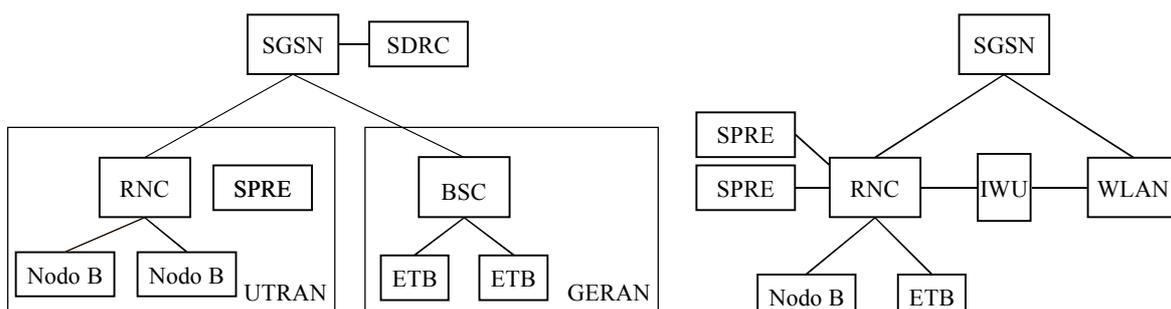
2038-26

El PRM de plano-u (SPRE) debe estar situado en la RAN, porque la información indicada a continuación tiene que estar disponible y actualizarse lo más rápidamente posible:

- Condiciones de carga del canal y del sistema
- Perfiles de servicio de usuario
- Calidad del servicio de la aplicación
- Capacidades del terminal
- Dirección y protocolos de la red.

Dependiendo del tipo de acoplamiento entre las distintas RAT y las restricciones temporales del servicio, así como de la necesidad o no de efectuar un traspaso sin discontinuidad, el PRM de plano-c (SDRC) puede estar situado en la RAN (en las proximidades o dentro del RNC) o en la red medular (en las proximidades o dentro de la SGSN). Cuando la SPRE y la SDRC están situadas ambas en la red de acceso, la interacción con el RRM es más directa y la gestión de la micro-movilidad puede efectuarse desde una función SDRC especializada. La Fig. 27 muestra el emplazamiento de la SPRE y de la SDRC en ambos escenarios.

FIGURA 27

Ejemplo de funciones de control alternativas en la red medular (izquierda) y en la RAN (derecha)

2038-27

Anexo 7

Nodos de paquetes de gran velocidad de datos (HDRPN)

1 Telefonía celular que imita la capacidad tradicional de la telefonía alámbrica

El objetivo del concepto de comunicación radioeléctrica celular era, anteriormente, imitar lo más cercanamente posible el servicio facilitado al usuario mediante un teléfono alámbrico normal. Era necesario hacerlo así, de forma que el usuario telefónico pudiese emplear la telefonía celular al igual que un teléfono normal y que la red telefónica fuese utilizable para los suministradores del servicio telefónico celular en la interconexión de larga distancia. Esto hizo que la telefonía celular fuese mucho más fácil de vender, especialmente en las fases iniciales. La utilización de la red telefónica para la prestación de la componente de larga distancia del servicio celular significaba que la tarea principal era la de simular la parte de acceso local de la red telefónica. Técnicamente, no se trataba de una tarea muy difícil, aunque la búsqueda de soluciones económicas y espectralmente eficaces supuso un reto. Una solución que reasignaba el equipo de estación de base costoso y el espectro sobre una base de llamadas individuales resultó ser satisfactoria para el tráfico vocal de tipo telefónico.

2 La red telefónica tradicional pasa a formar parte de una red de datos

Entretanto, las utilizaciones del propio teléfono se fueron ampliando rápidamente. Con la llegada de los computadores, quedó patente que el computador sería más útil si pudiese acceder a bancos de datos distantes y comunicarse con otros computadores. Una vez más, la red telefónica era el medio de máxima interconexión, por lo que se decidió utilizarla junto con sus líneas de acceso local para establecer esta interconectividad a nivel mundial. El resultado se conoce como Internet. Las líneas de acceso local supusieron también un reto para los ingenieros de Internet. Las líneas no podían pasar datos a las velocidades con las que los usuarios pudiesen descargar grandes ficheros, por lo que hicieron todo lo posible para incrementar la capacidad de cursar datos de las líneas locales, incluyendo los módems de línea de gran velocidad, y ello exigía aún la conexión de las líneas durante largos periodos de tiempo; mucho más largos que los de una llamada telefónica. Los usuarios se acostumbraron a contar con este tipo de servicio Internet en su teléfono vocal. De esta manera, también esperan que los teléfonos celulares ofrezcan el mismo servicio Internet. Los teléfonos alámbricos pueden conectarse a la red en todo momento, aun cuando no se esté produciendo una llamada, con lo que los costos de conexión de acceso a la línea alámbrica local no son mayores para el proveedor si los tiempos de conexión son más largos. Para el proveedor del sistema celular, sus costos se reducen proporcionalmente si puede dar servicios a múltiples usuarios con el mismo equipo. La compartición del mismo espectro por múltiples usuarios es también importante para los operadores de equipo radioeléctrico, aunque los usuarios de línea alámbrica no tienen problemas de compartición de espectro en el bucle local.

3 La red de acceso telefónico tradicional tiene que mejorar para adaptarse a la red Internet avanzada

Basándose en el análisis anterior, la gama de velocidades de datos que un sistema celular futuro necesita para el servicio de una manera ubicua es de hasta 56 kbit/s, porque ésta es la velocidad de datos para la que la línea alámbrica sirve normalmente y que facilita el servicio telefónico local. En realidad, en una gran parte del mundo no cabe esperar llegar a incluso 28 kbit/s. Se dispone de velocidades de datos superiores que ofrecen proveedores de línea alámbrica, pero se precisan

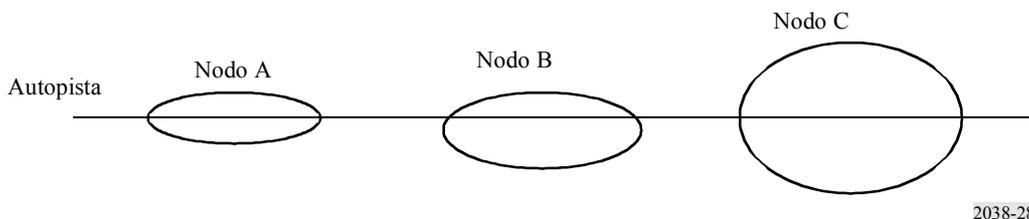
medidas especiales para obtenerlas y no están disponibles en todo momento y en todas partes. En muchas zonas, puede llevar incluso semanas obtener un servicio DSL, T1 o RDSI de los proveedores de línea alámbrica local. Por tanto, un servicio inalámbrico que ofrezca velocidades de datos superiores en emplazamientos específicos y en las condiciones adecuadas será congruente con la forma en que los proveedores de línea alámbrica ofrecen los servicios de velocidades de datos elevadas. El proveedor del sistema celular puede decidir facilitar 144 kbit/s o más en toda la región, pero ello supone una determinación del proveedor que afecta al costo y a la disponibilidad del espectro.

4 Los HDRPN ofrecen velocidades de datos en banda ancha asimétrica

Un concepto de sistema futuro que ofrezca hasta 56 kbit/s en toda la zona de servicio con HDRPN distribuyendo cientos de megabits de datos en regiones específicas puede suponer una solución rentable e interesante. Los HDRPN de datos están diseñados para transmitir una potencia reducida, aun cuando cursen velocidades de datos elevadas, con lo que se reduce la interferencia causada a las bandas adyacentes y a emplazamientos distantes que trabajan en la misma frecuencia. Ello permite reutilizar el espectro muchas veces, utilizando nodos económicos.

Considérese en primer lugar el caso en que los nodos de paquetes de gran velocidad están situados a lo largo de una autopista importante. Estos nodos crearán pequeñas zonas de cobertura, tal como se ilustra en la Fig. 28. El tamaño de las zonas de cobertura no tiene que ser el mismo, como también se indica en dicha Figura. Estas pequeñas supercélulas pueden seleccionarse para dar cobertura a cabinas telefónicas, cruces importantes, puntos de congestión persistente o enclaves separados periódicamente para regular las características de demora de los mensajes. Utilizando este tipo de estructura para la transferencia de paquetes puede demostrarse que el caudal medio de los datos aumenta drásticamente hasta en nueve veces⁷. La demora representa también una consideración importante y el análisis demuestra que se obtienen resultados óptimos cuando las células son pequeñas, de forma que el nodo pueda transmitir velocidades de paquetes elevadas⁷. Cuando el usuario es un peatón o un vehículo de los que cabe esperar que recorran un trayecto aleatorio, el recorrido puede no ser cercano, durante cierto tiempo, a un nodo de paquetes de gran velocidad de datos como el que se ha definido. En este caso, es importante contar con un gran número de nodos económicos. Situando los nodos en los cruces, las plazas, o las estaciones de tren y haciendo que las empresas que cuentan con una conexión de entrada importante a sus instalaciones monten antenas exteriores de utilización pública, se obtendrá una cobertura significativa. La experiencia determinará el emplazamiento de los nuevos nodos, si son necesarios. El análisis de este caso bidimensional muestra también las posibles ventajas⁷ de los nodos de paquetes de gran velocidad.

FIGURA 28



⁷ FRENKIEL, R., BADRINATH, B. R., BORAS, J. y YATES, R. [abril de 2000] The Infostation Challenge: Balancing Cost and Ubiquity in Delivering Wireless Data. IEEE Personal Comm., Vol. 7, 2, p. 66. Rutgers University, Estados Unidos de América.

5 Los servicios de posición y el control específico de mensajes ofrecen soluciones prácticas

Los servicios de posición son un complemento significativo para la utilización eficaz del concepto de nodo de paquetes de gran velocidad. Los servicios de posición permiten al usuario, con la ayuda del sistema, predecir el momento en que entrará en la cobertura de un nodo de paquetes de gran velocidad. Utilizando los servicios de posición, el sistema puede notificar a un usuario que tiene un mensaje en espera, con información sobre el mensaje, cuando se le pueda entregar, así como la tasa de la entrega. Con esta información, el usuario puede decidir si desea recibir el mensaje o esperar hasta que llegue a casa para abrirlo. Esta información sobre la situación de la llamada puede aparecer en una pantalla o anunciarse de forma audible. El emplazamiento del usuario puede determinarse de diversas maneras, dependiendo de la capacidad que ofrezca el sistema. El usuario puede también utilizar la información de un GPS, con la capacidad de transmitir sus coordenadas GPS al sistema celular⁸. También es posible que el sistema ayude al terminal de usuario a almacenar la última posición calculada de su terminal en el fichero de memoria de terminales de usuario, en donde puede utilizarse al igual que un conjunto de coordenadas GPS⁸. El usuario puede también iniciar el proceso de envío de grandes ficheros de datos o hacerlo cuando navega por Internet. En la navegación, puede solicitar un gran fichero, y también en este caso, si el tamaño del fichero rebasa un nivel razonable, el sistema envía el mismo mensaje que cuando hay un gran mensaje en espera con inclusión de elementos que dan el tamaño del fichero solicitado, el momento en que puede entregarse y la tasa de la entrega. Una vez más, si no acepta la proposición, el fichero de datos no se entrega. El operador determinará el tamaño razonable del fichero basándose en la velocidad de transmisión de datos solicitada. Las velocidades que no exceden de las normales del módem en línea Internet se considerarán razonables. Los servicios de posición y la transmisión de información para establecer la transferencia de paquetes de gran velocidad se efectúan por la red celular de baja velocidad ubicua de soporte. El sistema efectuará la determinación de la forma en que debe realizarse la transmisión de paquetes de gran velocidad. Si queda capacidad suficiente en el sistema celular, uno de sus nodos celulares puede actuar como el nodo de paquetes de gran velocidad de datos, cuando el terminal de usuario se acerca a la estación de base celular^{9,10}. Si esto no es factible, el sistema puede identificar un nodo de paquetes de gran velocidad específico para la transferencia de datos en gran velocidad. De forma similar, un sistema de satélite de baja velocidad de datos puede utilizar un concepto de nodo de paquetes de gran velocidad para transmitir grandes ficheros de datos. En zonas alejadas, la demora puede ser mayor debido a la distancia entre el nodo de paquetes de gran velocidad de datos. No obstante, como el número de rutas potenciales en las zonas alejadas es muy inferior, el número de nodos de paquetes de gran velocidad necesarios para dar cobertura a las rutas previstas puede ser razonable.

⁸ RIDGELY BOLGIANO, D. y LaVEAN, G. [25 de marzo de 1997 – Registrado el 6 de septiembre de 1994] Wireless Telephone Distribution System With Time and Space Diversity Transmission for Determining Receiver Location. United States Patent No 5,614,914. InterDigital Technology Corporation, Estados Unidos de América.

⁹ FURUSKAR, A., MAZUR, S., MULLER, F. y OLOFSSON, H. [junio de 1999] Edge: Enhanced Rates for GSM and TDMA/136 Evolution. *IEEE Personal Comm. Mag.*, Vol. 6, 3.

¹⁰ CHUANG, J., QUI, X. y WHITEHEAD, J. [septiembre de 1999] Data Throughput Enhancement in Wireless Packet Systems by Improved Link Adaptation with application to the EDGE System. Proc. IEEE VTC '99-FALL, Amsterdam, Países Bajos.

6 Los HDRPN habilitan la tecnología

A medida que la velocidad de transferencia de paquetes se eleva considerablemente, las características de transmisión del canal radioeléctrico pueden ser distintas de las que resultarían óptimas para un sistema celular ubicuo. Estos canales en transmisión en alta velocidad que probablemente son asimétricos, estarán bien adaptados para una implementación DDT (véase el Anexo 3) en la que la distorsión del canal de la señal recibida puede utilizarse para precondicionar las señales de transmisión en alta velocidad. Esta velocidad de paquetes en alta velocidad puede exigir una interfaz aérea modificada que se ajuste específicamente a esta aplicación (véase el Anexo 9). La estructura DDT también es muy flexible y puede ofrecer diversas velocidades de datos distintas al mismo tiempo o reconfigurar rápidamente toda la capacidad en un único canal. Esta flexibilidad es importante, pues los nuevos usuarios entran en la zona de cobertura y la abandonan muy rápidamente. La estructura DDT también permite al enlace ascendente acceder a un canal reconfigurado para transmitir grandes ficheros a la red. En esta reconfiguración se puede asignar una gran parte de los intervalos de tiempo a la transmisión por el enlace ascendente, pero cuando concluye la transmisión, los intervalos de tiempo pueden asignarse de forma instantánea a otros usuarios, probablemente usuarios del enlace descendente. Como no se prevé la utilización del enlace ascendente de forma tan frecuente como el descendente, es espectralmente eficaz contar con la flexibilidad de reasignar el mismo espectro entre el enlace ascendente y el descendente. Con una estructura DDF habrá que reservar el espectro del enlace descendente para tratar un gran caudal de datos, aun cuando sólo se utilice ocasionalmente. Las reservas contribuyen también a estas reconfiguraciones y la capacidad de los servicios de posición puede ofrecer información precisa sobre reservas. Las antenas desempeñan también un papel importante en la capacidad de transmitir velocidades de datos elevadas. La energía procedente del nodo ha de concentrarse en una pequeña zona a fin de aumentar la intensidad de la señal para el receptor de destino y reducir la interferencia en el resto de la región. Los sistemas de antenas tales como los de antenas adaptables (véanse los Anexos 4 y 5), las antenas distribuidas¹¹, véase también el Anexo 1, y las células inteligentes¹² son soluciones posibles para la concentración de la energía transmitida en pequeñas zonas.

Una posible solución para controlar el proceso exigiría un algoritmo de red que busque la dirección del fichero de paquetes y determine el emplazamiento aproximado, explorando dicha región a la búsqueda de la dirección (véase el Anexo 9). La respuesta a esta búsqueda particular incluirá un emplazamiento geográfico y dará lugar a una segunda respuesta que se enviará unos 10 s más tarde. Se necesitan ambas transmisiones para determinar la dirección y la velocidad del emplazamiento. Utilizando la posición y el vector velocidad de un móvil específico, el sistema calcula el instante de llegada de dicho móvil hasta el siguiente nodo de paquetes de gran velocidad. Utilizando una red celular ubicua, el sistema envía un mensaje en el que informa al destinatario de aspectos tales como el tiempo que tardará en recibir el mensaje, la procedencia de éste, la longitud del mensaje y la cuantía con que se tasarará la entrega. Se pregunta al destinatario si desea recibir el mensaje. Si la respuesta es positiva, se efectúa una reserva¹³, y se entrega el paquete por el siguiente nodo de alta

¹¹ RIDGELY BOLGIANO, D. y LaVEAN, G. [12 de enero de 1999 – Registrado el 29 de agosto de 1997] Wireless Telephone Distribution System With Time and Space Diversity Transmission. United States Patent No 5,859,879. InterDigital Technology Corporation, Estados Unidos de América.

¹² LEE, W. C. Y. [1995] *Mobile Cellular Telecommunications – Analog and Digital Systems*. Air Touch Communications Inc., Second Edition, Publisher McGraw Hill Inc., p. 563.

¹³ GANGULY, S., NATH, B. y GOYAL, N. [febrero de 2002] Optimal Reservation Schedule In Multimedia Cellular Networks. Tech. Report. Rutgers University, Estados Unidos de América.

velocidad, facturándose al destinatario la entrega. El sistema tiene también que implementar un algoritmo especial para sincronizar y transferir rápidamente los paquetes. Probablemente se necesite una técnica especial de corrección de errores para este canal de transmisión de datos relativamente singular¹⁴.

El terminal móvil tendrá que ser de tipo adaptable para ofrecer este servicio privilegiado e interactuar con el HDRPN, manteniendo su capacidad de funcionamiento eficaz en la red celular. Afortunadamente, se ha avanzado mucho en materia de equipo radioeléctrico definido por soporte lógico (véanse los Anexos 6 y 11). Estos equipos radioeléctricos aprovecharán también el trabajo sobre MEMS de RF (véase el Anexo 12) como técnica habilitadora de los terminales futuros. No se prevé que ello repercuta considerablemente en los costos de un terminal normal IMT-2000.

Anexo 8

Tecnologías de Internet y soporte de aplicaciones basadas en el IP por los sistemas del servicio móvil

1 Introducción

Los sistemas actuales de las IMT-2000 incluyen servicios interactivos basados en IP que se transportan por las redes basadas en IP conectadas a las tecnologías de acceso radioeléctrico conexas. El objetivo del servicio interactivo basado en IP es ofrecer soporte IP al terminal IMT-2000, incluyendo direccionamiento IP. Esta capa IP funciona por encima de los servicios de portador basados en IP de las redes IMT-2000 (red principal y redes de acceso radioeléctrico).

Es indispensable tener en cuenta lo anterior cuando se examinan los requisitos de IP, de modo que no se mezclen el soporte del servicio interactivo IP total y las aplicaciones antes mencionadas con los requisitos internos de la red relativos a la utilización interna de IP. Además, se debe tener en cuenta que las redes se diseñan con el objetivo de alcanzar una utilización óptima con las tecnologías radioeléctricas de las IMT-2000.

En el curso de las mejoras de las IMT-2000, se ha seleccionado una arquitectura interactiva IP total como base para la definición del servicio interactivo IP total de varias tecnologías de acceso radioeléctrico. Esto significa que se está llevando a cabo la adaptación necesaria de los protocolos del grupo especial sobre ingeniería de Internet (IETF) para soportar de modo eficaz las aplicaciones de IP total que se ejecutan en el entorno radioeléctrico de sistemas del servicio móvil. El protocolo de compresión de cabecera es un ejemplo del tipo de trabajo que se desarrolla en el Grupo de Trabajo ROHC del IETF.

Los servicios multimedios IP total no son la evolución de los servicios con conmutación de circuitos sino que representan una nueva categoría de servicios, terminales móviles, capacidades de servicios y expectativas del usuario. Cualquier nuevo servicio multimedios, que pueda tener un nombre o funcionalidad similar a un servicio normalizado comparable, no tendrá necesariamente el mismo aspecto y percepción desde la perspectiva del usuario del servicio normalizado. Las comunicaciones vocales (telefonía por IP) son un ejemplo de servicio en tiempo real que se podría ofrecer como una aplicación multimedios.

¹⁴ MAO WU, H., EVANS, J. y CAGGIANO, M. [abril de 1999] Report WINLAB-TR-178. Improvement of IP Packet Throughput with an Adaptive Radio Link Protocol for Infostations' Technical.

