

## INFORME 1020

**ADAPTACIÓN DE LA ESPECIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS PARA FACILITAR  
LA REALIZACIÓN PRÁCTICA DE LOS EQUIPOS RADIOELÉCTRICOS**

(Cuestión 68/8)

(1986)

**1. Introducción**

La Cuestión 68/8 se refiere a las posibilidades de adaptar las características técnicas de los sistemas celulares radioeléctricos del servicio móvil terrestre (véase el Informe 740) para facilitar su realización práctica sin comprometer la calidad de funcionamiento del sistema. Una de las características más importantes de los sistemas es la buena utilización del espectro.

Sistemas grandes, basados en estructuras de celdas pequeñas y a los que se asigna una banda de frecuencias exclusiva, tienen actualmente cada vez más importancia, sobre todo para el servicio móvil telefónico, pero eventualmente también para servicios de despacho y de datos. Un futuro sistema móvil telefónico podría además integrarse en la red digital de servicios integrados (RDSI) proyectada.

En los sistemas celulares avanzados, la interferencia mutua dentro del sistema puede reducirse mediante disposiciones de red adecuadas, permitiendo así reducir la sensibilidad del sistema (emisiones no esenciales, productos de intermodulación, bloqueo) con repercusión marginal en la calidad de funcionamiento global del sistema. Podrían utilizarse nuevas tecnologías como transmisión vocal digital y utilización en tiempo compartido de radiocanales de banda ancha (AMDT, transmisión de paquetes y dúplex en el tiempo) en nuevas configuraciones de los sistemas con mejor calidad de funcionamiento en comparación con los actuales sistemas analógicos de banda ancha. Pueden esperarse mejoras en la economía de espectro, la calidad de transmisión, los nuevos servicios y la facilidad de realización.

La importancia de los terminales pequeños portátiles crecerá probablemente de forma rápida si su precio y tamaño pueden hacerse atractivos para una producción en serie. Es por tanto muy conveniente que la especificación y la configuración de los sistemas faciliten la realización de terminales pequeños y económicos, lo cual podría conseguirse mediante una combinación de transmisión digital, menor selectividad de los sistemas y reducción de los radiocanales de banda ancha.

La mayor parte del material de este Informe se ha presentado con más detalles en cuatro Contribuciones al Seminario Nórdico de Radiocomunicaciones Móviles Terrestres, celebrado en Finlandia en febrero de 1985 y organizado por las Administraciones de Telecomunicaciones de Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia [Öhrvik, 1985; Stjernvall, 1985; Ekemark y otros, 1985; Uddenfeldt, 1985 y Uddenfeldt y Stjernvall, 1985].

En Uddenfeldt [1985] se tratan las relaciones entre las características de los sistemas y la facilidad de realización. Puede verse un análisis más detallado en los apuntes de conferencia de un curso para licenciados celebrado en 1984 en la Universidad de Lund (Suecia) [Öhrvik, 1984].

## 2. Comparación respecto a la economía de frecuencias entre la transmisión telefónica digital de banda estrecha y los actuales sistemas telefónicos analógicos del servicio móvil

Varios grupos de investigación han indicado que con codificadores vocales de complejidad y consumo de potencia razonables (considerando teléfonos portátiles) podría obtenerse una calidad vocal de telefonía próxima a la normal con una velocidad binaria normal de unos 16 kbit/s, incluida la codificación de canales, aceptándose hasta un 1% de errores de bits con una pequeña degradación de la calidad vocal. Una codificación de canales adicional contra errores en ráfaga debidos a depresiones originadas por desvanecimientos, que aumente la velocidad binaria hasta unos 27 kbit/s, produce una reducción sustancial de la relación  $C/I_{\text{cocal}}/I_{\text{cocal}}$  necesaria durante el desvanecimiento Rayleigh. Pueden transmitirse 27 kbit/s por un radiocanal de 25 kHz con menores exigencias de atenuación por canal adyacente. La menor relación  $C/I$  necesaria corresponde a una reducción sustancial de la distancia de reutilización de frecuencias necesaria frente a la de los actuales sistemas telefónicos del servicio móvil. Como se resume en el cuadro I, [Uddenfeldt, 1985] se obtiene una mejora de unas tres veces en la utilización del espectro.