2 Tecnologías que permitirán soportar aplicaciones IP más eficaces por los sistemas del servicio móvil

Diversas tecnologías IMT-2000 ya soportan aplicaciones IP de extremo a extremo a través de los portadores de acceso radioeléctrico definidos. Además, se ha añadido una compresión más avanzada de la cabecera IP para soportar las aplicaciones IP de manera aún más eficaz conforme a los trabajos en curso del Grupo de Trabajo ROHC del IETF. Actualmente, se están realizando trabajos para continuar mejorando el soporte de la señalización del protocolo de inicio de sesión (SIP, *session initiation protocol*) de la aplicación IP mediante la optimización del transporte de la señalización de la aplicación IP, posiblemente con un portador de acceso radioeléctrico (RAB, *radio access bearer*) especializado.

2.1 Compresión robusta de cabecera

La compresión de cabecera IP es una técnica que permite reducir significativamente el tamaño de la cabecera IP manteniendo al mismo tiempo el 100% del contenido de su información. En la red Internet actual existen diversos métodos de compresión. No obstante, estos esquemas no son suficientes en el entorno del servicio móvil ya que se fundamentan en una tasa de pérdida de cabecera muy baja. En el entorno del servicio móvil con una tasa de pérdida relativamente alta, se necesita una compresión de cabecera más robusta. Este requisito ha sido reconocido por el Grupo de Trabajo ROHC del IETF que ha desarrollado una petición de comentarios (RFC, *request for comment*) relativa a un método de compresión de cabecera robusto.

2.2 Compresión de señalización

La señalización necesaria para el IP total consiste en la señalización SIP/protocolo de descripción de sesión (SDP, *session description protocol*) que no se ha optimizado para el entorno del servicio móvil ya que está basada en ASCII. Esto produce retardos excesivos de señalización y pérdida de la calidad de funcionamiento. Por consiguiente, resulta esencial la compresión de la señalización a fin de soportar satisfactoriamente los servicios de IP total.

3 Reutilización de las tecnologías de Internet en las redes de acceso radioeléctrico

Aunque las redes de acceso radioeléctrico de las tecnologías IMT-2000 existentes están utilizando en gran medida otros medios de transporte entre sus nodos internos en lugar del transporte IP, se están llevando a cabo los trabajos necesarios para poder utilizar IP como tecnología de transporte. Es esencial que la introducción de IP como tecnología de transporte en la red de acceso radioeléctrico no degrade la capacidad de funcionamiento, la calidad de funcionamiento y la calidad de servicio de extremo a extremo. Se encuentran en desarrollo los mecanismos necesarios para el transporte IP entre los nodos en una red de acceso radioeléctrico para continuar mejorando las IMT-2000. De forma particular se está considerando el protocolo IPv6.

4 Red de acceso radioeléctrico basada en IP

4.1 Arquitectura y red de transporte

4.1.1 Independencia de la tecnología de acceso inalámbrico

- La red de acceso radioeléctrico (RAN) basada en IP deberá soportar al menos las tecnologías radioeléctricas 2G y 3G actuales tales como W-CDMA y cdma2000. Este requisito se fundamentará en el soporte de compatibilidad hacia atrás e interfuncionamiento completos. Este requisito también permite garantizar que la arquitectura RAN basada en IP

que soporta el acceso radioeléctrico terrenal universal (UTRA, *universal terrestrial radio access*) podrá dar cabida a la arquitectura RAN basada en IP que soporta cdma2000 simplemente sustituyendo la función específica de radiocomunicaciones de UTRA por cdma2000 basada en IP.

- La arquitectura RAN basada en IP puede ser flexible de manera que soporte otras tecnologías inalámbricas no celulares, por ejemplo LAN inalámbrica y Bluetooth. Este requisito también se fundamenta en arquitectura flexible para soportar la función específica de radiocomunicaciones con funcionamiento disponible sin preparativos (*plug and play*).
- La RAN basada en IP soportará interfuncionamiento e interoperación para apoyar el traspaso entre distintas tecnologías de acceso inalámbrico.

4.1.2 Compatibilidad hacia atrás

- La arquitectura RAN basada en IP y el conjunto de protocolos asociados soportarán la compatibilidad hacia atrás desde el principio con la arquitectura RAN actual.
- Desde la perspectiva de servicio, no se prevé degradación de servicio ni de la calidad de funcionamiento en la RAN basada en IP al compararla con la arquitectura RAN actual. Este requisito necesitará de algunos criterios para poder verificar la compatibilidad hacia atrás.
- La arquitectura RAN basada en IP y el conjunto de protocolos asociados deben ofrecer al menos la funcionalidad equivalente a las arquitecturas RAN actuales. Se deberán identificar fácilmente los cambios principales en la arquitectura RAN basada en IP al compararla con la arquitectura RAN actual.

4.1.3 Interfuncionamiento con las redes convencionales (2G/3G) y los terminales del servicio móvil

- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar el interfuncionamiento entre la red principal de 2G/3G actual (incluidas las redes principales MAP de GSM, ANSI-41) y la red RAN basada en IP.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar el interfuncionamiento entre las redes de acceso radioeléctrico 2G/3G actuales y la red RAN basada en IP.
- La arquitectura RAN basada en IP también deberá ofrecer el respaldo para los terminales del servicio móvil (2G/3G) tradicionales.

4.1.4 Compatibilidad hacia adelante

- La arquitectura RAN basada en IP y el conjunto de protocolos asociados deberán permitir la compatibilidad hacia adelante con la arquitectura correspondiente a las nuevas tecnologías radioeléctricas.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá dar cabida fácilmente a cualquier cambio previsto por la introducción de nuevos servicios (por ejemplo, servicios de difusión/multidifusión de IP).

4.1.5 Interfuncionamiento con una red IP total y terminales del servicio móvil basados en IP

- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar el interfuncionamiento entre la red principal de IP total y la red RAN basada en IP.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar el interfuncionamiento entre las redes de generación siguiente a las redes de acceso radioeléctrico 2G/3G y la red RAN basada en IP.
- La arquitectura RAN basada en IP también deberá ofrecer soporte a los terminales del servicio móvil habilitados para IP.

4.1.6 Arquitectura independiente de las capas

- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar la arquitectura de capas.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar la separación entre la función de plano de usuario, la función de plano de control y la función de plano de transporte.

4.1.7 Soporte de interfaz abierta

- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar interfaces abiertas entre cualquiera de las entidades de red en la RAN basada en IP que puedan ser implementadas, por los operadores/proveedores de servicio de Internet (ISP, *Internet service providers*) y los fabricantes, como sistemas, subsistemas o entidades de red independientes.
- Cuando proceda, se considerarán y adoptarán los protocolos del IETF en esas interfaces abiertas. Por ejemplo, el mecanismo IP del servicio móvil puede ser otra opción para la movilidad IP en la red RAN.

4.1.8 Soporte de QoS

- La arquitectura RAN basada en IP soportará los medios para habilitar calidad de servicio (QoS) extremo a extremo al menos dentro del ámbito de la RAN.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá satisfacer la arquitectura de QoS basada en políticas. Este requisito puede plantear el tema de conocer dónde se encuentra el punto de cumplimiento de política y el punto de decisión de política.
- La resolución de QoS en la red RAN basada en IP deberá ser congruente con la calidad de servicio de extremo a extremo en el nivel de la red principal.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá ser capaz de soportar simultáneamente múltiples niveles de QoS estática (negociación de parámetros antes del establecimiento de la sesión) así como de QoS dinámica (negociación de parámetros durante el curso de la sesión) incluidos los casos de traspaso.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar el procedimiento de encaminamiento/traspaso con habilitación de QoS. Es decir, deberá ser posible la mejor selección del trayecto de encaminamiento/traspaso que satisfaga la QoS solicitada por el usuario.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar la configuración con equilibrado de carga para apoyar los distintos requisitos de nivel de QoS de cada usuario.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar resoluciones de QoS habilitadas con el protocolo IPv6.
- La arquitectura RAN basada en IP podrá soportar resoluciones de QoS habilitadas con el protocolo IPv4.

4.1.9 Transporte de IP

- La arquitectura RAN basada en IP transportará tráfico de portador y de control/señalización basado en la tecnología IP.
- El transporte IP en la red RAN será independiente de las tecnologías L1, L2.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar el mecanismo de direccionamiento IPv6/IPv4.

4.1.10 Configuración dinámica distribuida

- La arquitectura RAN basada en IP soportará la configuración dinámica múltiple entre las entidades funcionales. Por ejemplo, la funcionalidad del nodo B puede elegir una funcionalidad RNC adecuada para satisfacer la QoS y la robustez (sin interrupción) durante la llamada.

- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar funciones de control radioeléctrico y de control de portador distribuidos.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar la distribución de funciones radioeléctricas que dependen de las células y funciones de control de portador hacia los puntos de acceso radioeléctrico.

4.1.11 Gestión de recursos radioeléctricos

- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar la gestión eficaz de recursos radioeléctricos (atribución, mantenimiento y liberación) a fin de satisfacer la QoS solicitada por el usuario y la política solicitada por el operador.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar la función para optimizar y negociar el recurso radioeléctrico entre las distintas tecnologías de acceso inalámbrico soportadas.

4.1.12 Calidad de funcionamiento

- La calidad de funcionamiento en la arquitectura RAN basada en IP relativa a la utilización del enlace, QoS, tasa de interrupciones de comunicación, facilidad de traspaso, y otros deberá ser igual o mayor a la de la arquitectura RAN actual.
- La arquitectura RAN basada en IP deberá soportar los aumentos de capacidad sin repercusión en la arquitectura.

4.1.13 Arquitectura escalable

- La arquitectura RAN basada en IP ofrecerá a los operadores de red la capacidad para ampliar las entidades de función RAN específicas independientemente de otras entidades.
- La arquitectura RAN basada en IP permitirá a los operadores de red desplegar gradualmente entidades de red y ampliar sus redes.

4.1.14 Seguridad

- La arquitectura RAN basada en IP ofrecerá funciones para proteger sus recursos y tráfico de red contra acceso no autorizado.
- La arquitectura RAN basada en IP controlará múltiples protocolos de autenticación del enlace radioeléctrico (por ejemplo, autenticación celular y encriptación vocal (CAVE, *cellular authentication and voice encryption*) para IS-95, A5/1 para GSM).
- La arquitectura RAN basada en IP permitirá la presencia de autenticación, autorización, contabilidad (AAA, *authentication, authorization, accounting*) en la red RAN o en la red principal para la autenticación y autorización de acceso).

4.2 Red radioeléctrica

- La arquitectura RAN basada en IP permitirá optimizar la utilización de la anchura de banda para el transporte IP extremo a extremo de algunas clases de aplicaciones en tiempo real.
 - Los protocolos IP tienen una gran cantidad de tara que reducirá la eficiencia espectral, en particular cuando se utilizan para aplicaciones vocales. Además, también pueden verse afectados por retardos intolerables debido a que las anchuras de banda para las aplicaciones del servicio móvil inalámbrico aún están limitadas y algunas veces sus costes son demasiado elevados. En el caso de la pila de protocolos IP/UDP/RTP predominante, el tamaño de las cabeceras combinadas es al menos de 40 bytes para el protocolo IPv4 y de 60 bytes para el protocolo IPv6, mientras que los datos vocales típicamente son más cortos que la cabecera IP/UDP/RTP; en consecuencia, se pueden aplicar diversas técnicas de adaptación o multiplexación de cabeceras (por ejemplo, compresión o PPPmux de cabecera).

- La red RAN basada en IP deberá soportar la atribución muy flexible de recursos entre distintas células y también dinámicamente en sentido ascendente y descendente basándose en el cambio no predecible del tráfico IP a través de la red de acceso general.
- La red RAN basada en IP deberá soportar el interfuncionamiento/interoperabilidad del mecanismo de QoS desarrollado para la red de acceso radioeléctrico y del mecanismo de QoS utilizado en la red principal IP (por ejemplo, MPLS, DiffServ).
 - Cuando proceda, se podrán introducir nuevos parámetros en el mecanismo de QoS de la red de acceso radioeléctrico o de la red principal IP.
- La red RAN basada en IP maximizará la eficacia del espectro radioeléctrico.
 - Se debe proporcionar multiplexación estadística mejorada para apoyar servicios mixtos (por ejemplo, velocidad binaria variable en tiempo real y tren de datos en modo ráfaga en tiempo no real).
 - Se debe mejorar de manera óptima la codificación de la fuente y del canal para diversas aplicaciones multimedios IP.
- La arquitectura RAN basada en IP proporcionará pilas de protocolos que soporten una gama de servicios con distintos requisitos de QoS en la red de acceso.
- La red RAN basada en IP mejorará el control de acceso al medio MAC y el control del enlace radioeléctrico RLC para distintas aplicaciones multimedios IP.
 - Se debe aplicar el método mejorado de acceso radioeléctrico y de atribución del recurso para distintas aplicaciones IP en el control de acceso al medio. Los procedimientos de acceso rápido en sentido ascendente pueden proporcionarse, por ejemplo, en el enlace ascendente y descendente para un cierto tipo de servicio.
 - Las funciones de control del enlace radioeléctrico deben diferenciarse para cada flujo con una clasificación de flujo más precisa (por ejemplo, correspondencia entre el tráfico IP y el portador radioeléctrico apropiado en la red de acceso).
- La red RAN basada en IP deberá optimizar los mecanismos de la capa física para garantizar la calidad de algunas aplicaciones tales como la voz por IP.
 - Los requisitos de las aplicaciones IP en tiempo real pueden aplicarse, por ejemplo, a la optimización de los mecanismos de la capa física para garantizar la QoS de los servicios. En este caso, se puede utilizar un par de parámetros del servicio VoIP (por ejemplo, tipo de códec, control de eco, tamaño del paquete vocal y retardo del defluidador de fase) para fijar la velocidad de codificación y el tramo de intercalación en la capa física; por medio del cual se puede mejorar aún más la calidad de la voz por IP.
- La red RAN basada en IP tendrá en consideración interacciones con funcionalidades de protocolos de capa para la transmisión óptima de paquetes IP. Las interacciones entre los protocolos IP (por ejemplo, TCP) y los protocolos radioeléctricos (por ejemplo, control de enlace radioeléctrico) se investigarán de modo particular para esta finalidad.
 - Es posible que sea necesario modificar los protocolos IP en las redes alámbricas convencionales para que puedan incorporarse a las redes de acceso inalámbrico. Por ejemplo, el protocolo TCP convencional interpreta la pérdida de paquetes como congestión y erróneamente reduce el caudal; por consiguiente, se pueden aplicar algunas soluciones a la red RAN basada en IP.
 - Hay varios bucles de control que funcionarán simultáneamente mediante protocolos de capa superior e inferior (por ejemplo, control de flujo TCP y controles de error RLC). Por consiguiente, se deberán optimizar estas funciones en la misma pila de protocolos para la transmisión eficaz de los paquetes de datos.

- Los mecanismos de control del enlace radioeléctrico pueden tener en cuenta la interacción con la función de detección de errores y de recuperación de otros protocolos radioeléctricos de capas inferiores.
- Se debe considerar la implementación óptima de métodos de adaptación de anchura de banda en un códec de audio y vídeo escalable para lograr la eficacia espectral de la red de acceso.
- La red RAN basada en IP ofrecerá tecnologías radioeléctricas (por ejemplo, protocolos radioeléctricos y mecanismos físicos) para soportar una diversidad de servicios de difusión y de multidifusión (por ejemplo, el servicio de mensajes multimedios y el servicio de difusión radioeléctrica por Internet).
- La red RAN basada en IP soportará la capacidad de diferenciación de portador en la red de acceso para la multiplexación de distintos tipos de tráfico IP por el aire para lograr la máxima utilización del espectro.
 - Las tecnologías radioeléctricas deben optimizarse para distintos portadores en la red de acceso. Por ejemplo, pueden aplicarse distintos métodos de codificación y de acceso a varios canales radioeléctricos.
- La red RAN basada en IP debe optimizar la admisión de la conexión para la utilización eficaz del recurso radioeléctrico tanto en sentido ascendente como en sentido descendente para una mezcla de flujos de datos con distintas QoS en cada dirección IP.
 - La caracterización de distintos trenes de datos de paquetes IP puede aplicarse a la función de admisión de la conexión en términos de requisitos de servicio tales como la anchura de banda y el retardo.
 - Se tendrán en cuenta los efectos de distintos casos de utilización (por ejemplo, disponibilidad de espectro) y combinación de tráfico tal como voz y datos en la eficacia del espectro.
- La red RAN basada en IP ofrecerá distintos estados de protocolo y canales radioeléctricos, y además, la transición rápida y dinámica entre ellos para soportar una amplia gama de servicios para distintas aplicaciones multimedios IP (por ejemplo, señalización, tiempo real, tiempo no real, servicios orientados a conexión y servicios sin conexión, y combinaciones de estos servicios).
 - El tipo de canales radioeléctricos puede modificarse dinámicamente para dar cabida a diversos tipos de trenes de paquetes IP para la misma conexión.
- La red RAN basada en IP deberá soportar el procedimiento de asignación y liberación rápida de recursos en los enlaces ascendente y descendente para alguna de las aplicaciones IP que se caractericen como un método de tráfico activado-desactivado (por ejemplo, ojeador www y FTP).
 - Con esta característica, es posible aumentar la utilización del enlace debido a la gestión no continua de la anchura de banda.
- La red RAN basada en IP ofrecerá procedimientos de traspaso que reduzcan la pérdida y el retardo de los paquetes para lograr una transmisión robusta y sin interrupciones de los paquetes IP.
 - Se deben aplicar mecanismos de transferencia de datos sin pérdidas para alcanzar la transmisión robusta de los paquetes IP durante los procedimientos de traspaso de los trenes de paquetes IP.

- La red RAN basada en IP deberá soportar tecnologías radioeléctricas avanzadas que se considere que aparecerán en el futuro, tales como antenas adaptativas, adaptación de enlace, multiplexación por división ortogonal de frecuencia (MDFO), radiocomunicación definida por Software SDR y detección de multiusuarios.

5 Internet inalámbrica para redes heterogéneas

5.1 Requisitos

Uno de los principales desafíos para la Internet inalámbrica de próxima generación es que la arquitectura debe ser muy flexible y abierta, capaz de soportar diversos tipos de redes, terminales y aplicaciones. El objetivo fundamental es lograr que las redes heterogéneas sean transparentes a los usuarios. Otro de los objetivos es diseñar una arquitectura de sistema independiente de la tecnología de acceso inalámbrico. Estas consideraciones conducirán a un conjunto de requisitos que tienen una importancia específica para las redes heterogéneas. Los principales elementos son:

- a) terminal de usuario multiservicios (basado en multimódulos/SDR) para acceder a distintas RAN,
- b) descubrimiento del sistema inalámbrico,
- c) selección del sistema inalámbrico,
- d) actualización unificada de ubicación y radiomensajería,
- e) traspaso entre sistemas,
- f) simple, eficaz, escalable, de coste reducido,
- g) bajo consumo de energía,
- h) seguro,
- i) soporte de QoS,
- j) movilidad personal/ID universal.

5.2 Visión general del concepto

5.2.1 Entidades básicas

Para satisfacer los requisitos antes referidos, a continuación se presenta un concepto de arquitectura de redes heterogéneas para los sistemas inalámbricos futuros [Wu y otros, Inoue y otros, 2002]. El concepto consiste en tres entidades principales.

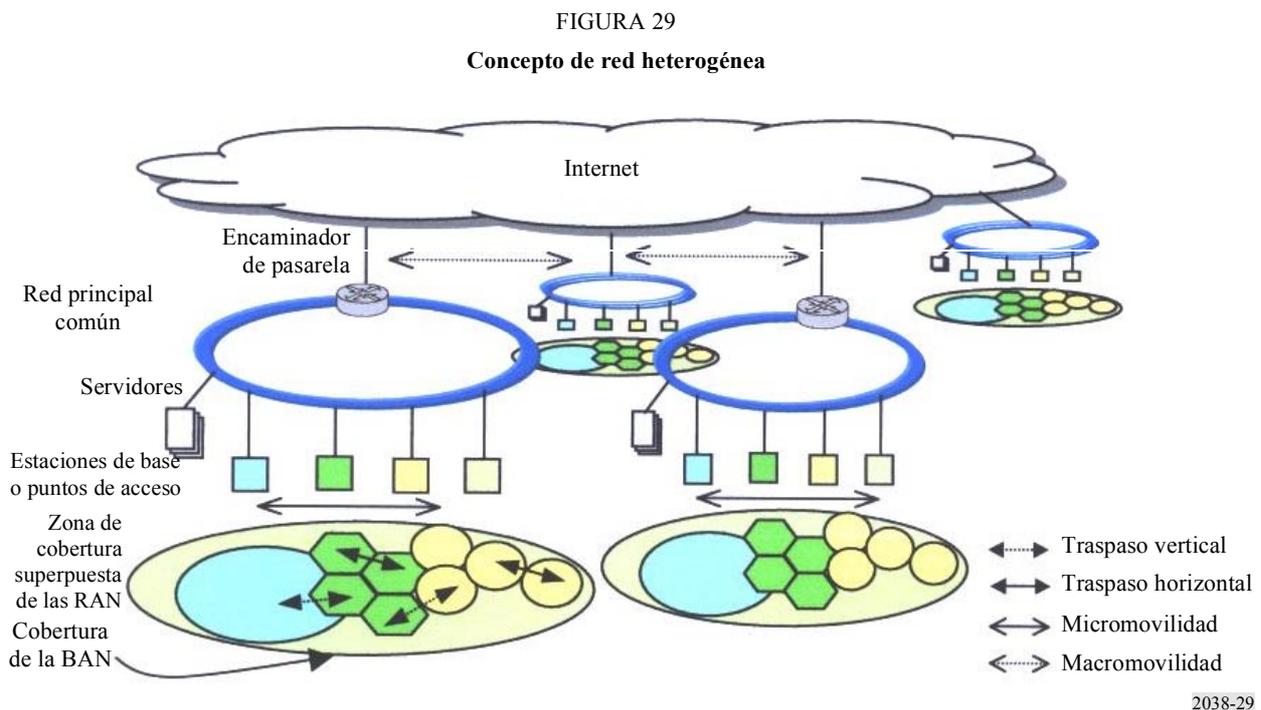
(A) *Red principal común (CCN, common core network)*. Esta red puede ser del tipo IPv6 gestionada que proporciona una plataforma común a través de la cual se comunicarán todos los terminales de usuario multiservicios (MUT, *multi-service user terminal*, que se describe más adelante) con los nodos correspondientes en la red Internet. En principio todos los puntos de acceso de las redes RAN se conectan a esta red. La red ofrece encaminamiento con garantía de QoS y traspaso sin interrupciones entre las redes RAN. Esto permite la integración natural de varias redes heterogéneas.

(B) *Red de acceso básico (BAN, basic access network)*: Esta red ofrece un canal de control/señalización común que permite que todos los MUT accedan a la plataforma común (CCN). La red se utiliza básicamente para proporcionar actualización de la ubicación y radiomensajería y soporta el descubrimiento del sistema inalámbrico y el traspaso vertical (entre sistemas) para el resto de los sistemas inalámbricos. La BAN que consta de estaciones de base y componentes de acceso básicos, dispondrá de una zona de cobertura más amplia, de preferencia más grande que la correspondiente a las RAN que soporta.

(C) *Terminal de usuario multiservicios (MUT, multi service user terminal)*: El MUT está equipado con un sistema multi-radioeléctrico. Todos los terminales disponen de un componente de acceso básico (BAC, *basic access component*) para comunicarse con la BAN. Un MUT, aparte de este sistema radioeléctrico, está equipado con uno o más subsistemas radioeléctricos (de preferencia basados en SDR) para acceder a la red medular común (CCN, *common core network*).

5.2.2 Modelo de red

En la Fig. 29 se ilustra la configuración de la red. Las CCN se conectan a la red Internet a través de encaminadores de pasarela. Una CCN ofrece servicios a varias redes RAN. Por lo general, las RAN se superponen, y un anfitrión del servicio móvil puede tener acceso a varias RAN en una ubicación.



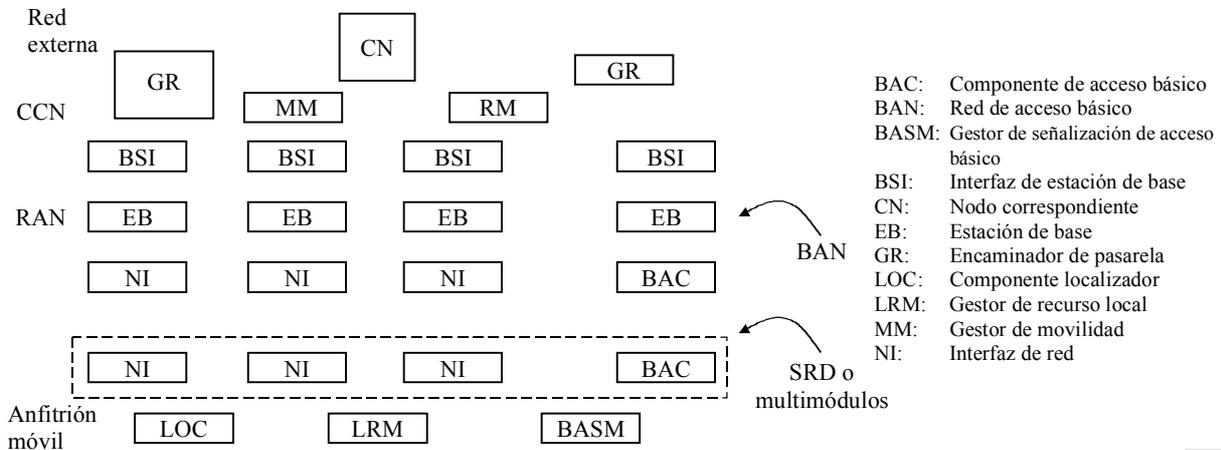
Puede utilizarse IP móvil para conectar las CCN y proporcionar gestión de (macro) movilidad mundial. En una zona gestionada por CCN, el traspaso rápido entre las estaciones de base que a menudo pertenecen a distintas RAN con acceso inalámbrico de alta velocidad normalmente requiere gestión de (micro) movilidad local. Las estaciones de base se conectan a (o se integran con) una máquina de retransmisión de IP normal. Estas máquinas se conectan mediante alguna topología de red que permite la transmisión de los paquetes entre las estaciones de base y la pasarela. Distintas RAN manejan únicamente las tareas que están específicamente relacionadas a cierta tecnología de acceso radioeléctrico. Por lo general, el sistema radioeléctrico de acceso inalámbrico incorpora únicamente las capas física y de enlace de datos. La comunicación entre las redes RAN que pertenecen a la misma CCN se basa en las capas inferiores de red (capa de enlace o capa de red).

Por lo general, los términos relativos a la movilidad que se utilizan en este punto tienen el mismo significado que se emplea en las definiciones del IETF [Manner y Kojo, 2003]. Si bien, hay una diferencia importante cuando se trata de un entorno de redes heterogéneas. La micromovilidad no se restringe sólo a una red de acceso simple. Por el contrario, se limita sólo a un dominio IP y los puntos de acceso que pertenecen a distintas redes de acceso radioeléctrico pueden conectarse al dominio. El traspaso entre redes de acceso no necesariamente invoca la macromovilidad.

5.2.3 Arquitectura de la red heterogénea

En este punto se introducen las entidades funcionales de la arquitectura de la red heterogénea y de los protocolos correspondientes. La arquitectura se ilustra en la Fig. 30 que está compuesta por cuatro bloques constructivos principales: un anfitrión móvil, las RAN, una CCN y una red externa. Dentro de la red externa, hay nodos correspondientes (CN, *correspondent nodes*). La red externa se conecta a la CCN a través de uno o más encaminadores de pasarela (GR, *gateway routers*). Dentro de la CCN hay dos entidades funcionales importantes que son un gestor de recursos (RM, *resource manager*) y un gestor de movilidad (MM, *mobility manager*). Estas entidades son responsables en primer lugar de la distribución del tráfico y de los problemas relativos a la movilidad.

FIGURA 30
Arquitectura del sistema



2038-30

La CCN soporta la comunicación con las EB y, por consiguiente, con las RAN. Se utiliza una interfaz de estación de base (BSI) principalmente para proporcionar un mecanismo de acceso uniforme a fin de que las EB accedan a la CCN. La BSI puede ser un componente de una EB. Las EB se responsabilizan de los problemas de acceso inalámbrico en la capa de enlace normal y recopilan información del estado de la red inalámbrica que soportan. Éstas utilizan una interfaz de red (NI) para acceder a la red.

A Entidades funcionales de la red principal común

El objetivo principal de la arquitectura es integrar distintas tecnologías de acceso en una arquitectura común. Para lograrlo, las principales tareas que deben ser satisfechas por la arquitectura son la gestión de recursos para coordinar la distribución del tráfico en el sistema y la gestión de movilidad para apoyar la itinerancia de los anfitriones móviles.

Por consiguiente, el RM es responsable de la atribución de recursos y el control de admisión para soportar la distribución de tráfico en la CCN. Se encarga de seleccionar una RAN que pueda proporcionar de la manera más eficiente el servicio solicitado por el anfitrión móvil. Esencialmente, combina múltiples sistemas de acceso inalámbrico y aprovecha su potencialidad específica para proporcionar servicios de una manera eficaz en relación con el espectro. Otra tarea del RM es interactuar con las arquitecturas de QoS de IP (como Intserv y Diffserv) que se pueden utilizar en la red externa.

El MM es responsable de todas las cuestiones relativas a la movilidad. Se encarga del seguimiento de la ubicación de los terminales móviles y determina qué redes de acceso están disponibles para un anfitrión móvil en una determinada ubicación. El RM utiliza esta información. La otra tarea principal del MM es proporcionar los traspasos, tanto locales dentro de la CCN y para la red externa. Para poder llevar a cabo estos traspasos, necesita interactuar con el RM. Si un anfitrión móvil se desplaza dentro de la red principal, la movilidad es transparente con relación a la capa de red, y el sistema intenta mantener los flujos IP y los parámetros de QoS de IP.

B Entidades funcionales de la red de acceso básico

En esta cláusula se enumeran algunas de las principales funcionalidades o utilidades de la BAN [Mahmud y otros, 2002].

La red BAN se utiliza principalmente para soportar radiomensajería heterogénea. En un entorno del servicio móvil, los sistemas deben consumir poca energía debido a que los terminales utilizan baterías para su funcionamiento. Se espera que los comunicadores IP inalámbricos estarán «disponibles» continuamente (es decir, «activación permanente»), aunque no estén necesariamente en comunicación la mayor parte del tiempo. Esencialmente, los anfitriones del servicio móvil estarán en un estado de reposo, pero en conexión pasiva a la infraestructura de la red. Por consiguiente, resulta extremadamente ineficiente tener que rastrear todas las RAN, y esperar un radiomensaje. Además, como las redes inalámbricas se han optimizado para servicios especiales, es posible que no sean muy eficientes para los radiomensajes. Resulta más eficaz una red inalámbrica optimizada para esta clase de tráfico.

La BAN puede proporcionar el descubrimiento del sistema inalámbrico y además permite el acceso común; cualquier anfitrión del servicio móvil puede utilizar esta BAN. La red proporciona al terminal la información relativa a las redes inalámbricas disponibles en ese momento, de modo que el terminal no tiene que rastrear todas las RAN posibles.

La BAN se utiliza como una red de señalización especialmente para facilitar los traspasos verticales. Este tipo de red dedicada puede proporcionar este servicio de modo eficaz y seguro.

La BAN se utiliza como un medio para la mayor parte de los mensajes de señalización y de control. Esto simplifica el diseño de nuevos servicios de acceso inalámbrico, ya que la señalización se lleva a cabo mediante otra entidad (BAC) o red.

C Entidades funcionales de los anfitriones del servicio móvil

Los anfitriones del servicio móvil incluyen todos los protocolos de transporte normalizados y los servicios de control específico inalámbricos. Los mensajes de control se envían de modo transparente entre la red principal y las entidades funcionales de los anfitriones del servicio móvil.

Como se ilustra en la Fig. 30, un anfitrión del servicio móvil incluirá un BAC y una interfaz de red (NI) basada en SDR o múltiples NI integradas o susceptibles de ser insertadas. El BAC se emplea como un componente primario para la comunicación con la BAN. Utilizando una capacidad de posicionamiento integrada o el componente localizador (LOC), el BAC emite datos relativos a la actualización de la ubicación para efectos de radiomensajería (actualización aproximada) cuando el anfitrión del servicio móvil se desplaza a través de la frontera de radiomensajería, y también para el descubrimiento del sistema (actualización precisa) cuando el anfitrión del servicio móvil inicia una llamada o solicita un traspaso vertical.

El gestor del recurso local (LRN) se responsabiliza de los recursos locales del terminal y tiene interacción con el gestor de recursos de la CCN para determinar la red que se debe utilizar y cuándo estará en funcionamiento. El gestor de señalización de acceso básico (BASM) funciona en coordinación con el LRM y el MM para gestionar la señalización a través de la BAN.

6 Terminología relativa a la movilidad del IETF para efectos de movilidad

Para facilitar la comprensión de este Anexo, en este punto se presenta la terminología relativa al soporte de la movilidad tal y como la define el IETF. A la fecha estas definiciones aún no se han alineado completamente con todas las Recomendaciones de vocabulario del UIT pertinentes. En consecuencia, el alcance de las definiciones incluidas en este punto, se limita al contenido de este Anexo.

Conforme al IETF [Manner y Kojo, 2003], se deben soportar múltiples opciones de arquitectura para la gestión de movilidad. Es necesario tener en cuenta el siguiente punto de vista relativo a la gestión de movilidad en las redes del servicio móvil basadas en IP:

Es posible que se necesiten diferentes clases de gestión de movilidad para un sistema del servicio móvil. Se puede diferenciar entre movilidad de usuario, personal, de anfitrión y de red.

Movilidad de usuario

Se refiere a la capacidad de un usuario para acceder a servicios desde distintos anfitriones físicos. Por lo general, esto significa que el usuario tiene una cuenta en los distintos anfitriones o que un anfitrión no impide a los usuarios utilizarlo para que accedan a los servicios de acceso.

Movilidad personal

Complementa la movilidad del usuario con la capacidad para seguir el rastro de la ubicación del usuario y proporcionar su ubicación actual a fin de permitir que el usuario pueda iniciar sesiones o que cualquier abonado en cualquier otra red pueda iniciar sesiones hacia dicho usuario. La movilidad personal también incluye la habilitación de la seguridad asociada, la facturación y la autorización de suscripción al servicio que se efectúa entre los dominios administrativos.

Movilidad de anfitrión

Se refiere a la función que permite a un anfitrión del servicio móvil cambiar su punto de conexión a la red, sin interrumpir la distribución de paquetes IP hacia ese anfitrión o desde el mismo. Pueden existir distintas subfunciones dependiendo de qué nivel de servicio actual se esté proporcionando; en particular, por lo general el soporte de la movilidad de anfitrión incluye los modos de operación activo y en reposo, en función de que el anfitrión tenga algunas sesiones en curso o no las tenga. Se requieren procedimientos de la red de acceso para seguir el rastro del punto de conexión actual de todas las MN o se establece según proceda. Se necesitan procedimientos precisos de ubicación y encaminamiento para mantener la integridad de la comunicación. La movilidad de anfitrión a menudo se denomina «movilidad del terminal».

Movilidad de red

La movilidad de red se presenta cuando una red completa cambia su punto de conexión a la red Internet y, por consiguiente, su accesibilidad en la topología, a la cual se hace referencia como una red móvil. Pueden identificarse dos subcategorías de movilidad dentro de cada movilidad de anfitrión y movilidad de red:

Movilidad mundial

Idéntica a la macromovilidad.

Movilidad local

Idéntica a la micromovilidad.

Macromovilidad

Movilidad a través de una zona extensa. Incluye el soporte de movilidad y los procedimientos de registro de dirección asociados que se necesitan cuando un anfitrión del servicio móvil se mueve entre dominios de IP. Por lo general, los trasposos entre AN incluyen protocolos de macromovilidad. El IP móvil puede considerarse como un medio para proporcionar macromovilidad.

Micromovilidad

Movilidad a través de una zona pequeña. Generalmente esto significa la movilidad dentro de un dominio IP con énfasis en el soporte del modo activo utilizando el traspaso, aunque puede incluir también procedimientos del modo en reposo. Los protocolos de la micromovilidad aprovechan la característica local del movimiento al restringir los cambios y la señalización relativos al movimiento a la red de acceso.

Gestión de movilidad local

La gestión de movilidad local (LMM, *local mobility management*), es un término genérico para los protocolos que se dedican a la gestión de movilidad IP restringida dentro de la red de acceso. Los mensajes LMM no se encaminan fuera de la red de acceso, aunque un traspaso puede activar el envío de mensajes IP móviles a nodos correspondientes y a los agentes propios.

7 Referencias Bibliográficas

- INOUE, M., WU, G., MAHMUD, K., MURAKAMI, H. y HASEGAWA, M. [septiembre de 2002] Development of MIRAI System for Heterogeneous Wireless Networks. PMRC02, Lisboa, Portugal.
- MAHMUD, K., WU, G., INOUE, M. y MIZUNO, M. [septiembre de 2002] Basic Access Network – the Signalling-only Network for Power-Efficient Mobile Multi-service Terminals in MIRAI Architecture. IEEE VTC otoño de 2002, Vancouver, Canadá.
- MANNER, J. y KOJO, M. (Eds.) [abril de 2003] *Internet Engineering Task Force Internet-Draft, Mobility Related Terminology*.
- WU, G., HAVINGA, P. y MIZUNO, M. [febrero de 2002] MIRAI Architecture for Heterogeneous Network. *IEEE Comm. Mag.*, p. 126-134.

Anexo 9

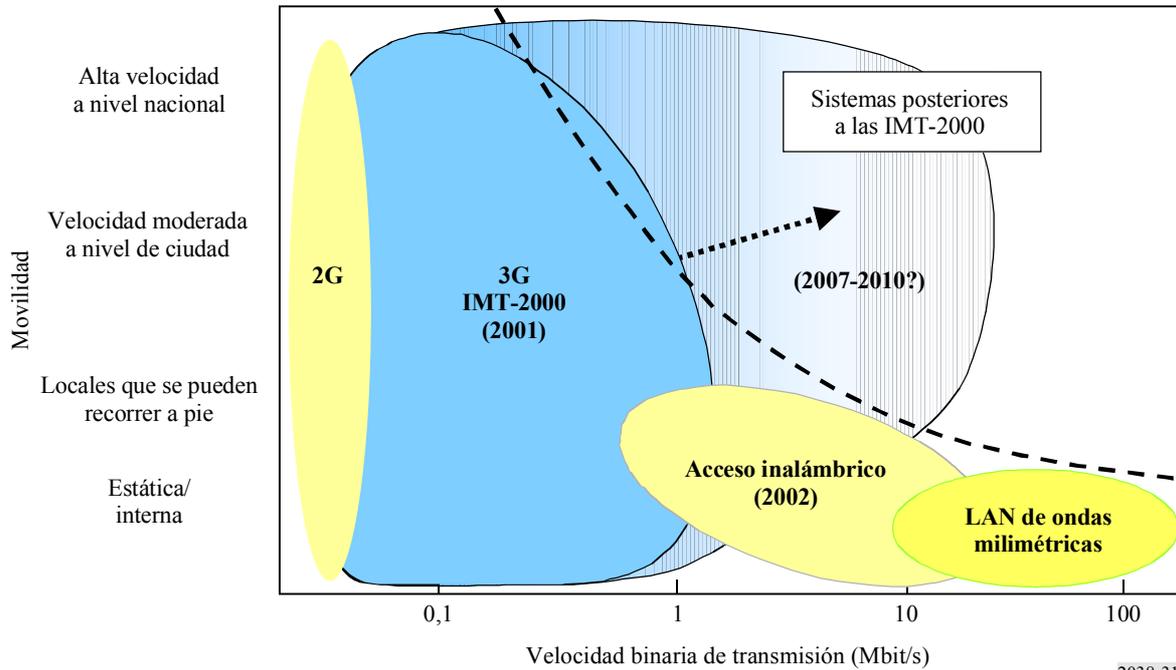
Tecnologías de acceso inalámbrico de banda ancha por IP

1 Introducción

Las solicitudes en constante crecimiento de comunicaciones móviles requieren la evolución continua de los sistemas y el desarrollo de nuevos sistemas cuando procede, para aplicaciones multimedios como los datos de alta velocidad, paquetes y vídeo por IP. La adición de una nueva norma de acceso inalámbrico de banda ancha por IP a la familia de las IMT-2000, para ofrecer anchuras de banda sin precedentes y acceso transparente a todo el contenido de la red Internet y a cualquier contenido público o privado, basándose en el IP, podría convertirse en un elemento poderoso para consolidar el crecimiento de la industria inalámbrica.