CUADRO I – Eficacia de utilización del espectro para un sistema MF con compansión (compresión-expansión) y dos sistemas AMDF digitales de banda estrecha.  
Se utilizan sectores de celdas con tres celdas por emplazamiento

	Sistema analógico	Sistema digital	Sistema digital codificado
Descripción	MF con compansión	REL P/MDMG	REL P/MDMG
Velocidad del codificador vocal (kbit/s)	–	16	16
Velocidad de transmisión (kbit/s)	–	16	27
Separación entre canales (kHz)	25	15	25
Relación $C/I$ mínima durante los desvanecimientos (dB)	18	20	13
Reutilización de frecuencias:			
– N.º de grupos de frecuencia	21	27	9
– N.º de emplazamientos	7	9	3
Eficacia del espectro:			
– N.º de canales por MHz y celda	1,9	2,4	4,4
– Capacidad de tráfico por celda para un sistema de 10 MHz (erlangs)	12,4	17,2	35,1

Naturalmente no es éste un resultado general. No se han considerado nuevas mejoras en los sistemas telefónicos analógicos del servicio móvil, pero en cambio podemos esperar nuevas mejoras en las tecnologías para la transmisión vocal digital por radiocanales con desvanecimiento.

## 3. Incidencia en la economía de frecuencias de la introducción de radiocanales de banda ancha

Una complicación de importancia que trasciende a los radiocanales de banda ancha es la influencia de la dispersión en el tiempo. La consecuencia final sobre el nivel del sistema podría ser o una degradación o una mejora de la utilización de frecuencias a través de la influencia de la dispersión en el tiempo (o del desvanecimiento selectivo de frecuencia) en la relación  $C/I_{\text{cocal}}/I_{\text{cocal}}$  necesaria.

En condiciones típicas de propagación, la anchura de banda de modulación es considerablemente mayor que la anchura de banda de coherencia. Con un procedimiento adecuado de la señal podría aprovecharse esta condición introduciendo diversidad de frecuencia para reducir el margen necesario contra el desvanecimiento multitrayecto. La consecuencia negativa podría ser que el efecto sobre la sensibilidad del receptor (relación  $C/I$  necesaria) producido por la dispersión en el tiempo (interferencia entre símbolos) no podría eliminarse totalmente mediante procesamiento adecuado de la señal (es decir, equalización de canales adaptiva).

Se necesitan estudios mucho más amplios tanto de las características detalladas de banda ancha de los radiocanales del servicio móvil y del procesamiento adecuado de la señal para aprovechar o combatir la dispersión en el tiempo. Los efectos dependerán también de la configuración del sistema total, es decir, de la velocidad de transmisión del sistema, de otras disposiciones de diversidad, de la codificación de canales y del tipo básico de módem radioeléctrico. La diversidad de frecuencias podría también introducirse mediante salto coordinado de frecuencias entre los canales asignados a una celda.

Una ventaja de las diferentes combinaciones del AMDT y de la transmisión de paquetes es la mayor flexibilidad de los sistemas, especialmente si los diferentes servicios no vocales pasan a ser una parte importante de los futuros sistemas. Un inconveniente obvio de los actuales sistemas AMDF es la atribución de una capacidad de canales innecesariamente grande para la transmisión de datos en banda estrecha y para ciertos tipos de señalización. (En cambio, una ventaja de los sistemas con canales de banda ancha es la posibilidad de acomodar ráfagas de datos a alta velocidad o sea mensajes RDSI a 16 kbit/s. Podrían también incorporarse disposiciones del tipo Interpolación Digital de Señales vocales (DSI – «Digital Speech Interpolation».)