La Fig. 31 se utiliza como referencia para identificar y aclarar este nuevo concepto:

FIGURA 31



2038-31

La Fig. 31 describe los sistemas móviles en relación a dos parámetros básicos, la movilidad y la velocidad de transmisión, y se sugiere que habrá un aumento de las capacidades de los sistemas móviles simultáneamente hacia una mayor movilidad y velocidades de datos más altas. Esta doble evolución puede resultar un tanto paradójica, al menos desde el punto de vista puramente tecnológico, como se puede observar de la línea punteada en la Figura, que se puede entender como una relación de compromiso o una línea de tendencia. Además, una descripción más detallada de la posible evolución incluiría parámetros adicionales así como tecnologías más eficaces con relación al espectro (como las de antenas adaptativas) en los sistemas móviles presentes o futuros. No obstante, aun con el significativo desarrollo de la tecnología, por razones físicamente fundamentales, se puede establecer con certeza que:

- alta movilidad
- alta eficacia espectral
- velocidades de transmisión elevadas

no pueden combinarse de manera eficaz o económica dentro de un solo sistema.

Por consiguiente, quizá puede haber una mala interpretación si se deduce de la Fig. 31 anterior que una sola interfaz inalámbrica podría cubrir todo el conjunto de parámetros a), b) y c) anteriores, sin mencionar la complejidad añadida de la compatibilidad hacia atrás con distintos sistemas con conmutación de circuitos tradicionales.

Por consiguiente, esto lleva de manera natural al concepto de módulos optimizados de interfaces inalámbricas para atender nichos de mercado o más bien esferas de mercados: en consecuencia, se podrían anticipar productos diseñados para responder de modo óptimo a perfiles específicos de usuario, definidos de manera suficientemente amplia a través de mercados geográficos importantes, e incorporando subconjuntos específicos de estos módulos.

Este método modular estaría en armonía con los desarrollos tecnológicos actuales de terminales multinormas/multimodos y con los conceptos SDR. Sin embargo, permanecerán las cuestiones de implementación e integración.

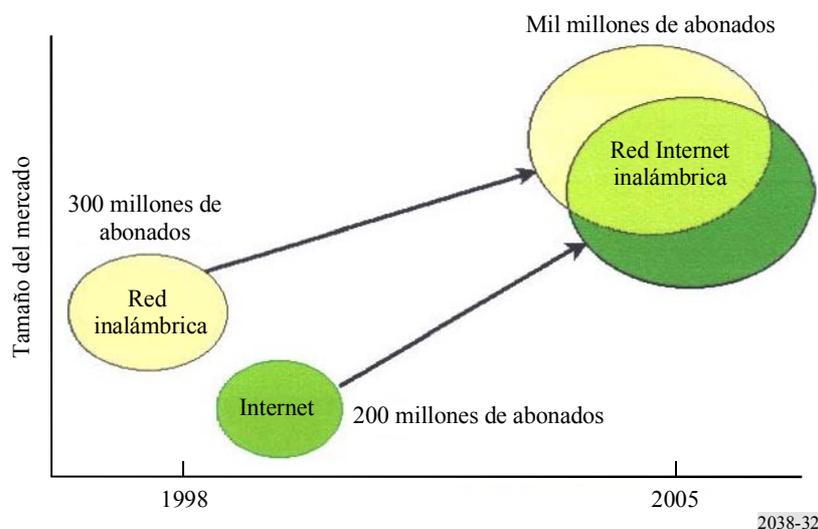
En este Informe se propone que la ampliación de la calidad de funcionamiento de los sistemas IMT-2000 modulares simultáneamente hacia mayor anchura de banda y mayor movilidad se puede lograr más fácilmente a través del concepto de módulos de interfaz inalámbrica para atender segmentos de mercado específicos, que se puedan adoptar dentro de la familia de normas de las IMT-2000.

2 Ejemplos de una zona focal: acceso inalámbrico de banda ancha por IP

Con las comunicaciones inalámbricas se ha creado una generación de usuarios que depende totalmente de aparatos portátiles para su conectividad personal. Las tecnologías subyacentes han madurado a un nivel en que la telefonía portátil es universal y se ha formado un mercado muy grande y dinámico. Un nuevo campo prometedor para la convergencia transparente de la red Internet y las redes inalámbricas es el acceso a Internet de banda ancha portátil.

La aparición de Internet en las comunicaciones personales y comerciales ha permitido crear nuevas oportunidades así como nuevos retos para los planificadores, operadores y diseñadores de equipo y fabricantes de sistemas de telecomunicaciones. En particular, existe la convicción de que muy pronto el acceso inalámbrico a Internet representará un enorme mercado (véase la Fig. 32). Al tratar de satisfacer las necesidades de los usuarios inalámbricos, mientras se siguen cumpliendo los requisitos de una infinidad de proveedores de servicio quienes ofrecen sus productos en la red Internet fija o alámbrica, se crean desafíos adicionales. Es posible que los proveedores inalámbricos no puedan hacer frente a esos desafíos con las ofertas actuales, y será difícil que los cumplan aun con la próxima generación de redes inalámbricas que se encuentran en distintas etapas de planificación. No obstante, las nuevas tecnologías tales como las radiocomunicaciones por paquetes, los sistemas de antena adaptativa y las arquitecturas derivadas de Internet podrán tener acceso al contenido completo (vídeo de transmisión de flujo continuo, etc.) de la red Internet de modo tan universal como la telefonía celular de hoy en día.

FIGURA 32



Toda la industria de Internet ha crecido, en parte, debido a las reducidas barreras de entrada a una amplia variedad de contenido y servicios. No obstante, mientras que en muchos mercados los consumidores en viviendas cableadas se han beneficiado del aumento de la anchura de banda de

9,6 kbit/s a más de 1 Mbit/s a precios razonablemente económicos, los mismos abonados aún tienen gran dificultad para utilizar los exploradores web de Internet cuando abandonan sus conexiones fijas y alámbricas. Pese a que la industria ha evolucionado con la utilización de los sistemas «inalámbricos de banda ancha» como se ilustra en la Fig. 31, éstos están orientados a proporcionar conexiones de alta velocidad a ubicaciones fijas y edificios, y no a los individuos.

Históricamente, a pesar de los múltiples intentos de la industria inalámbrica del servicio móvil para ofrecer servicios de datos inalámbricos a menudo los abonados se mostraron reacios, no obstante actualmente hay algunas historias de abonados exitosas que se han generalizado: por ejemplo, las múltiples aplicaciones y aparatos de usuario extremo en las redes de teléfonos portátiles (Handiphone) personales y de modo-i en Japón, y la enorme aceptación del servicio de mensajes cortos en las redes GSM. Pero la adopción de las redes basadas en paquetes para los sistemas inalámbricos se ha visto bloqueada por la necesidad de proporcionar servicios vocales con conmutación de servicios en esas redes. Por consiguiente, la adopción de las redes de paquetes extremo a extremo se ha visto retardada en el pasado por la ausencia de demanda de los abonados. Además, la mayoría de los aparatos del usuario final se fundamentan en conceptos telefónicos en lugar de haber sido diseñados como aparatos específicos para Internet. Sólo recientemente han comenzado a aparecer aparatos portátiles de Internet que se han diseñado para conectividad inalámbrica.

Las aplicaciones de datos inalámbricas del servicio móvil se pueden categorizar en segmentos que requieren cada vez más complejidad, anchura de banda y transparencia al contenido y a los protocolos de Internet:

- El contenido básico de la red Internet (por ejemplo, clima, bolsa y noticias) está disponible ampliamente en la actualidad en la mayoría de las redes móviles comerciales, utilizando el protocolo de aplicación inalámbrica (WAP, *wireless application protocol*) y otras técnicas de recortes web, y se hace llegar a los teléfonos móviles en forma de texto.
- Durante los próximos años, aparecerán en estos aparatos aplicaciones mejoradas de red (es decir, aquéllas que necesitan algún nivel de inteligencia y capacidad de transacción en la red) tales como las aplicaciones previstas para la geolocalización. Esas aplicaciones tendrán valor real y no consumen demasiada anchura de banda, pero sí exigen inteligencia de la red e interacción preprogramada entre la red y el usuario.
- A continuación, habrá una diversidad de aplicaciones que necesitan algún nivel de seguridad y fiabilidad, como el comercio seguro por el servicio móvil y el acceso corporativo a las redes Intranet. Por consiguiente, la cuestión es más compleja, ya que el usuario extremo tendrá algunas necesidades específicas y muy exigentes, como la seguridad y la encriptación; esos problemas se están resolviendo actualmente.
- Sin duda, la familia de los sistemas IMT-2000 pondrá a disposición del usuario una red Internet considerablemente mejorada. Si bien desde un punto de vista práctico podría argumentarse, dadas las crecientes necesidades de acceso vocal, que a menos que se disponga de VoIP en una red de paquetes, el acceso inalámbrico estará aún retrasado por lo que se refiere a la facilidad de acceso transparente a Internet, calidad y asequibilidad. Por consiguiente, resultan indispensables especificaciones y normas para arquitecturas de sistemas inalámbricos que permitan ofrecer a los usuarios comerciales y a los abonados una conexión con velocidad de datos muy rápida a la red Internet, con libertad de movimiento y un modo de activación permanente. Ese tipo de norma se centraría, al lado de los principales componentes de la familia IMT-2000, en el discutible amplio nicho de mecanismos de acceso de sólo datos, y sería totalmente complementaria del resto de los componentes de la familia de las IMT-2000.

El crecimiento de la red Internet es el impulsor clave detrás de la necesidad de ese tipo de norma. Mientras mayor utilización se haga de la red Internet en la vida cotidiana y mayor sea la amplitud de las aplicaciones en la red, que disfrutarán los usuarios en las estaciones fijas, mayor será la

necesidad de un servicio que les permita el mismo acceso libre de restricciones mientras se encuentren en una ubicación distinta que no disponga de servicio. Uno de los objetivos para establecer ese tipo de norma será ofrecer a todos los abonados una «experiencia multimedios sin ataduras». Una nueva generación de desarrolladores extenderá las aplicaciones de banda ancha al dominio de los terminales portátiles, diseñándolas específicamente para ese dominio, como es el caso de los servicios y el contenido de geolocalización de banda ancha. Esos servicios incluirán teletrabajo, teleasistencia sanitaria, teleeducación, ocio, turismo, juegos y contenido docente.

3 Supresión del embudo de acceso inalámbrico: acceso inalámbrico de banda ancha por IP

La combinación de las tendencias antes mencionadas crea una necesidad inmediata en los países industrializados, que pronto será seguida por los mercados emergentes, de sistemas de comunicación de datos inalámbricos con las siguientes características, desde el punto de vista de los usuarios y los operadores de red:

- Acceso por paquetes con altas velocidades de datos.
- Aplicaciones síncronas y asíncronas.
- Alta eficacia espectral.
- Alta eficacia del tráfico asimétrico (DDT).
- Conectividad con «activación permanente».
- Libertad de movimiento (con movilidad reducida).
- Bajo coste.
- Interfaces intuitivas (transparentes) para el acceso a contenido importante.

Como se establece en la presente contribución, el desarrollo de esas nuevas normas se apoya en avances adecuados para habilitar nuevas tecnologías de procesamiento de señal que ya han sido desarrolladas y probadas en distintos sistemas de comunicaciones comerciales modernos.

En este Informe se propone que este concepto merezca el reconocimiento con una alta prioridad por las siguientes razones:

- Los datos de banda ancha que transportan contenido de Internet de modo transparente deben distribuirse de modo rentable a muchos usuarios situados en cualquier emplazamiento (y no solamente en interiores).
- La combinación de conectividad inalámbrica masiva (sistemas de servicio móvil) y conectividad de Internet de banda ancha masiva (en escritorios y viviendas a través de sistemas alámbricos) permitirá crear una «tracción de mercado» sustancial de sistemas inalámbricos de banda ancha, y su normalización beneficiará la armonización entre los sistemas y el éxito esperado.
- La necesidad de acceso a Internet de banda ancha de los países en desarrollo, que resulta un impulsor potencialmente importante de la actividad económica, puede satisfacerse de manera más rentable y oportuna a través de la conectividad inalámbrica universal.

En resumen:

- El enfoque actual de la industria inalámbrica para la movilidad es poner énfasis en los servicios de valor añadido con contenido y aplicaciones, en lugar del IP de banda ancha.
- El suministro de conectividad universal inalámbrica de banda ancha por IP es un nuevo y distinto campo focal.

4 Conclusión

En el presente Informe se proporcionan los elementos para definir un ejemplo típico que, con las debidas consideraciones del mercado, justifican el desarrollo de nuevas normas de acceso inalámbrico IMT-2000. La adición de una nueva norma de acceso inalámbrico de banda ancha por IP a la familia de las IMT-2000, que permita ofrecer anchuras de banda sin precedentes y acceso transparente a todo el contenido de la red Internet y a cualquier contenido, público o privado, basándose en el IP, puede convertirse en un elemento poderoso para consolidar el crecimiento de la industria inalámbrica.

En armonía con las necesidades de los países en desarrollo, como se identificó en la Cuestión UIT-R 77/8, el presente Informe debe considerarse como una base para la elaboración de un anteproyecto de nueva Recomendación relativa a nuevas normas de acceso inalámbrico IMT-2000.

Anexo 10

Radiocomunicaciones a través de fibras ópticas (RoF)

1 Introducción

En este Anexo se describe un sistema de radiocomunicaciones a través de fibra óptica (RoF, *radio on fibre*) genérico conforme al § 3.2.5, y se identifican los requisitos de RoF y las especificaciones funcionales.

2 Descripción del sistema RoF

Este sistema consiste en los siguientes elementos: repetidor(es) de estación transceptora base (ETB), red óptica, repetidor(es) de antena y módulo de control.

En la Fig. 33 se ilustra el sistema con sus interfaces. En la Fig. 34 se muestra también un ejemplo ilustrativo de la representación del diagrama simplificado.

FIGURA 33
Sistema RoF e interfaces

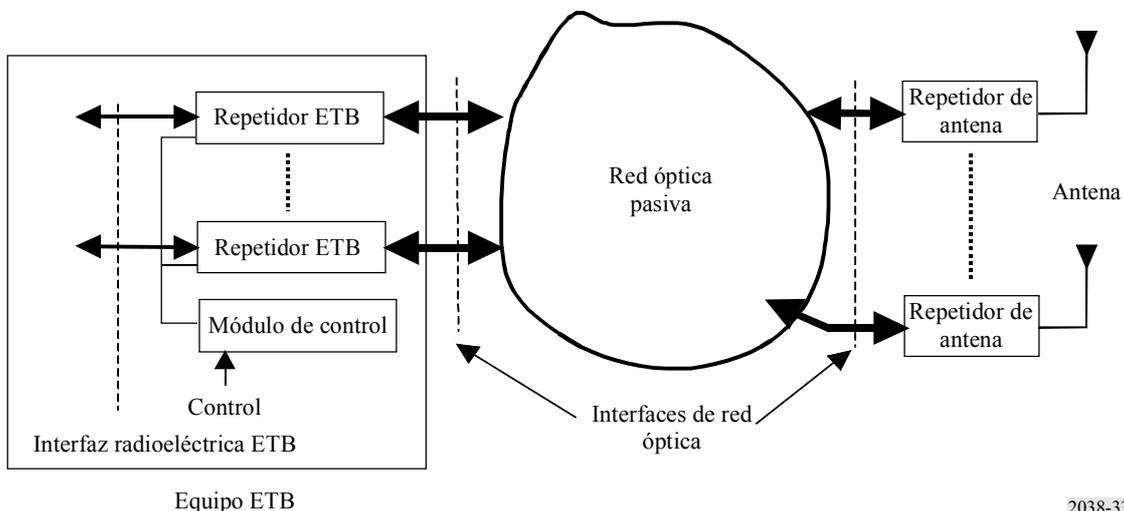
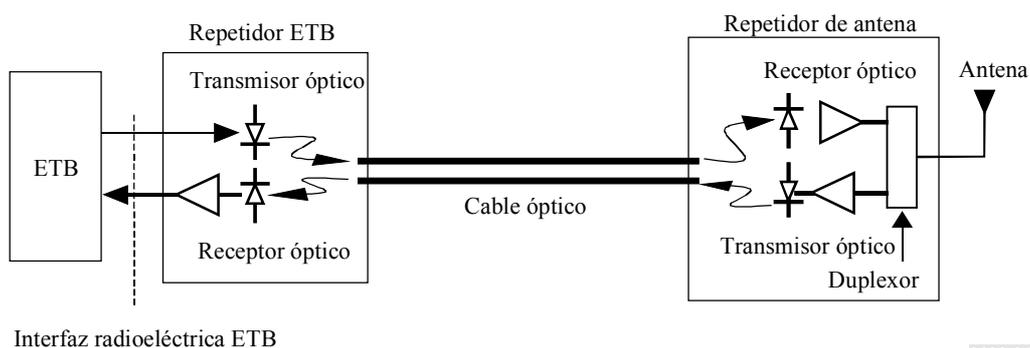


FIGURA 34

Diagrama simplificado del sistema RoF



2038-34

2.1 Descripción del repetidor ETB

El repetidor ETB adapta la interfaz de RF de ETB a la interfaz de la red óptica, en el lado de red. En la versión simple, ilustrada en la Fig. 34, una portadora de RF procedente del ETB modula la intensidad de un transmisor óptico cuya salida alimenta al cable de fibra óptica (sentido descendente). De la misma manera, se recibe otra señal óptica, modulada en intensidad mediante una portadora de RF en sentido ascendente, de otro cable de fibra óptica que alimenta a un receptor óptico, cuya salida amplificada se aplica al puerto del receptor ETB.

2.2 Descripción de la red óptica

La red óptica es pasiva, a menos que explícitamente se establezca lo contrario. Se conecta a los repetidores ETB alojados en un recinto común con los repetidores de antena, a través de las correspondientes interfaces de red óptica. Además de una o varias fibras ópticas, podría incluir conectores, divisores, multiplexores y demultiplexores por división de longitud de onda y, en general, cualquier dispositivo óptico pasivo. En la versión simple ilustrada en la Fig. 34, hay un conjunto de dos fibras ópticas, para transmisión en sentido descendente y en sentido ascendente respectivamente, que conectan un repetidor ETB a un repetidor de antena.

2.3 Repetidor de antena

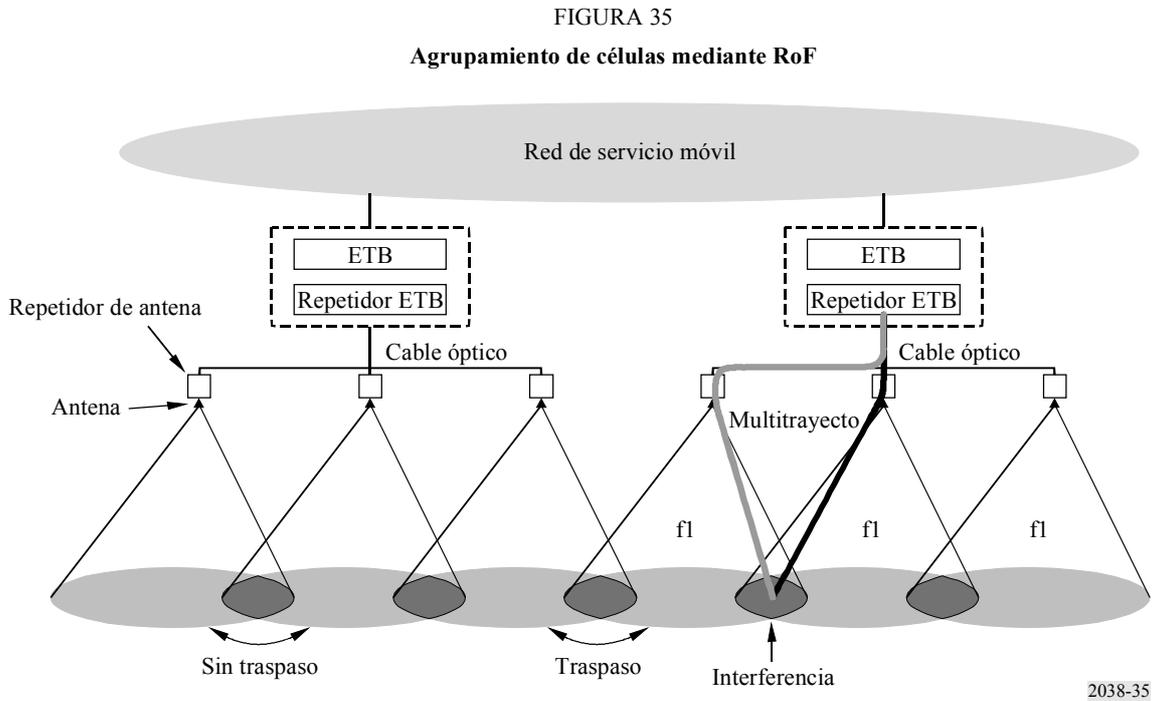
El repetidor de antena adapta la interfaz de la red óptica, en el lado de la antena, a las antenas de transmisión y de recepción. En la versión sencilla ilustrada en la Fig. 34, una portadora óptica, modulada en intensidad mediante una portadora de RF en sentido descendente, alimenta a un receptor óptico, cuya salida se filtra, se amplifica y se aplica a la antena de transmisión. En el trayecto en sentido ascendente, las señales de RF procedentes de la antena de recepción se filtran, se amplifican y se aplican al puerto de modulación por intensidad de un transmisor óptico, cuya salida alimenta, a su vez, a una fibra óptica en sentido ascendente.

2.4 Módulo de control

Se trata de una entidad lógica, que también puede ser un módulo físico o su funcionalidad puede estar integrada en el repetidor ETB. Existe un módulo de control por cada sistema RoF. Su objetivo es proporcionar una interfaz de control a un sistema de gestión externa. Las comunicaciones con el sistema de gestión pueden llevarse a cabo mediante el mismo sistema inalámbrico, o a través de una conexión de línea física.

2.5 Arquitectura del grupo de células

La arquitectura del grupo de células RoF que se muestra en la Fig. 35 es muy eficaz para las células urbanas (en las calles) o las células en zonas restringidas con conexión inalámbrica a Internet (*hotspots*), ya que no es necesario el traspaso entre las células cuando pertenecen a la misma ETB. Por consiguiente, puede lograrse una alta movilidad del terminal del usuario en las células de la misma ETB mostradas en [Fujise, 2001; Harada y otros, 2001].



3 Requisitos de RoF y aplicaciones funcionales

3.1 Capacidad de transporte

Para un sistema inalámbrico determinado, la capacidad de transporte de un sistema RoF se define en función de los siguientes parámetros:

- Número de portadoras de RF bidireccionales que puede transportar.
- Número de repetidores de antena a los que puede ofrecer servicio simultáneo.
- Número de portadoras de RF por cada repetidor.
- Capacidad de difusión en sentido descendente, o número de repetidores de antena que pueden radiar la misma portadora de RF.

3.2 Calidad de funcionamiento de entrada/salida

- Máxima potencia de salida por cada portadora.
- Ganancia de potencia en sentido descendente/ascendente.
- Parámetros relativos a la degradación como el factor de ruido equivalente en sentido ascendente, el error de frecuencia/fase, las características e intermodulación y otros.

3.3 Planta óptica

- Máximas pérdidas por inserción de la planta óptica.
- Máxima longitud del trayecto óptico.

Además, cada sistema RoF establece un requisito relativo a las máximas pérdidas de retorno de la planta óptica, que dependen de la técnica de transporte óptico y de las características del sistema inalámbrico.

3.4 Funciones de gestión

Un sistema RoF deberá soportar varias zonas funcionales de gestión, como configuración (ETB y repetidores de antena) e informes de fallos.

4 Referencias Bibliográficas

- FUJISE, M. [agosto de 2001] Radio over Fiber Transmission Technology for ITS and Mobile Communications. *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. E84, **8**, p. 1808-1814.
- HARADA, H., SATO, K. y FUJISE, M. [diciembre de 2001] A Radio-on-Fiber Based Millimeter-Wave Road-Vehicle Communication System by a Code Division Multiplexing Radio Transmission Scheme. *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 2, **4**, p. 165-179.

Anexo 11

Arquitectura de los terminales

En las IMT-2000 la combinación y la convergencia de los distintos mundos de la industria de la tecnología de la información (IT, *information technology*), industria de medios y telecomunicaciones integrarán sus comunicaciones con IT. Como resultado, las comunicaciones del servicio móvil junto con la IT penetrarán en los diversos campos de la sociedad. Las expectativas del usuario están creciendo con respecto a una gran diversidad de servicios y aplicaciones con distintos grados de calidad de servicio (QoS), relacionados con los requisitos de retardo, velocidad de datos y errores de bits. En particular los usuarios esperarán de sus plataformas de servicio móvil no sólo que ofrezcan la misma variedad e intensidad de las aplicaciones y capacidades de las que disponen actualmente en sus plataformas de PC, sino que evolucionen con el mismo ritmo de cambio que propugna la «Ley de Moore» relativa al avance de las nuevas aplicaciones y capacidades.

Por consiguiente, desde el punto de vista del usuario, los sistemas de las IMT-2000 y posteriores representan un cambio fundamental de las expectativas. En lugar de prever únicamente un conjunto de aplicaciones y servicios «nuevos y mejorados» pero «estáticos», el usuario espera un flujo continuo y dinámico de nuevas aplicaciones, capacidades y servicios.

Ese flujo continuo surgirá de un ecosistema saludable de plataformas programables polivalentes soportadas por una comunidad de desarrolladores grande, robusta y efervescente.

1 Plataformas programables polivalentes

Como se define generalmente en la literatura sobre este tema, una tecnología polivalente posee dos características claves que le permiten producir beneficios económicos de gran alcance y duraderos.

- Dinamismo tecnológico; la tecnología tiene la capacidad de mejorar continuamente su rendimiento.
- Aplicación amplia; la tecnología puede utilizarse para una amplia diversidad de finalidades.

Conforme disminuye el coste de la tecnología, los innovadores pueden aplicarla a más campos de la actividad humana, lo que permite que prolifere su despliegue a través de grandes segmentos de la población, y de ese modo se incrementa su repercusión en toda la sociedad.

Para los nuevos equipos de usuarios (UE, *user equipment*) del servicio móvil se incorporan estas características:

- Incluyendo procesadores de alta potencia polivalentes que siguen la Ley de Moore al aumentar espectacularmente la relación precio/rendimiento.
- Ofreciendo una plataforma flexible y programable que puede utilizarse para una diversidad de usos en continuo crecimiento.

2 Cuestiones de alto nivel relativas al equipo de usuario del servicio móvil

La convergencia de la conectividad inalámbrica y una plataforma programable polivalente acentúan algunas preocupaciones existentes y producen otras nuevas, de manera que los factores ambientales así como la tecnología tradicional y los impulsores del mercado tendrán influencia sobre la arquitectura de estos dispositivos.

2.1 Factores ambientales

Por lo que se refiere al lado ambiental, la situación se parece a un juego entre tres personas con los siguientes intereses fundamentales:

- Económico: beneficios comerciales, de consumo y sociales de un producto o servicio.
- Seguridad: protección de los bienes comerciales, del consumidor y públicos.
- Privacidad: protección de los datos sensibles contra acceso no autorizado.

2.1.1 Interés económico

Desde una perspectiva comercial se trata evidentemente de la creación de productos o servicios que sean atractivos a los clientes. Es posible que también se deseen valores sociales no comerciales.

2.1.2 Interés de seguridad

Frente a las grandes ventajas que supone la capacidad de programación, aparece el problema de los riesgos de seguridad, que pueden manifestarse como virus que dañan la red y ataques por negación de servicio, utilización fraudulenta de la red y piratería del espectro; acceso y daño a datos sensibles violando los servidores de acceso corporativos; robos de contenido digital; y robos o daños de aplicaciones o datos de los clientes.

2.1.3 Interés de privacidad

En contra de la necesidad de utilizar el método de autenticación para combatir el fraude comercial y legitimar los requisitos de cumplimiento de la ley, también se debe establecer un equilibrio de la necesidad de mantener la privacidad de los individuos y de las empresas contra invasión sin justificación como es el caso del acceso no autorizado a la información de la red propia del cliente, y a datos de usuario local sensibles como los que se almacenan en memoria permanente o se generan mediante tecnología basada en el contexto.

2.2 Principales impulsores tecnológicos y del mercado

Al combinar los intereses anteriores con los factores del entorno se obtienen impulsores tradicionales del mercado y tecnológicos:

2.2.1 Tirón del valor del usuario

- Instalación de capacidades robustas de la red de datos por paquetes, que permiten nuevas aplicaciones de soporte lógico para una gran cantidad de datos que integran las aplicaciones de Internet y multimedios, como es el caso de la reproducción de vídeo de flujo continuo, multimedios, gráficos animados, comercio móvil (m-commerce) y la conectividad de redes. Muchas de esas aplicaciones pueden personalizarse o «basarse en contexto» con información sensible del usuario.
- El deseo de los consumidores y los profesionales de los servicios móviles para acceder a aplicaciones seguras y con una gran cantidad de datos.

2.2.2 Tirón de los requisitos de seguridad

- Algoritmos, mecanismos y tecnologías de seguridad dinámicos.
- Tecnología de autenticación incluidos los dispositivos biométricos.
- Gestión de los derechos digitales para la protección de contenidos importantes.

2.2.3 Impulsores tecnológicos

- La aparición de microprocesadores de baja potencia y elevada calidad de funcionamiento, memoria densa y lógica de banda base eficaz, ha permitido poner a disposición de los usuarios capacidades sin precedentes.
- Servidores de elevada calidad de funcionamiento, y bajo coste, instalados en la infraestructura, para controlar la interfaz entre las fuentes de información y los clientes inalámbricos, y que hacen realidad las capacidades de extremo a extremo.
- Tecnologías de comunicaciones distribuidas facilitadas por dispositivos intermedios de soporte lógico para la presentación del servicio.

3 Tendencias de la arquitectura de alto nivel con relación al equipo de usuario del servicio móvil

La satisfacción de las necesidades relativas a mecanismos de desarrollo de distribución de aplicaciones de seguridad e integridad de red de las últimas generaciones de dispositivos inalámbricos, fue un proceso lento y en serie. En primer lugar se desarrolló el soporte físico (el silicio y el dispositivo); a continuación se escribieron las aplicaciones para un soporte físico particular y una interfaz inalámbrica; finalmente se probaron conjuntamente el soporte físico y las aplicaciones para garantizar el funcionamiento adecuado entre cada interfaz inalámbrica específica y la red. No obstante, ese tipo de ejemplo no será viable para satisfacer las expectativas del usuario de las IMT-2000 y sistemas posteriores.

- El desarrollo de las aplicaciones no podrá seguir el ritmo del crecimiento de Internet si se continúa con el proceso de desarrollo en serie.
- Además del desarrollo del soporte lógico de aplicación, las tecnologías de SDR permiten con mayor frecuencia cada vez que las funciones de las interfaces inalámbricas y de la red se ejecuten en soporte lógico.
- De manera similar, los algoritmos y las tecnologías de seguridad deben evolucionar y mejorar continuamente para mantenerse por delante de los intentos malintencionados y de las infracciones.

Para mantener la integridad del espacio de la red y del usuario, el soporte lógico de comunicaciones se deberá «desacoplar» y ejecutar en paralelo con las aplicaciones del usuario escritas para un procesador polivalente y ejecutadas en un entorno de funcionamiento polivalente. Esta división permite maximizar la viabilidad económica al facilitar que el desarrollo de la aplicación evolucione de manera independiente con relación a las normas de comunicaciones, y mejorar la seguridad al ofrecer espacios autónomos para la red y el usuario.

La creación de autonomía coexistente para el subsistema de radiocomunicaciones, el subsistema de la aplicación y las porciones de los subsistemas de memoria está evolucionando como un medio para resolver los requisitos ambientales triples que permitirán productos y servicios viables económicamente, manteniendo al mismo tiempo la seguridad empresarial y de la red, y el control del usuario sobre el espacio de la aplicación y la privacidad de los datos. Dicho de forma coloquial, «buenas cercas hacen buenos vecinos».

Al reducir considerablemente las interdependencias de los tres agentes, (económico, seguridad, privacidad) puede lograrse mucho más rápidamente el equilibrio y a un coste mucho más reducido.

3.1 Elementos esenciales de autonomía de los subsistemas coexistentes en la arquitectura de los equipos de usuario (UE)

A continuación se hace referencia a algunos de los elementos comunes necesarios para esta arquitectura:

- La arquitectura es abierta – Los subsistemas autónomos se conectan mediante interfaces físicas y lógicas abiertas, y soportan una amplia variedad de sistemas operativos, entornos de ejecución e interfaces inalámbricas. Las interfaces abiertas facilitan y fomentan la competencia de múltiples proveedores de los subsistemas, y permiten que el desarrollo de los soportes físico y lógico evolucionen más rápidamente y de manera independiente a su propio ritmo, garantizando en consecuencia un tren continuo de soluciones innovadoras al coste más bajo.
- La arquitectura es flexible y adaptativa, empleándose elevados niveles de modularidad, que permiten que cada módulo se pruebe y reutilice independientemente en muchos sistemas distintos. Un diseño modular incorpora la capacidad de integrar nuevas características de soporte físico y lógico conforme evolucionan las normas de la industria y las necesidades del mercado.

Anexo 12

Sistemas microelectromecánicos de radiofrecuencia (MEMS RF)

1 Desarrollo de un módulo de RF multinormas utilizando componentes MEMS RF

Como los servicios de las IMT-2000 están a punto de comenzar, se vuelven necesarias las compatibilidades hacia atrás con los sistemas PCS, CDMA, y otros, y por consiguiente harán su aparición terminales multibandas/multinormas. Con las tecnologías actuales, los terminales multibandas/multinormas serán voluminosos y de alto coste. Por lo tanto, se puede utilizar la tecnología de MEMS para desarrollar un módulo de RF aplicable a diversas frecuencias con estructuras compactas y flexibles. Además, será necesario un módulo de RF inteligente para los terminales de los sistemas posteriores a las IMT-2000 basados en SDR.

Mediante esta tecnología se pueden obtener componentes de tamaño reducido, peso ligero, bajo consumo de energía y elevada calidad de funcionamiento, para sustituir los componentes de RF pasivos discretos de modo que se pueda producir a su vez un módulo de RF flexible y compacto para terminales multibandas/multinormas.

En el Cuadro 5 se muestran las características de cada componente con la utilización de la tecnología MEMS RF.

CUADRO 5

Características de un módulo de RF que utiliza tecnologías MEMS RF

Duplexor	Grosor de 13 mm, utilizando un filtro MEMS RF ajustable
Conmutador	Pérdida por inserción reducida, bajo consumo de energía, programable
Antena	Gran reducción de volumen Capacidad de conmutación para aplicaciones multibandas Disminución del riesgo de ondas electromagnéticas
Módulo de entrada (frontal)	El volumen puede reducirse en un 80% incorporando los circuitos integrados de RF (RFIC) y los MEMS pasivos en un solo circuito integrado Será fácil elaborar un plan para reducir la interferencia provocada por las actividades de multifrecuencias Reducción del coste utilizando un solo paquete Solución más eficaz para los sistemas posteriores a las IMT-2000 o SDR

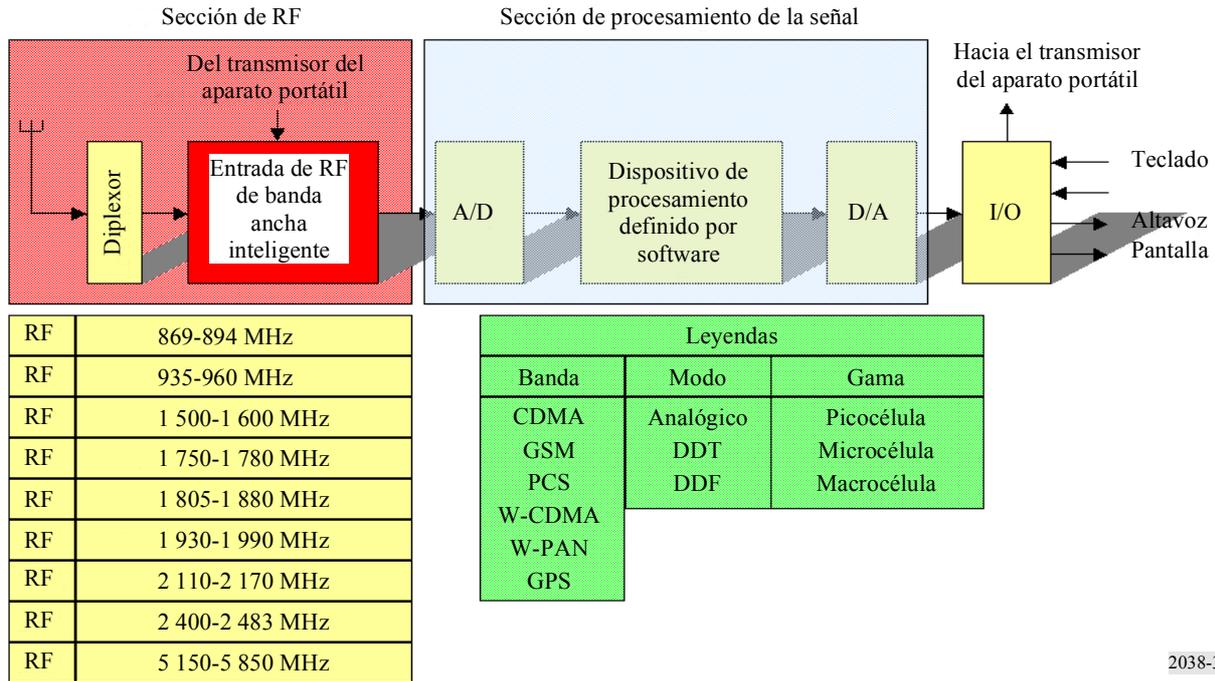
2 Una nueva solución de RF con tecnología SDR

Para los terminales posteriores a las IMT-2000 basados en SDR, resulta necesario un módulo de RF multinormas más complejo, que pueda aplicarse a los sistemas multinormas, como es el caso de GSM, DCS1800, PCS, W-PAN basada en TDD y CDMA, PCS, IMT-2000 basadas en FDD. La tecnología MEMS RF será una solución apropiada para los terminales multinormas.

En la Fig. 36 se muestra el diagrama de bloques de un sistema SDR básico. Si este sistema estuviera compuesto únicamente de componentes existentes, se necesitarían varios módulos de RF dando por resultado un gran volumen, demasiado peso y alto coste. Por otro lado, utilizando componentes MEMS como un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) programable, filtro ajustable, conmutador complicado programable y otros, se puede obtener un producto competitivo con un volumen reducido y peso ligero que se relacionará con los terminales futuros y será una solución para los sistemas de RF en los sistemas móviles inalámbricos del futuro.

FIGURA 36

Diagrama de bloques del sistema multibandas/multinormas

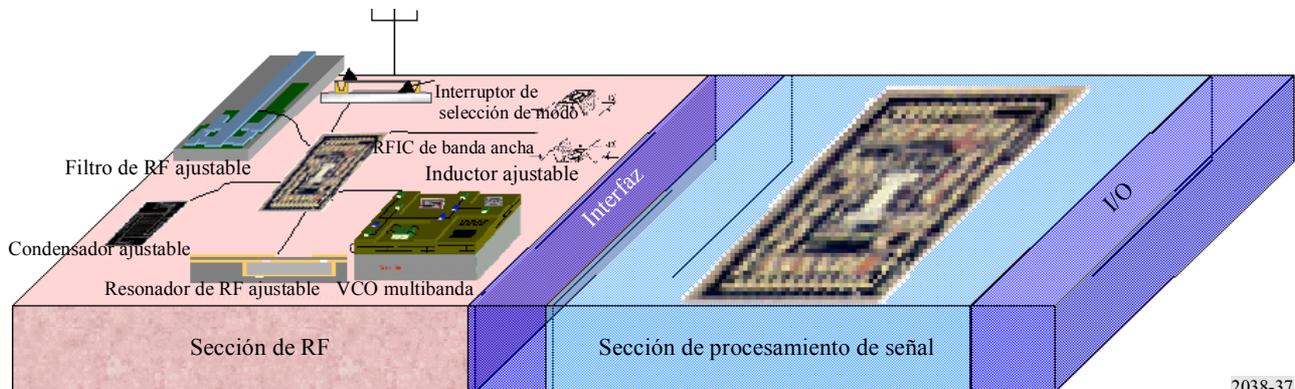


2038-36

En la Fig. 37 se muestra un nuevo concepto de un futuro terminal, en el que se integra todo un sistema en un solo circuito integrado, combinando la sección de RF con una sección de procesamiento de señal en un solo paquete. Con las tecnologías actuales no puede implementarse este concepto de terminal. No obstante, cuando se logre la tecnología del módulo de RF multibandas con MEMS RF, será posible integrar el módulo de RF con la tecnología de SDR como se muestra en la Fig. 37. Además, en el futuro podrán incorporarse los terminales en un solo circuito integrado.

FIGURA 37

Concepto de futuro terminal con una nueva solución de RF



2038-37

Anexo 13

Nuevas e innovadoras interfaces de usuario para los futuros terminales inalámbricos multimedia

Ejemplo de una nueva interfaz de usuario innovadora:

GKOS – Teclado mundial optimizado para pequeños terminales inalámbricos

1 La nueva generación de terminales

La manera cómo el usuario aprovechará las nuevas tecnologías de telecomunicaciones, dependerá tanto de los servicios ofrecidos como de las posibilidades de uso, diseño y calidad de los terminales. Los ordenadores corporales representan un tema de estudio popular en las universidades de todo el mundo, que aportan nuevas ideas sobre interfaces hombre-máquina que se pueden aplicar también a los terminales móviles.