La introducción de sistemas AMDT/paquetes se traduce en una señalización mucho mejor de los sistemas. Un terminal de radio puede intercambiar señalización de sistema con la estación de base sin interrupción de la transmisión telefónica y de datos, utilizando intervalos de tiempo separados. El terminal puede también verificar el nivel de la señal desde celdas próximas (conmutando momentáneamente tanto a un nuevo intervalo de tiempo como a un canal radioeléctrico). La economía de frecuencias puede mejorarse tanto por macrodiversidad entre celdas para reducir el margen necesario contra el desvanecimiento por efecto de sombra como por reasignación dinámica de canales cuando  $C/I$  se hace marginal. Si el sistema puede de este modo diseñarse para una menor  $C/I_{\text{cocanal}}$  media, las celdas cocanal pueden comprimirse aún más, con lo que se consigue una mejor utilización del espectro.

En cambio, la introducción de AMDT constituye una penalización básica de la economía de frecuencias, debido a los suplementos para bandas de guarda entre intervalos de tiempo y para la sincronización de ráfaga.

#### 4. Adaptación de la especificación de los sistemas para facilitar la realización práctica

##### 4.1 Reducción de la selectividad de los sistemas

El análisis de la situación de interferencia en un sistema celular con control adecuado de la potencia de transmisión del terminal y próximo a procedimientos de transferencia (hand-over) óptimos, indica interferencia mutua muy reducida en la dirección terminales-base, en comparación con la situación en la que pequeños sistemas independientes con cobertura geográfica superpuesta pero diferentes emplazamientos de las estaciones de base, comparten la misma banda de frecuencias. Los requisitos de selectividad del sistema impuestos a los transmisores del terminal y a los receptores de la estación de base podrían probablemente reducirse a unos 40 dB sin aumento apreciable de la relación  $(C/I)_{\text{cocanal}}$  para una calidad aceptable.

La situación de interferencia sería aproximadamente la misma en sentido opuesto si no se aplica control de potencia dinámico a los transmisores de la estación de base. Un modo simple de obtener una gama dinámica elevada (característica de bloqueo) de los terminales de base podría ser introducir el control automático de ganancia.

Una posible complicación puede ser la introducción del control de potencia en los transmisores de la estación de base para reducir el nivel medio de las señales cocanal, reduciendo así la probabilidad de interferencia cocanal perjudicial. Una consecuencia sería que se necesitarían especificaciones más rigurosas sobre la intermodulación de los transmisores.

Reducir los requisitos de selectividad de los sistemas tendría una considerable influencia en el costo y el tamaño de los equipos, al disminuirse los requisitos de gama dinámica, de característica de ruido y de selectividad de los filtros de los diferentes subsistemas de transmisión y recepción. Los actuales requisitos extremos de supresión de emisiones no esenciales han conducido a receptores complicados, que utilizan varias etapas de mezclado y filtrado. Reducir los requisitos de selectividad podría dar lugar a importantes simplificaciones tales como circuitos equilibrados para suprimir emisiones no esenciales y para la conversión directa entre las frecuencias de la banda de base y de transmisión.

##### 4.2 Mayor anchura de banda de los canales

La introducción de radiocanales de banda ancha con división en el tiempo tendrá también una repercusión considerable en la realización práctica.

El costo de los emplazamientos concentrados de estaciones de base será menor si cada equipo de radiocanal es compartido por varios canales telefónicos o de datos. Un menor número de radiocanales con mayor separación producirá una reducción considerable de la complejidad de los multiplexores. Fuera de las áreas metropolitanas principales, la capacidad de tráfico necesaria de un emplazamiento de estación de base puede ser atendida por un radiocanal de banda ancha, eliminándose así la necesidad de multiplexores.

Considerando la complejidad de las estaciones de base, la velocidad binaria óptima de los sistemas sería un compromiso entre las necesidades de los centros de mayor población y de las zonas menos densamente pobladas, y también un compromiso entre la fase temprana de crecimiento del sistema y la fase final con el sistema saturado.

Una repercusión más importante será probablemente el costo y el tamaño de los terminales, ya que el costo de los terminales suele ser la parte más importante del costo total de un sistema celular. La introducción de radiocanales de banda ancha conduce a una reducción de los requisitos de estabilidad en las frecuencias extremas, a filtros de radiofrecuencia estrechos y a osciladores controlados por tensión con buena característica de ruido y microfónica. Además, se simplifica el diseño de los sintetizadores de frecuencia, especialmente si se exige al sistema una rápida conmutación entre radiocanales.

Una reducción de la selectividad de los sistemas y un aumento de la separación entre canales repercuten principalmente en los subsistemas analógicos y de alta frecuencia. Esto es especialmente importante, ya que los restantes subsistemas digitales, incluidos los de procesamiento digital de la señal, pueden aprovechar al máximo los futuros adelantos de la integración en gran escala (VLSI) digital a la medida, lo que podría eventualmente dar lugar a que los subsistemas que no puedan realizarse en VLSI sean los que tengan factores de costo y tamaño predominantes en la electrónica de los terminales.

Sin embargo, la introducción de radiocanales de banda ancha introduce también limitaciones en los sistemas y problemas de diseño. No serían prácticos radiocanales demasiado anchos:

- En muchas partes del mundo y para muchos servicios, deben introducirse gradualmente sistemas celulares digitales para telefonía y para despacho, en bandas de frecuencias actualmente organizadas y parcialmente ocupadas por canales AMDF de banda estrecha. Un posible compromiso sería utilizar radiocanales de anchura de banda intermedia, es decir, que combinen AMDF y AMDT con una separación entre canales de unos 300 kHz y que utilicen una combinación de dúplex en frecuencia y en tiempo (dúplex en frecuencia para adaptarse a los actuales principios de atribución de frecuencias y dúplex en tiempo para eliminar el filtro dúplex de los terminales portátiles).
- Se necesitará probablemente sincronización de tiempo entre celdas diferentes.
- El AMDT, y especialmente las disposiciones de paquetes con retransmisión de lotes perdidos introducirán demoras. También introducirán demoras el codificador vocal y el codificador de canales. Se necesitará probablemente compensación de eco también en las redes telefónicas móviles locales y regionales.
- Debido a la transmisión en ráfagas con un bajo ciclo de trabajo, la potencia de cresta será mucho mayor que la potencia de transmisión de terminal media. Las posibilidades de reducir considerablemente el margen contra el desvanecimiento multitrayecto e incluso parte del margen contra el efecto de sombra, como se ha sugerido antes, reducirán sin embargo los requisitos de potencia de transmisión media. (Esto contribuirá también a reducir el tamaño de las baterías de los terminales portátiles.) Utilizando radiocanales de anchura de banda intermedia («AMDT de banda estrecha») el resultado neto podría ser sólo una potencia de cresta moderadamente superior que la potencia de onda continua de los terminales actuales.
- La evolución hacia radiocanales de anchura de banda cada vez mayor, que exijan circuitos cada vez más complejos para utilizar o combatir la dispersión en el tiempo, podría dar lugar a un excesivo consumo de potencia en los módems radioeléctricos, especialmente si se consideran los terminales portátiles. Desgraciadamente, las mejoras futuras de la densidad de concentración de componentes VLSI digitales no se traducirán probablemente en un avance análogo en la reducción del consumo de energía por función elemental. Aun con componentes CMOS, el consumo de energía será considerable, si debe utilizarse lógica de muy alta velocidad. Como los teléfonos portátiles serían una parte importante de los futuros sistemas celulares, deben examinarse detenidamente las consecuencias sobre el consumo de potencia antes de decidir la anchura de los radiocanales de un sistema telefónico digital para el servicio móvil.