La mensajería textual es la aplicación de datos más innovadora de hoy en día y está previsto que la siguiente sea la mensajería multimedia, incluyendo texto. Los terminales han de disponer de una pantalla ancha y suficientemente grande para visualizar imágenes y vídeos de buena calidad. La combinación de un teclado y una pantalla suficientemente grande en un terminal pequeño y compacto es un verdadero desafío. Si bien, desde el punto de vista de la capacidad de utilización resulta una obligación. Los métodos de introducción del texto en el servicio móvil también deberán ser más rápidos.

Hasta hoy, la mayoría de las soluciones ofrecidas para la introducción del texto no son normas abiertas sino métodos patentados que incluyen los derechos de propiedad intelectual (IPR). Los teclados físicos que se proponen tienden a añadir características y/o botones al teclado de marcación convencional en lugar de disminuir la cantidad de teclas, que debería ser el objetivo a fin de minimizar el espacio necesario.

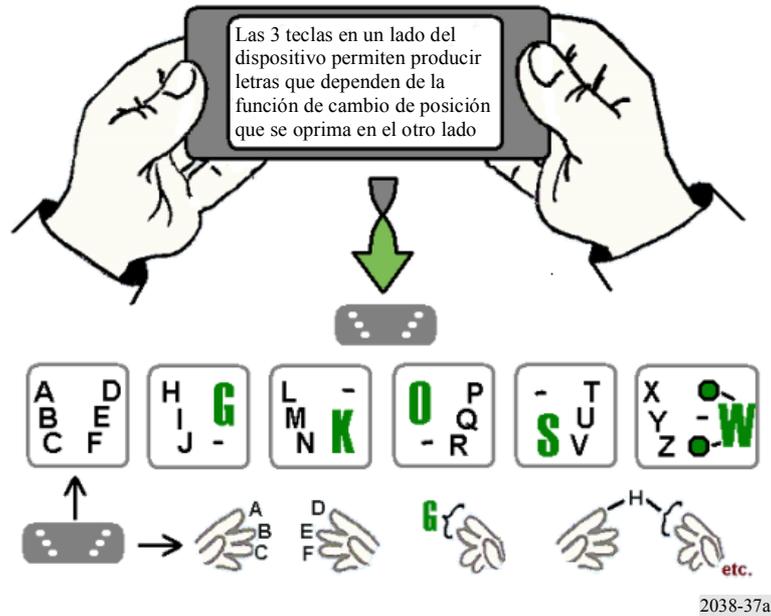
También hay una clara necesidad de armonizar y recomendar la utilización de normas de interfaces abiertas comunes en este campo. Concretamente, si un usuario se habitúa a un tipo de teclado y se vuelve diestro en su utilización, se frustrará si el siguiente teléfono, nueva versión u otra marca, tiene una interfaz de usuario distinta o ligeramente distinta y debe reiniciar el periodo de aprendizaje. El teclado tipo GKOS, una propuesta de norma abierta que se describe más adelante, es una solución a ese tipo de problemas.

2 Teclas en la parte posterior – El teclado GKOS

El teclado GKOS es un conjunto de seis teclas en la parte posterior del dispositivo del usuario que permiten dejar disponible el panel frontal para la pantalla de visualización y facilitar la entrada rápida de texto y ofrecer todas las funciones disponibles en el teclado QWERTY del PC. Este teclado está orientado a los diminutos terminales inalámbricos de las IMT-2000 y sistemas posteriores aunque también se puede utilizar para muchas otras aplicaciones (por ejemplo, control remoto total del PC). El concepto propuesto es una norma abierta y se publicó por primera vez el 5 de octubre de 2000. Para más detalles, véase también <http://gkos.com>.



3 **Cómo utilizar el teclado GKOS**

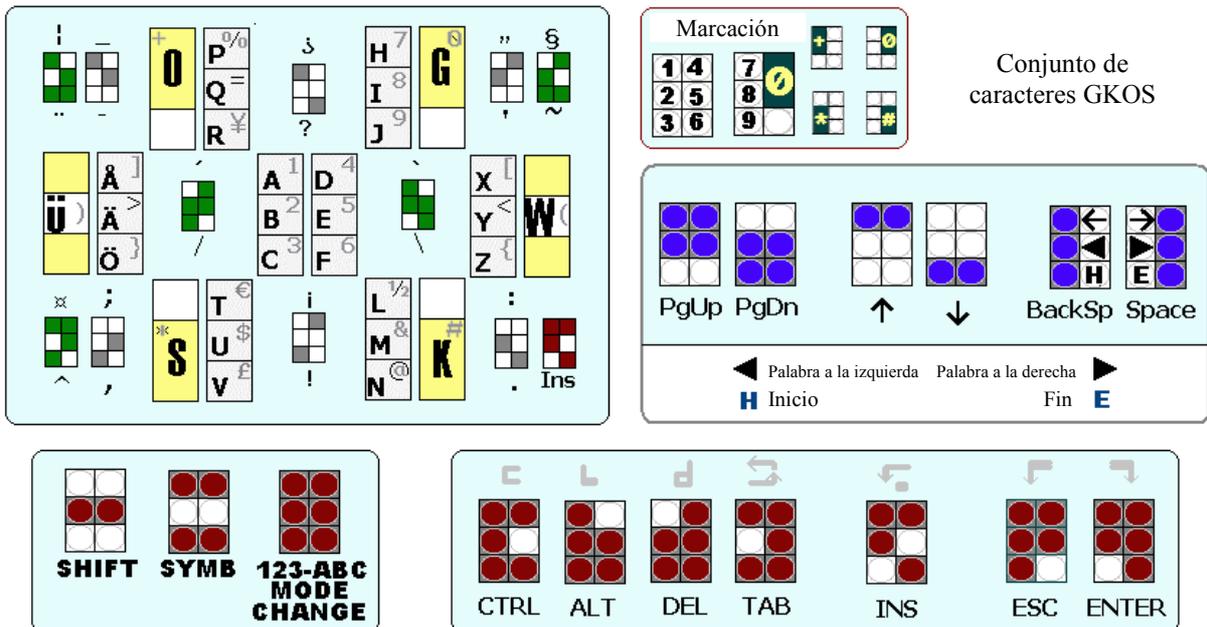


Como se describe en la Figura anterior, en el caso de letras (y números), se necesita como máximo la opresión de dos teclas simultáneas por cada mano. Cuando una mano oprime dos teclas (por ejemplo, teclas D+E), la otra mano oprime una sola tecla (por ejemplo, para obtener «H») o ninguna tecla (y el resultado es «G»). Las letras A a F son simplemente teclas sencillas.

Espacio: Oprima la «barra derecha» del GKOS = las 3 teclas en el lado de la mano derecha.

Retroceso: Oprima la «barra izquierda» del GKOS = las 3 teclas en el lado de la mano izquierda.

Obsérvese que las instrucciones antes indicadas son suficientes para introducir mensajes de texto sencillo. Más adelante se muestra el conjunto completo de caracteres incluidos todos los caracteres QWERTY del PC:



Las zonas en color amarillo en la figura representan dos teclas que se deben oprimir simultáneamente para obtener el carácter indicado en la misma, o pueden utilizarse como una función de cambio de posición para invocar los otros tres caracteres del grupo. Un grupo de caracteres se reserva para letras nacionales.

El principio más importante estriba en que, para los caracteres utilizados con mayor frecuencia, sólo es necesario oprimir simultáneamente de una a tres teclas, pero para las funciones se necesitan más. De esta manera, el tecleo es más sencillo y las funciones no se activarán por error si se tecldea sin precaución. La tecla de cambio de modo 123-ABC permite conmutar entre los dos conjuntos de caracteres mostrados anteriormente. Con la tecla SYMB, se pueden seleccionar caracteres simples del conjunto paralelo. Además, por ejemplo, el punto y coma se obtiene mediante SYMB + punto. Dos activaciones consecutivas de la tecla SHIFT (cambio de posición) activan la función de CAPS LOCK (bloqueo de mayúsculas) y una sola activación de la tecla SHIFT tiene efecto sobre un solo carácter. Para mayor claridad, los números se muestran dos veces («marcación» en la figura anterior). Obsérvese la forma sugerente de los caracteres de control, y que los caracteres azules para navegación, desplazamiento y movimiento del cursor son bastante evidentes por sí mismos.

4 Características del teclado GKOS

4.1 Ventajas e inconvenientes

Básicamente, el GKOS es un teclado tipo «chording» (teclado de combinación o de entrada especial) pero como se divide entre las dos manos, el número de combinaciones distintas de opresión simultánea de teclas por cada mano es muy reducido (tres acordes para letras y números, cuatro en total, en comparación con los 50 o más acordes de un teclado convencional), y como es muy sencillo (simple opresión de dos teclas adyacentes) no es necesaria ninguna habilidad física especial.

La utilización del teclado GKOS involucra ambas manos, como es el caso por ejemplo del asistente digital personal (PDA, *personal digital assistant*) que tiene una interfaz de lápiz (stylus) o QWERTY. Esto puede considerarse como una desventaja del teclado GKOS. Además, hay un periodo de aprendizaje ya que se trata de un método de tecleado completamente nuevo, sin embargo, la lista de ventajas es larga:

1. El teclado no ocupa espacio en el panel frontal o sobre la zona de la pantalla.
2. Es de bajo coste y fácil de integrar en un terminal pequeño (sólo se requieren 6 teclas).
3. Es un teclado de norma abierta (lo puede utilizar cualquier persona también para otras finalidades).
4. El mismo soporte físico es adecuado para la mayoría de los idiomas.
5. Bastante fácil para el principiante (si se desea se puede comenzar con el teclado virtual en la pantalla).
6. Adecuado para tecleado rápido (usuario experimentado: 30-45 palabras/min, experto: 45-60 palabras/min).
7. No requiere la atención permanente del mecanógrafo (no hay un cuadro de caracteres que se deba vigilar continuamente, y el esfuerzo de los ojos es muy reducido).
8. Puede utilizarse también en la oscuridad o con los ojos cerrados.
9. No se necesita iluminación de fondo en las teclas (bajo consumo de energía del terminal).

10. Además de entradas de texto, incluye todas las funciones del teclado QWERTY del PC.
11. Puede utilizarse para controlar todas las funciones de un teléfono móvil.
12. Funciona como un controlador de juegos (aún como un control de puntero en algunas aplicaciones).
13. Ofrece funciones de marcación sencillas.
14. Facilita el examen de la pantalla y la selección de menús.
15. Para operar el teclado no se necesita un escritorio o una mesa pero el dispositivo se puede utilizar de cualquier manera también sobre un escritorio.
16. Completamente integrado y no requiere herramientas adicionales (pero se combina fácilmente, por ejemplo, con un lápiz tipo stylus).
17. Se combina sin problemas con un ratón o con cualquier otro dispositivo de señalamiento.
18. Si se desea es útil como un teclado de PC personal inalámbrico (para los que prefieren el nuevo método).
19. No requiere habilidades físicas especiales (combinaciones acordes triviales para cada mano).
20. Lo pueden utilizar indistintamente zurdos y diestros (mismo soporte físico y lógico en ambos casos).
21. No aumenta necesariamente el tamaño físico del dispositivo del servicio móvil.
22. La habilidad para manejar un teclado GKOS no interfiere con la habilidad QWERTY (bastante distinta).
23. El teclado GKOS y una pantalla pueden combinarse fácilmente en un solo terminal.
24. El principio de correspondencia de los caracteres GKOS permite disponer de un teclado virtual compacto en la pantalla que puede utilizarse con un lápiz tipo stylus o con las 6 teclas de la punta posterior.

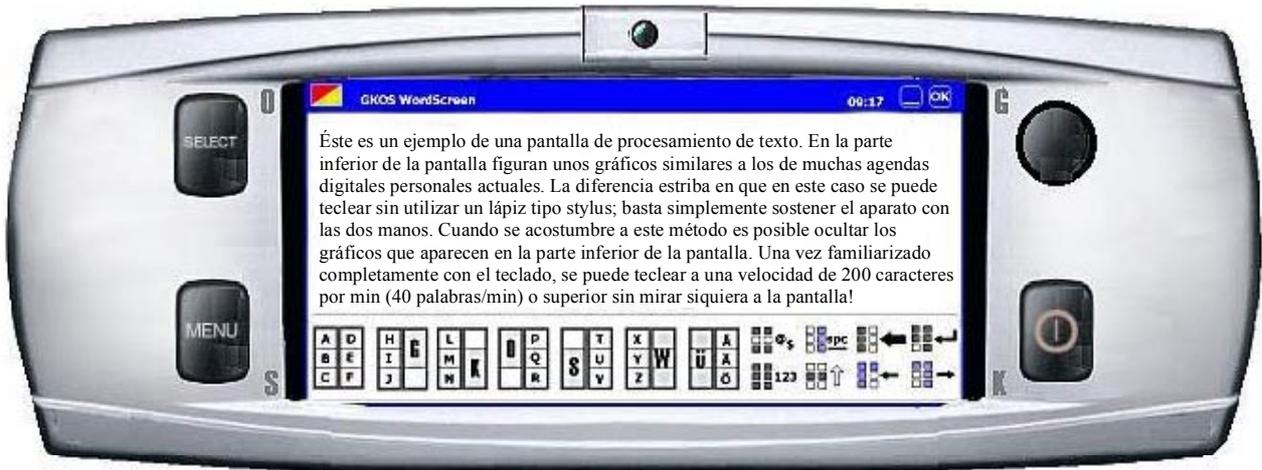
4.2 Velocidad de teclado con el teclado GKOS

Con un poco de práctica, la velocidad de teclado puede llegar a superar la del método del teclado numérico de GSM (multitoques). Resulta bastante fácil alcanzar una velocidad de teclado de 100 caracteres/min (20 palabras/min). Cuando la persona se familiariza con el teclado, se obtiene una velocidad de teclado de 200 caracteres/min (40 palabras/min). La velocidad máxima de teclado de un experto puede ser aproximadamente de 300 caracteres/min (60 palabras/min). Evidentemente la velocidad está en función de la realización física del teclado y del tipo de teclas (suaves o duras a la opresión, etc.).

Un usuario experimentado del teclado GKOS puede teclear mucho más rápido que a la velocidad de multitoques o de la escritura y por consiguiente podría, por ejemplo, tomar notas durante una reunión, mientras observa otras cosas y no solamente el terminal.

4.3 Ejemplos de aplicación del teclado GKOS

Las dimensiones del teclado GKOS dependen de la forma, tamaño y peso del terminal. En cualquier caso, hay seis teclas en la parte posterior del aparato: tres para la mano izquierda y tres para la derecha. Los dedos meñiques se utilizan únicamente para equilibrar la sujeción del terminal y los pulgares se mantienen en los costados del panel frontal para controlar el dispositivo de señalamiento.



2038-37c

El pulgar de la mano izquierda puede actuar sobre las teclas correspondientes al interruptor izquierdo y derecho del ratón (la tecla superior de «selección» y la tecla inferior de «menú»), y el pulgar derecho puede mover el puntero. De esta manera se pueden controlar totalmente las funciones del ratón y del teclado, con los dedos en la misma posición todo el tiempo. El teclado virtual que aparece en la parte inferior de la pantalla puede ocultarse una vez que se familiarice con el método.

El pequeño dispositivo móvil que se muestra a continuación tiene un teclado GKOS plegable que se puede utilizar mientras se sostiene el terminal o incluso cuando está colocado sobre un escritorio (el teclado desplegado y la pantalla de frente al usuario).



Anexo 14

Procesadores reconfigurables

1 Antecedentes

En los últimos años se han desarrollado nuevos tipos de procesadores integrados. Su característica más destacada es que su rendimiento no mejora únicamente aumentando la velocidad del reloj o la anchura de banda de la memoria, sino ofreciendo la capacidad para implementar un conducto especial que permite que se definan y ejecuten instrucciones particulares basadas en las necesidades de la aplicación.

Hay dos tipos de método para ejecutar las instrucciones especiales del usuario. El primero se basa en un procesador configurable y el segundo en un procesador reconfigurable.

Los procesadores configurables prometen grandes mejoras en el rendimiento ya que permiten crear instrucciones especiales y optimizar sus unidades de ejecución para cada aplicación. Si bien, no es posible añadir nuevas instrucciones especiales a este tipo de procesadores después de la fabricación. En los sistemas de comunicaciones inalámbricas, a menudo se modifican las especificaciones del sistema o resultan ligeramente distintas de un país a otro. Por consiguiente, se necesitan procesadores que puedan llevar a cabo una diversidad de clases de instrucciones y a los que se puedan añadir nuevas instrucciones especiales después de la fabricación para adaptarse a esas situaciones.

El segundo método satisface este requisito. Los procesadores reconfigurables incluyen conjuntos de unidades aritméticas y lógicas (ALU, *arithmetic-and-logic unit*) y otras unidades funcionales. Es posible modificar la configuración de la conexión de las unidades de ejecución de estos procesadores para hacerla corresponder con el flujo de procesamiento de datos necesario para la aplicación. La cantidad de información de configuración necesaria es reducida debido a que, a diferencia de los conjuntos de puertos programables en el campo (FPGA, *field programmable gate-arrays*), la granularidad del circuito incluido en el procesador no es pequeña. Esto significa que es posible disponer de múltiples conjuntos de información de configuración en el circuito integrado y elegir de modo dinámico uno de ellos con relación a ciclos de reloj particulares. Estos procesadores reconfigurables serían extremadamente rápidos si las secuencias de procesamiento pudieran hacerse corresponder con el conjunto de unidades de ejecución.

El ejemplo mostrado en el presente Anexo es un procesador integrado basado en la arquitectura de palabra de instrucciones muy larga (VLIW, *very long instruction word*) [Suga y otros, 2000; Okano y otros, 2002]. Este tipo de procesador se ha diseñado para aplicaciones de medios e incluye la implementación de instrucciones de operación de medios del tipo instrucción simple-datos múltiples (SIMD, *single instruction-multiple data*). Por consiguiente, pueden ejecutar rápidamente el procesamiento de medios. La unidad de ejecución reconfigurable se desarrolla de tal manera que el núcleo del procesador polivalente pueda controlar las instrucciones especiales definidas por el usuario. La unidad reconfigurable no es un tipo de conjunto ALU. Al centrarse en el procesamiento de datos a nivel de bit, permite que el procesador alcance un elevado rendimiento con una tara de campo reducida.

En el resto de este Anexo se informa sobre las características, funciones, rendimiento y otros aspectos de la naturaleza de la unidad reconfigurable diseñada para un procesador polivalente como ejemplo de procesador reconfigurable.

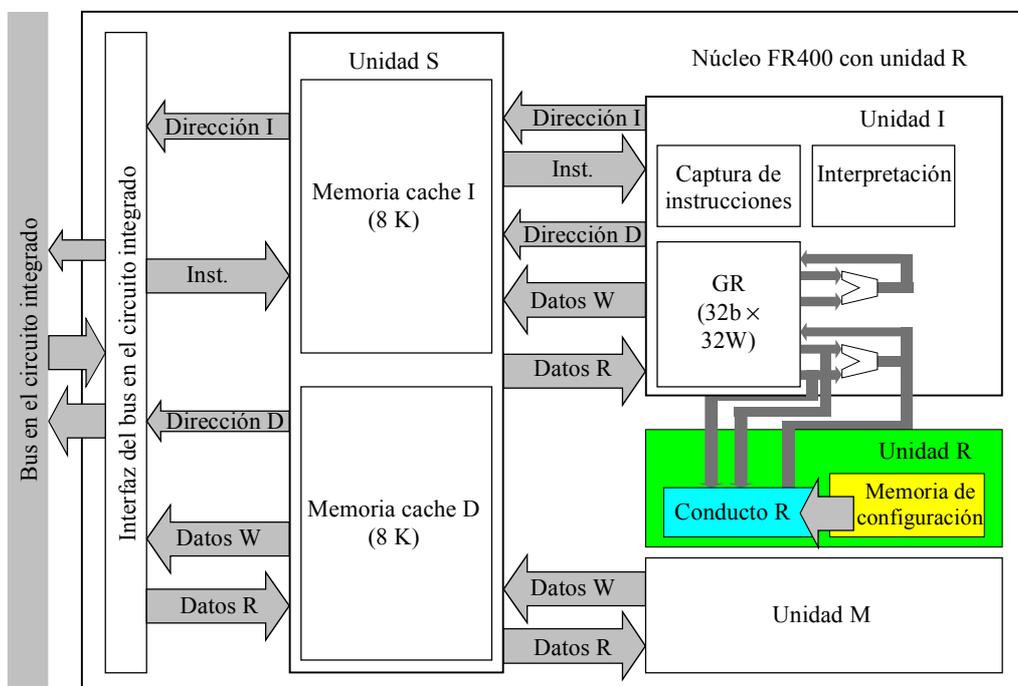
2 Arquitectura del procesador

2.1 Estructura general

En la Fig. 38 se muestra un ejemplo de un procesador reconfigurable que incluye la unidad reconfigurable (unidad R). La unidad de enteros (unidad I) consta de un bloque de captura de instrucciones, diversos controladores, un fichero de registro de enteros (GR: 32 bits \times 32 palabras) y dos conductos de enteros. La unidad de medios (unidad M) consta de un fichero de registro de medios (FR: 32 bits \times 32 palabras) y dos conductos de medios. La unidad de memoria cache (unidad S) incluye un conjunto bidireccional de combinación asociativa de dos memorias cache de 8 K, una para instrucciones y la otra para datos.