## 5. Conclusiones

Este Informe ha tratado de indicar que las nuevas tecnologías tanto las relativas a los propios sistemas como a su realización práctica, pueden permitir la combinación de una mejor calidad de funcionamiento de los sistemas, especialmente en cuanto a economía de frecuencias, con una reducción del costo de los sistemas y del tamaño de los terminales portátiles. Cuestiones clave que hay que estudiar son la selectividad óptima de los sistemas y la separación óptima entre los canales. Una sugerencia muy provisional formulada en el Informe es que una posibilidad interesante que merece ulterior estudio es un sistema «AMDT de banda estrecha» que utilice transmisión vocal digital y separación entre canales en torno a 300 kHz. Una cuestión importante que debe estudiarse son las características detalladas de los radiocanales de banda ancha del servicio móvil, incluidos los modelos matemáticos y los simuladores de canales apropiados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EKEMARK, S., RAITH K. y STJERNVALL, J. E. [febrero de 1985] Modulation and channel coding in digital mobile telephony. «Seminario Nórdico de Radiocomunicaciones Móviles Terrestres en modo digital», celebrado en Espoo, Finlandia.
- ÖHRVIK, S. O. [agosto de 1984] Future Mobile Telecommunication Services. Trends towards digital radio. Apuntes de conferencia, Universidad de Lund, Suecia.
- ÖHRVIK, S. O. [febrero de 1985] Adaption of system selectivity requirements to the characteristics of digital cellular systems. «Seminario Nórdico de Radiocomunicaciones Móviles Terrestres en modo digital», celebrado en Espoo, Finlandia.
- STJERNVALL, J. E. [febrero de 1985] Calculations of capacity and co-channel interference in a cellular system. «Seminario Nórdico de Radiocomunicaciones Móviles Terrestres en modo digital», celebrado en Espoo, Finlandia.
- UDDENFELDT, J. [febrero de 1985] Digital mobile telephony with improved spectrum efficiency. «Seminario Nórdico de Radiocomunicaciones Móviles Terrestres en modo digital», celebrado en Espoo, Finlandia.
- UDDENFELDT, J. y STJERNVALL, J. E. [septiembre de 1985] Digital mobile telephony – performance, objectives and new possibilities. Proc. Digital Land Mobile Radio Communication Workshop, Bologna, Italia.

---

INFORME 741-3. \*

**SISTEMAS RADIOELÉCTRICOS PRIVADOS DE MÚLTIPLES  
CANALES EN EL SERVICIO MÓVIL TERRESTRE  
(CON O SIN INTERCONEXIÓN CON LA RTPC\*)**

(Cuestión 37/8)

(1978-1982-1986-1990)

**Introducción**

El espectro radioeléctrico atribuido al tráfico de despacho se está congestionando cada vez más, y muchos usuarios (redes) se ven ya obligados a compartir un canal con varios otros usuarios. Con esta forma de proceder se hace un uso más eficaz del canal, pero se ofrece a los participantes un "grado de servicio" reducido, dado que es posible que a menudo tengan que esperar algún tiempo para la liberación de un canal, y que experimenten una reducción del secreto de las comunicaciones. No sólo una mejor utilización del canal sino también un mejor grado de servicio y unas buenas condiciones de preservación del secreto de las comunicaciones son factores importantes en el diseño de sistemas de despacho.

La Parte A del presente Informe trata los aspectos generales de los sistemas móviles terrestres de canales múltiples para tráfico de despacho, tales como la configuración del sistema, las características del tráfico de despacho, el grado de servicio, la capacidad de tratamiento de tráfico, la calidad de funcionamiento de los sistemas con concentración de enlaces, la señalización y así sucesivamente.

En la Parte B se introducen algunos sistemas que están siendo instalados o verificados por algunas administraciones.

En el contexto del Informe, se entiende por "sistema de despacho" un sistema radioeléctrico utilizado para controlar la explotación de un parque de vehículos, tales como aeronaves, taxis, coches de la policía, etc. mientras que "sistema con concentración de enlaces" alude a un sistema de múltiples canales con selección automática de canal, referido especialmente a sistemas de despacho.

En este Informe no se considera, sin embargo, en detalle métodos para la interconexión de los sistemas de despacho con concentración de enlaces con las redes telefónicas conmutadas públicas o privadas. Esa interconexión requiere un estudio ulterior.

---

\* RTPC: Red telefónica pública con conmutación.