FIGURA 38

Diagrama de bloques de un procesador reconfigurable que incluye la unidad R



2038-38

La unidad R está compuesta por un conducto de ejecución (conducto R), que puede modificar de modo dinámico la configuración interna basándose en señales de información de configuración y en la memoria de configuración, que mantiene la información de configuración correspondiente. Dentro del conducto R se define una configuración mediante 256 bits de información. La memoria de configuración es una memoria RAM de 1 K con 32 entradas. Ésta puede mantener información de configuración representada por 32 tipos de instrucciones especiales. Los datos en la memoria de configuración pueden reescribirse utilizando una instrucción de carga de configuración. Esto permite la definición y ejecución de más de 32 instrucciones especiales.

Este tipo de procesador polivalente incluye un conjunto poderoso de instrucciones para funcionamiento de medios. Por consiguiente, el procesamiento de instrucciones especiales que se lleva a cabo dentro de la unidad R no pretende aumentar aún más la velocidad de procesamiento de los medios, sino mejorar la eficiencia de procesamiento que es escasa en este tipo de procesador

polivalente. Más específicamente, este tipo de procesador polivalente es eficiente para el procesamiento de datos a nivel de palabra, pero es ineficiente con el procesamiento de datos a nivel de bit, como es el caso del procesamiento relativo a la encriptación. La unidad R se diseña con el objetivo de ejecutar más eficientemente los datos a nivel de bit.

2.2 Instrucciones especiales

Los conjuntos de instrucciones utilizados en los procesadores de la serie FR-V asignan algunos códigos de instrucciones a las instrucciones especiales. Esto permite que los usuarios definan dichas instrucciones especiales. Mediante la utilización de estos códigos de instrucción, se definen cuatro tipos de instrucciones CONFIGLOAD, EXEC, LUT, y RSRMOD.

El tipo de instrucción CONFIGLOAD permite cargar la información de configuración en la memoria de configuración. Cuando el traductor de instrucciones incorporado en la unidad I detecta que la siguiente instrucción del bloque de captura de instrucciones es CONFIGLOAD, convierte la instrucción en cuatro instrucciones de carga de doble palabra (instrucciones de carga de 8 bytes) y las envía al bloque de ejecución. Los datos transferidos de la memoria cache no se escriben en el fichero de registro, sino en la memoria de configuración. De esta manera se logra la carga de la información de configuración en la memoria de configuración.

La instrucción EXEC permite ejecutar las instrucciones especiales. Para garantizar que no hay restricción para la definición de tipos de instrucciones especiales, a estas instrucciones no se les asignan códigos de operación en combinaciones fijas. La zona del código de operación incluye un campo en el que se puede especificar el asiento de la memoria (*memory entry*) de configuración. La instrucción EXEC permite ejecutar la instrucción especial almacenada en el asiento especificado por ese campo. Esto significa que, si se representan dos instrucciones especiales a través del mismo código de operación, pero sus asientos de memoria de configuración contienen distinta información, se ejecutarán como instrucciones especiales distintas.

La instrucción LUT especifica que no se utilizará la información de la memoria de configuración para definir la configuración del conducto R, sino que se empleará como memoria de cuadro. El bit 2^n ($n = 1, 2, 3$) en los datos almacenados en el fichero GR especificado por el código de operación se sustituye por el bit 2^n incluido en los 256 bits de la información de configuración.

La instrucción RSRMOD funciona en registros especializados (SPR) RSR0 y RSR1 que se proporcionan por primera vez para la unidad R.

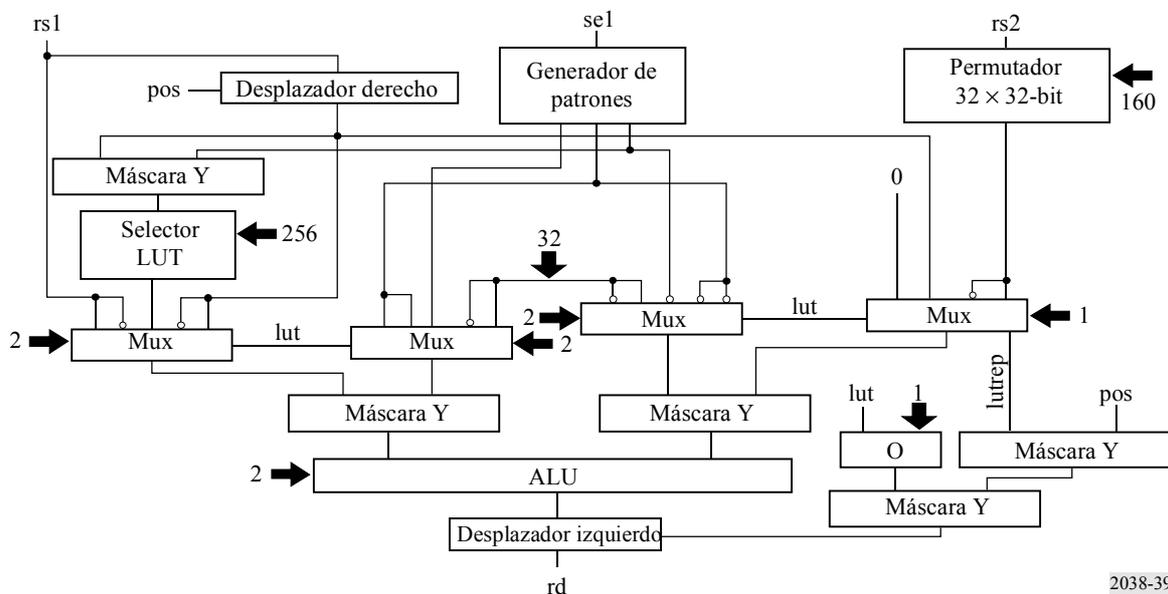
Si se definen distintas instrucciones especiales aunque permitan ejecutar prácticamente el mismo procesamiento y difieren únicamente en algunas cantidades, como las extensiones de cambio de posición, se desaprovecharán algunas zonas de memoria de configuración. Para evitar este despilfarro, se utiliza el siguiente acuerdo. La información del parámetro, indicada por sel y pos, se obtiene de registros especializados. Por consiguiente, cuando se pasa la misma instrucción especial con una parte de la información del parámetro en un instante y la otra parte en otro instante, se ejecutarán las dos partes como instrucciones distintas en los dos instantes. Así, se logra que sea más eficiente la utilización de la memoria de configuración.

Los campos sel y pos del registro RSR pueden fijarse con valores de la instrucción RSRMOD. No obstante, también se dispone de una función de actualización automática que puede utilizarse cuando los valores de esos campos requieren actualización a intervalos regulares. Esta función elimina la necesidad de fijar valores cada vez que se utiliza la instrucción RSRMOD.

2.3 Estructura de la unidad reconfigurable

En la Fig. 39 se muestra el circuito del conducto R. Las flechas en negrita indican información de configuración. El permutador que se representa en la parte superior derecha es un bloque que permuta los 32 bits de los datos de entrada de una manera especificada. El generador de patrones mostrado en la parte superior central genera los datos de la máscara. En realidad, puede emitir tres tipos de datos de máscara basándose en la señal sel. El selector LUT es un circuito que extrae datos cuando la instrucción LUT utiliza la información de configuración como un cuadro. El resto de los componentes del conducto R incluyen desplazadores, multiplexores, máscaras Y, ALU, entre otros. La estructura interna de estos circuitos componentes y la relación de conectividad entre los circuitos componentes se define mediante la información de configuración. Una configuración se define mediante 256 bits.

FIGURA 39
Estructura interna del conducto R



2038-39

Más adelante se darán ejemplos de la definición de la instrucción especial.

3 Mejora del rendimiento de la aplicación DES

La mejora del rendimiento se evaluó con la realización de una aplicación completa con este procesador. Las aplicaciones utilizadas fueron DES y DES triple, que son algoritmos de encriptación utilizados ampliamente.

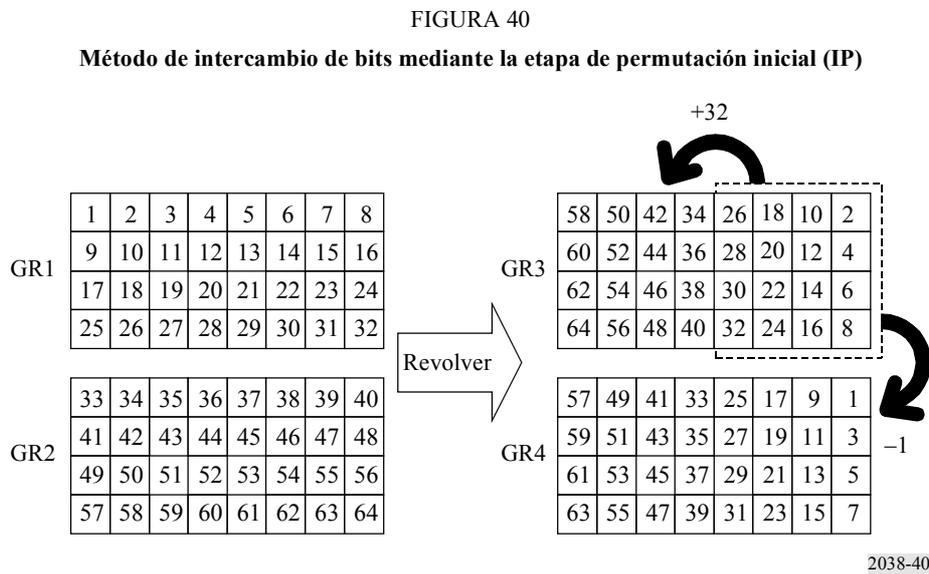
La norma de encriptación de datos (DES) es un algoritmo de encriptación de bloque, que permite encriptar 64 bits de datos de entrada y produce 64 bits de datos encriptados. El procedimiento de encriptación comienza con una permutación inicial (IP, *initial permutation*) de los 64 bits de datos de entrada. El siguiente paso se denomina la función F y se repite 16 veces. Por último, se lleva a cabo la permutación inversa IP^{-1} para permutar nuevamente los bits y completar la encriptación.

La norma DES triple es un algoritmo de encriptación con el cual se ejecuta la norma DES tres veces.

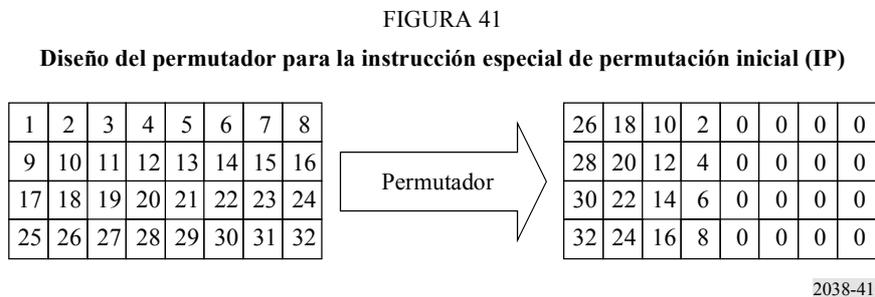
3.1 Permutación inicial (IP)

En este punto se explica el método para implementar la instrucción especial mediante la cual se logra la permutación inicial.

Como se muestra en la Fig. 40 el objetivo de la permutación inicial es lograr el intercambio de bits. Los 64 bits de datos de entrada se almacenan en los ficheros GR1 y GR2. Los datos encriptados se almacenan supuestamente en GR3 y GR4. El intercambio de bits es aleatorio. Sin embargo, en realidad, las cuatro partes de 16 bits siguen el mismo patrón de intercambio. Obsérvese la parte derecha de 16 bits en GR3. La posición de cada bit en esta parte que está desplazada 32 bits es la parte izquierda de 16 bits de GR3. De modo similar, la posición de cada bit en la parte derecha de 16 bits de GR3 que está desplazada 1 bit es la parte derecha de 16 bits en GR4. La parte izquierda de 16 bits en GR4 es la posición de cada bit en la parte derecha de 16 bits en GR4 que está desplazada 1 bit.



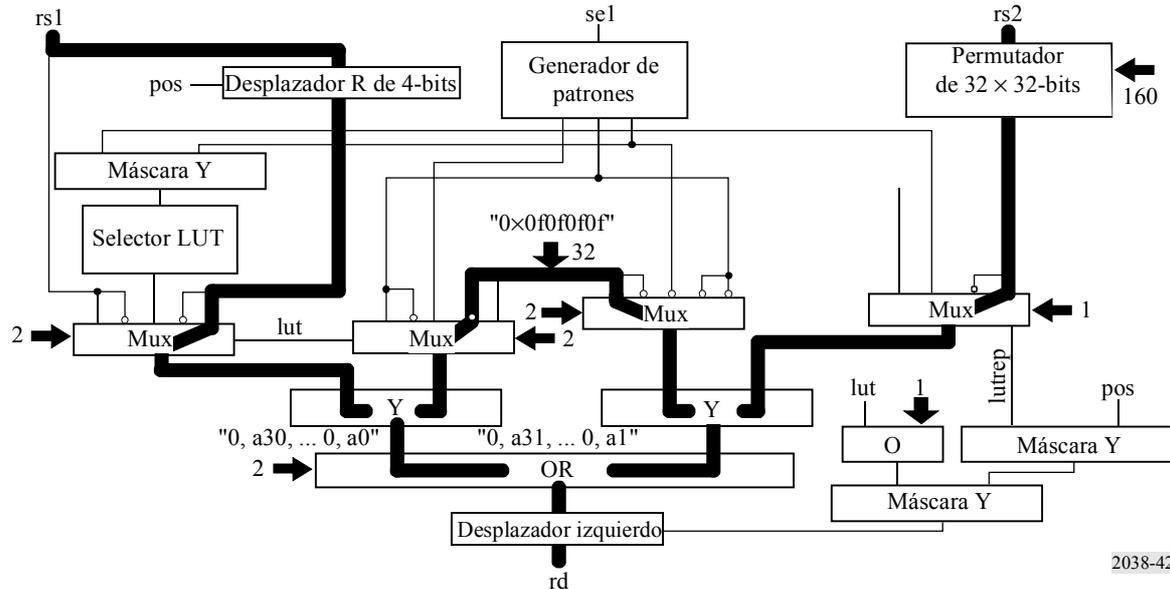
Por consiguiente, si el permutador en el conducto R se diseña para lograr el intercambio de bits que se muestra en la Fig. 41, puede utilizarse una instrucción especial IP para cualquier permutación inicial siempre que se combine con una instrucción de desplazamiento apropiada.



Más específicamente, el conducto R se configura como se muestra en la Fig. 42. La entrada del primer operando (rs1) se desplaza a la derecha 4 bits por el desplazador derecho, y a continuación se combina mediante un operador Y con 0xf0f0f0f0. La entrada del segundo operando (rs2) se introduce en el permutador, que ejecuta la permutación de bits como se muestra en la Fig. 41, y a continuación se combina mediante el operador Y con 0x0f0f0f0f. La operación O de las dos salidas de las puertas Y es el resultado de la operación.

FIGURA 42

Configuración del conducto R para la instrucción especial de permutación inicial (IP)



2038-42

Los seis Pasos siguientes (instrucciones) se ejecutan para lograr la permutación inicial utilizando una instrucción especial que cumple con la especificación anterior.

Paso 1: Se especifica GR0 (registro cero con todos los bits fijados a 0) para rs1 y GR1 para rs2, se ejecuta la instrucción especial y se almacena el resultado en GR3.

Paso 2: Se especifica GR3 para rs1 y GR2 para rs2, se ejecuta la instrucción especial y se almacena el resultado en GR3.

En los dos Pasos anteriores se almacenan los datos deseados en GR3.

Paso 3: Se desplaza GR1 a la derecha 1 bit utilizando una instrucción de desplazamiento, que es una instrucción general de enteros y el resultado se almacena en GR1.

Paso 4: De manera similar, se desplaza GR2 a la derecha 1 bit y el resultado se almacena en GR2.

Paso 5: Se especifica GR0 para rs1 y GR1 para rs2, se ejecuta la instrucción especial y el resultado se almacena en GR4.

Paso 6: Se especifica GR3 para rs1 y GR2 para rs2, se ejecuta la instrucción especial y el resultado se almacena en GR4.

En los Pasos 3 a 6 los datos deseados se almacenan en GR4.

Como se describió anteriormente, con los seis Pasos de ejecución de una instrucción especial se puede lograr la permutación inicial deseada.

Si se intenta ejecutar el mismo procesamiento sin utilizar una instrucción especial, se requeriría la ejecución de docenas de instrucciones ya que es necesario manipular los bits individuales para su permutación.

3.2 Mejora del rendimiento

Como se explica en el § 3.1, se definen otras instrucciones especiales para procesamientos distintos de la permutación inicial, a fin de garantizar que el procesamiento DES puede realizarse a alta velocidad. Se definen un total de 18 instrucciones especiales.

La simulación de nivel de transferencia de registro (RTL, *register transfer level*) del procesamiento DES triple demuestra un aumento de la velocidad por un factor de seis cuando se utiliza la unidad R en comparación con el caso cuando no se utiliza esta unidad.

Con el método que se discutió anteriormente, se definen instrucciones especiales para realizar el procesamiento que requeriría una combinación de un gran número de instrucciones si no se utilizara la unidad R. Esto significa que el número de instrucciones necesario se reduce y, en consecuencia, disminuye la cantidad de códigos de instrucción. En el caso del procesamiento DES triple, el tamaño del código de programa se reduce a menos de la mitad cuando se utiliza la unidad R en comparación al caso cuando no se utiliza esta unidad.

4 Aplicación al procesamiento de banda base digital

La versión con la unidad R que se utiliza en este caso se diseña de manera que pueda realizar el procesamiento de los bits a alta velocidad. Dado que el procesamiento de banda base digital exige una manipulación considerable de los bits, resulta evidente que la unidad R también será efectiva para el procesamiento de banda base digital.

Por ejemplo, en el caso del procesamiento de banda base de Bluetooth, la corrección de errores se basa en una repetición de los bits con una tasa de codificación de 1/3 o en un código de Hamming abreviado (15,10) con una tasa de codificación de 2/3. El primer método consiste simplemente en transmitir tres veces el mismo bit en sucesión. Si se emplea el permutador en la unidad R, se crearán eficazmente los datos de transmisión. Se prevé un aumento de velocidad de 20 a 30 veces en comparación con el caso en que no se utiliza la unidad R. El segundo método puede ejecutarse hasta cuatro veces más rápido si es posible realizar procesamiento de registro de desplazamiento con realimentación lineal (LFSR, *linear feedback shift register*). También será posible aumentar la velocidad aproximadamente al triple para procesamiento por verificación de redundancia cíclica (CRC), aleatorización y otros procesamientos.

Se puede decir que este procesador reconfigurable también puede aplicarse a los sistemas 3G o a los sistemas posteriores a las IMT-2000, ya que dichos sistemas requieren muchos procesamientos de datos a nivel de bit.

5 Conclusión

La unidad reconfigurable que se describe en este Informe está especializada en el procesamiento en el que no son eficaces los procesadores polivalentes y es compacta ya que consiste en 1 kilobyte de memoria y un circuito lógico con un tamaño de aproximadamente 20 K puertas. Cuando se compara con el núcleo de un procesador polivalente, no representa más del 5% de la combinación. La unidad reconfigurable puede alcanzar una gran mejora de rendimiento en las aplicaciones que requieren funcionamiento a nivel de bit, como es el caso de la encriptación, aunque la tara del circuito involucrada es muy pequeña.

6 Referencias Bibliográficas

OKANO, H. y otros [febrero de 2002] An 8-Way VLIW Embedded Multimedia Processor Built in 7-Layer Metal 0.11um CMOS Technology. IEEE International Solid-State Circuits Conference.

SUGA, A. y otros [febrero de 2000] A 4-Way VLIW Embedded Multimedia Processor. IEEE International Solid-State Circuits Conference.

Anexo 15

Redes radioeléctricas con multisaltos

1 Introducción

Dentro de la posible evolución de las IMT-2000 y sistemas posteriores, las velocidades de datos aumentadas considerablemente permitirán una gran diversidad de servicios y aplicaciones con distintos grados de QoS. Por otro lado, las velocidades de transmisión elevadas necesitarán una anchura de banda amplia que normalmente está disponible a frecuencias más elevadas, lo que produce una disminución de la superficie de la zona de la célula que puede cubrir una estación de base. En lugar de instalar muchas estaciones de base para abarcar la zona completa, sería más conveniente mejorar las zonas de cobertura de las estaciones de base utilizando técnicas de radioenlaces. La arquitectura de red radioeléctrica que emplea funcionalidad de radioenlaces se denomina red radioeléctrica con multisaltos, y proporciona una extensión de la zona de servicio entre diversos medios de acceso inalámbrico como es el caso de la evolución del sistema celular actual, los sistemas posteriores a las IMT-2000 y los medios inalámbricos no celulares (por ejemplo, LAN inalámbrica y Bluetooth) con servicios de datos de alta velocidad y flexibilidad. Desde la perspectiva de los usuarios del servicio móvil, estos desearían disfrutar de un entorno de comunicaciones universal y una comunicación de voz/datos sin desconexión. Un operador de red celular ahorraría costes de explotación y recursos inalámbricos.

La funcionalidad de radioenlaces necesaria en las redes radioeléctricas con multisaltos puede ser proporcionada por otros terminales de usuario (esta técnica se emplea en las «redes ad-hoc con multisaltos») o a través de puntos de extensión instalados de manera fija (esta técnica se emplea en las «redes estructuradas con multisaltos»).

A fin de realizar la red inalámbrica con multisaltos, se deben considerar e implementar elementos y tecnologías de arquitectura adicionales en las redes inalámbricas, lo cual se describe en los siguientes puntos.

2 Aspectos técnicos de las tecnologías relativas a multisaltos

La realización de las técnicas con multisaltos tiene repercusión en distintos aspectos del sistema:

a) *Técnicas de capa física:*

Como se supone una gran anchura de banda por cada canal se prevé que solamente será necesario cuestionar las técnicas de repetidor con una sola frecuencia. El método dúplex utilizado ha de proporcionar un elevado aislamiento entre los trayectos de transmisión y de recepción de los respectivos terminales de retransmisión en el punto de extensión (EP) respectivo. La tecnología DDT parece ser el método dúplex más adecuado para hacer frente a las limitaciones provocadas por las restricciones de anchura de banda y los requisitos de aislamiento.

b) *Técnicas de la capa MAC:*

La capa MAC controla la capa física y el establecimiento/liberación de los trayectos de transmisión entre los terminales del servicio móvil, los EP y los puntos de acceso (AP, *access points*). En particular controla el método dúplex empleado por la capa física.

c) *Encaminamiento:*

El encaminamiento de los datos entre los terminales móviles (MT, *mobile terminals*), los EP y los AP es una función esencial en las redes con multisaltos. El encaminamiento tiene dos funciones principales:

- selección de las rutas para el par origen-destino (MT-AP a través de EP/MT); y,
- distribución de los mensajes a su destino correcto en el caso de que una ruta quede indisponible, sin pérdida de QoS.

Pueden utilizarse distintas técnicas de encaminamiento para cumplir estas funciones. Estas técnicas pueden clasificarse conforme al método de control (centralizado o distribuido), al comportamiento dinámico (estático o adaptativo) y a la clase de información en la que están basadas (reactiva o proactiva).

d) *Gestión del recurso radioeléctrico:*

La gestión del recurso radioeléctrico incluye funciones como traspaso, control de potencia, control de congestión, programación de datos por paquetes, y otros. Un caso normal de los terminales en las redes de radiocomunicaciones con multisaltos es que se encuentren fuera de la zona de cobertura de una estación de base. Con la señalización de mensajes de control a través de varios saltos aún bajo el control de una estación de base, el método de gestión de recursos radioeléctricos (RRM) distribuido parece viable cuando las tareas RRM se gestionan de un modo de autoorganización. Opcionalmente, una red superpuesta, por ejemplo, una red celular existente de banda estrecha y con gran cobertura, podría apoyar de un modo eficaz, dando por resultado una estructura de red jerárquica. La red superpuesta puede, por ejemplo, determinar la banda de frecuencias que se debe utilizar y la cantidad de tiempo que una estación puede ocupar la frecuencia atribuida, y puede gestionar la conexión y el parámetro de utilización/control de flujo.

3 Arquitecturas de las redes inalámbricas con multisaltos

3.1 Redes inalámbricas ad-hoc con multisaltos

En la Fig. 43 se muestra una posible arquitectura de la red inalámbrica ad hoc con multisaltos que emplea un sistema celular y un sistema LAN inalámbrico como red no celular.

En una red convencional y en una red actual, un terminal inalámbrico se conecta directamente a una estación de base. No obstante, en la red ad hoc con multisaltos existen también terminales inalámbricos que no pueden conectarse a una estación de base debido a un nivel de recepción insuficiente y a la ocupación del canal por otros terminales. En ese caso, terminales colindantes retransmiten el tráfico de datos de ese terminal de usuario a la estación de base.

3.2 Red inalámbrica estructurada con multisaltos

En la Fig. 44 se presenta una posible arquitectura de una red radioeléctrica estructurada con multisaltos. La tecnología empleada podría ser un sistema celular o un sistema LAN inalámbrico como red no celular.

Debido a la cobertura limitada de los puntos de acceso se establecen puntos de extensión adicionales en la zona de cobertura objetivo. Los puntos de extensión se conectan directamente o a través de otros puntos de extensión y por medio de enlaces radioeléctricos a un punto de acceso. Los puntos de extensión cuentan con funcionalidad de radioenlaces que les permite retransmitir los datos/señales desde/hacia terminales móviles, puntos de acceso u otros puntos de extensión. Las redes radioeléctricas estructuradas con multisaltos pueden utilizar para la transmisión EP a EP y EP

a AP la misma tecnología radioeléctrica que para la transmisión MT a AP (red homogénea con multisaltos). Opcionalmente, la tecnología radioeléctrica para la transmisión MT a AP puede diferir de la que se utiliza para la transmisión EP a EP y EP a AP.

FIGURA 43

Ejemplo de arquitectura de una red inalámbrica ad hoc con multisaltos

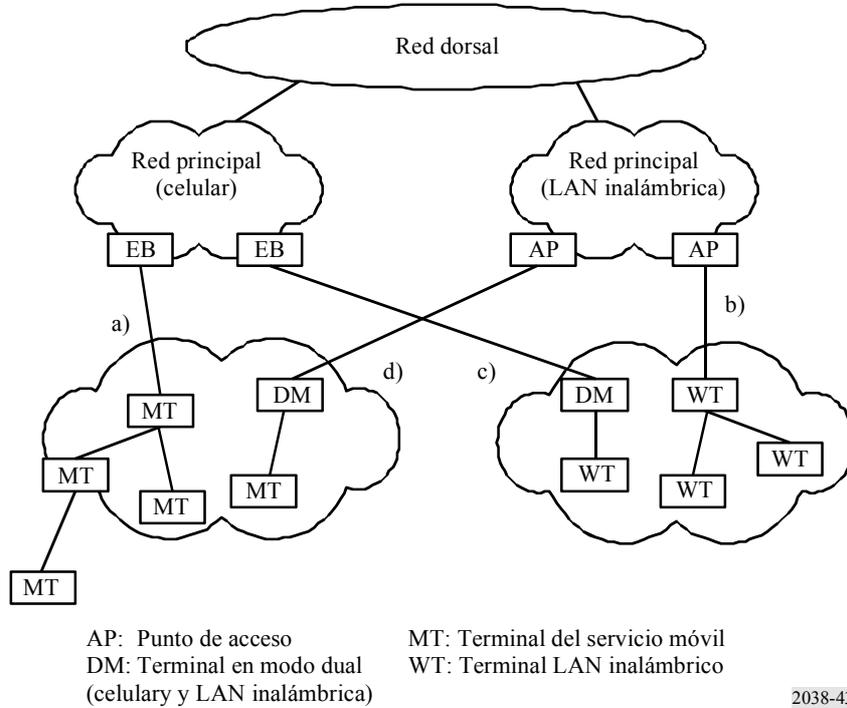
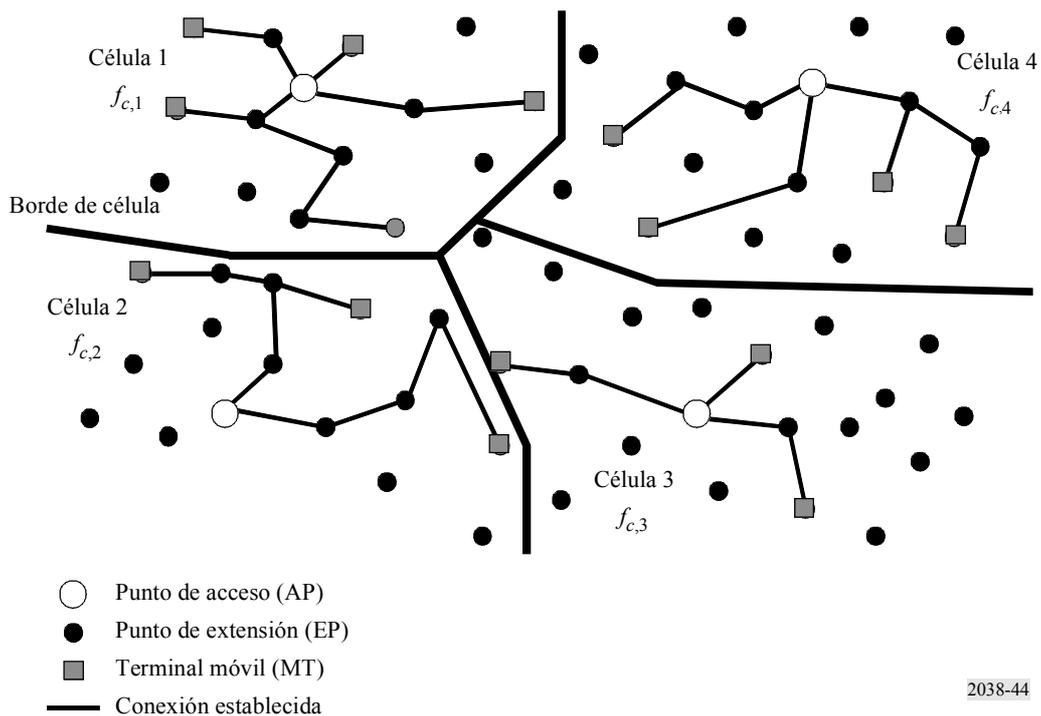


FIGURA 44

Ejemplo de arquitectura de una red inalámbrica estructurada con multisaltos



Como los puntos de extensión sólo necesitan una fuente de energía (por ejemplo, paneles solares), su instalación es sencilla y económica. Dado que los puntos de extensión se instalan en ubicaciones bien definidas y normalmente con antenas directivas, se incrementa la cobertura de un punto de acceso de un modo fiable y predecible.

4 Acceso con multisaltos dentro del sistema celular

El sistema celular actual se basa en un método de conexión directa entre un terminal celular y una estación de base. Cuando el terminal celular se traslada fuera de la zona de servicio (por ejemplo, dentro de un edificio o de un túnel), no hay medios de comunicación con la estación de base bajo una arquitectura celular actual.

La parte a) de la Fig. 43 muestra uno de los métodos de acceso con multisaltos de una red inalámbrica integrada en un sistema celular. Los terminales de usuario que tienen capacidad para retransmitir el tráfico generado desde (o destinado hacia) otros terminales se utilizan para establecer un trayecto con multisaltos entre el terminal de usuario objetivo y la estación de base.

En las redes estructuradas con multisaltos (véase la Fig. 44) la retransmisión del tráfico queda a cargo de los puntos de extensión.

4.1 Control de acceso a los medios (MAC)

Los terminales del servicio celular (posiblemente terminales de radioenlaces) dentro de una célula se controlan mediante la estación de base a la que pertenece esta última, sin embargo, los terminales celulares localizados fuera de la célula no pueden recibir paquetes de control desde la estación de base, dando por resultado una condición de zona muerta. En la red inalámbrica con multisaltos, el terminal de radioenlace o los puntos de extensión controlarían los terminales fuera de la zona de cobertura y distribuirían el tráfico en ambos sentidos: desde la estación de base al terminal de usuario y en sentido opuesto.

Desde la perspectiva de la QoS y de otras características de rendimiento, los terminales inalámbricos, incluidos los terminales de radioenlace o los puntos de extensión, soportarán el método de acceso a los medios entre puntos de extensión apropiados de terminales colindantes.

4.2 Identificación del usuario

En una red celular convencional cada terminal inalámbrico se distingue mediante un identificador único como la identidad internacional de abonado del servicio móvil (IMSI, *international mobile subscriber identity*), que se hace llegar a la red (por ejemplo, a través del servidor AAA) al principio de la fase de establecimiento de la conexión y que se utiliza para el control de la movilidad, para la contabilidad y para otros fines.

En la red inalámbrica ad hoc con multisaltos los terminales de radioenlace deben transmitir esa información junto con el tráfico de usuario a la estación de base y a la red. La estación de base gestiona las estaciones de usuario junto con la información del trayecto con multisaltos y de los terminales colindantes hacia el terminal de usuario. Opcionalmente, este tipo de funciones pueden realizarse mediante una red superpuesta existente.

En las redes radioeléctricas estructuradas con multisaltos los puntos de acceso conocen los puntos de extensión circundantes en forma permanente después de la fase de establecimiento inicial. El mecanismo de encaminamiento implementado en los puntos de acceso y en los puntos de extensión elige el trayecto adecuado entre el terminal del servicio móvil y el punto de acceso.

4.3 Traspaso y encaminamiento

Cuando un terminal inalámbrico conectado directamente a la estación de base se desplaza fuera de la zona de alcance, debe iniciarse un mecanismo de traspaso adecuado para mantener una conexión inalámbrica continua. Un terminal inalámbrico debe seleccionar los terminales de radioenlace apropiados o los puntos de extensión y una ruta hacia la estación de base. En el caso de redes estructuradas con multisaltos el terminal sólo tiene que elegir el punto de extensión que ofrezca el enlace con la mejor calidad de funcionamiento. A continuación, la estructura de la red correspondiente asigna la ruta de modo inherente. El traspaso da por resultado un reencaminamiento.

5 Acceso con multisaltos en el sistema LAN inalámbrico

Con esta arquitectura los terminales de usuario posibles pueden ser ordenadores personales tipo carpeta (notebook), PDA y otros dispositivos equipados con interfaz LAN inalámbrica.

5.1 Control de acceso a los medios (MAC)

El método de acceso múltiple con detección de portadora con capacidad para evitar colisiones (CSMA/CA, *carrier sense multiple access/collision avoidance*) puede adoptarse como un protocolo de control normal de acceso a los medios para el sistema con multisaltos. Otros métodos MAC adecuados se basan en el AMDT ya sea con intervalos o sin ellos. Cada terminal LAN inalámbrico transmite de manera autónoma los datos de usuario. En un punto de acceso los datos de usuario se convierten al formato de paquetes en modo alámbrico, y a continuación se hacen llegar al destino final.

En la parte b) de la Fig. 43 se muestra el acceso con multisaltos dentro del sistema LAN inalámbrico. Los sistemas LAN inalámbricos actuales no soportan conexiones con multisaltos o mecanismos de radioenlaces de paquetes, no obstante, se ha logrado un modo de conexión ad hoc para la conexión directa entre dos terminales.

5.2 Identificación del usuario

Con esta arquitectura un terminal inalámbrico se identifica mediante la dirección MAC de la interfaz LAN inalámbrica.

6 Interfuncionamiento de sistemas entre medios inalámbricos

En las partes c) y d) de la Fig. 43 se muestra la conexión con multisaltos mediante interfuncionamiento entre sistemas inalámbricos heterogéneos en el caso de redes ad hoc con multisaltos. Bajo esta arquitectura se utilizan terminales en modo dual, equipados por ejemplo con una interfaz celular y una interfaz LAN inalámbrica, como una pasarela para interconectar dos sistemas.

Como se muestra en la Fig. 44 en las redes estructuradas con multisaltos es posible tener también puntos de extensión equipados con una interfaz celular y una interfaz LAN inalámbrica. En este caso las transmisiones entre MT y EP y entre MT y AP se llevan a cabo de preferencia a través de una interfaz celular, mientras que las transmisiones entre EP y AP se realizan generalmente a través de una interfaz LAN inalámbrica. Esta arquitectura tiene las siguientes ventajas.

- menor retardo debido a la posibilidad de transmisiones simultáneas en las interfaces MT-EP y EP-AP
- aumento de capacidad en particular en la interfaz MT-EP/AP, ya que los EP funcionan como concentradores de tráfico.

7 Ventajas de las redes radioeléctricas con multisaltos

La tecnología con multisaltos tiene ventajas que la hacen adecuada para los sistemas 3G y sistemas posteriores. En particular, reduce los problemas de los sistemas radioeléctricos celulares con altas velocidades de datos provocados básicamente por la gran anchura de banda de transmisión y las bandas de frecuencias de funcionamiento previstas por encima de 3 GHz.

Las ventajas son:

- Esta tecnología sirve para aumentar en varios órdenes de magnitud la cobertura de los AP que viene limitada por las elevadas pérdidas de trayecto y las restricciones en la potencia de transmisión de los MT, EP y AP.
- Debido a que los EP se pueden realizar como entidades autónomas (necesitan únicamente una fuente de energía basada en tecnología solar) con costes de infraestructura reducidos, las redes radioeléctricas estructuradas con multisaltos logran coberturas muy económicas y mejoras de capacidad y además permiten que los operadores hagan un uso económico de los recursos de frecuencias. La utilización de terminales de radioenlaces en lugar de los EP evitan completamente la necesidad de infraestructura adicional. No obstante, la cobertura depende en este caso de la disponibilidad de los terminales de radioenlaces en las proximidades y de sus capacidades. Por consiguiente, parece útil una combinación en la que se proporciona una cobertura básica mediante una red estructurada con multisaltos y terminales de radioenlaces que pueden aumentar la calidad de funcionamiento en caso de un gran número de terminales inalámbricos.
- Es posible lograr fácilmente la adaptación de la capacidad del tráfico ofrecido por unidad de zona de un AP y la capacidad de tráfico realmente necesaria por unidad de zona, lo que permite aumentar la eficiencia del espectro.
- En el caso de redes radioeléctricas estructuradas con multisaltos se facilita la planificación de la red radioeléctrica y, en consecuencia, se puede extender fácilmente la cobertura radioeléctrica.
- La reducida potencia de transmisión de los MT permite tiempos de vida de las baterías más prolongados y menor radiación electromagnética.

Con el método de conexión con múltiples saltos, habrá dos fases, la de establecimiento del trayecto con multisaltos y la de transmisión de datos de usuario. En la primera fase, la secuencia de establecimiento del trayecto con multisaltos y la secuencia de traspaso que se activa como resultado del movimiento del terminal de usuario o de los terminales de radioenlaces requieren investigación ulterior. La garantía de suministro de conexión segura a lo largo del trayecto con multisaltos es otra cuestión que se debe resolver. En una etapa posterior, los protocolos MAC y el mecanismo de radioenlace que han de instalarse en los terminales de radioenlace son elementos fundamentales que deben investigarse con mayor detalle.

8 Cuestiones relativas al desarrollo y explotación de sistemas con multisaltos

Las cuestiones pendientes de solución relativas al desarrollo y explotación de los sistemas con multisaltos incluyen:

- Mecanismo del radioenlace
- Protocolo MAC
- Autenticación y contabilidad del usuario/terminal
- Seguridad
- Secuencia de establecimiento del trayecto con multisaltos
- Secuencia de traspaso.

Es necesario seguir estudiando métodos para reducir los inconvenientes de las redes con multisaltos como por ejemplo, el aumento de retardo en el caso de transmisiones a través de uno o más EP y la pérdida potencial de capacidad de transmisión en el caso de retransmisión MAC. Asimismo, el encaminamiento dentro de una red multisalto será un reto muy importante.

Por regla general, la tecnología de multisaltos puede considerarse como un complemento útil para el uso compartido del espectro, pero puede utilizarse también como una alternativa a la compartición del espectro. Actualmente se investigan conceptos avanzados (como la cooperación entre varios puntos de extensión) y aparentemente hay posibilidades de un rendimiento superior.
