

Evolución de los Sistemas Celulares

Dr. Héctor R. Sánchez Paz

Profesor Titular, Departamento de Telecomunicaciones.

Universidad de Oriente, Cuba.

Email: hsanchez@fie.uo.edu.cu

Resumen

El sistema celular en sus dos décadas de existencia, se ha convertido en el sistema de comunicaciones de mayor crecimiento anual, con cambios tecnológicos radicales aproximadamente cada 10 años. Hasta el presente, han existido dos generaciones de celulares, la primera con tecnología analógica diseñada para ofrecer servicios de voz y la segunda totalmente digital, lo que permitió además ofrecer servicios de datos hasta una razón máxima de transmisión de 9.6 Kbps. Ambas generaciones celulares emplearon canales de radio de banda estrecha y velocidades de transmisión baja, típicas de los servicios telefónicos de voz. En la actualidad, se está desplegando una tercera generación con velocidades de transmisión de hasta 2 Mbps y canales de radio de 5 MHz, lo que le permite ofrecer servicios de banda ancha.

La 3G, a pesar de sus ventajas, no se ha desarrollado según los pronósticos, debido en primer lugar a la recesión económica mundial y en segundo, a problemas técnicos al no alcanzar grandes incrementos en su capacidad ya que su eficiencia espectral es aún baja, dando lugar a que sus servicios de banda ancha sean caros. La necesidad de transmitir grandes volúmenes de datos a bajo costo, continúa impulsando la realización de nuevas investigaciones, fundamentales en la cuarta generación de celulares.



Introducción

Las comunicaciones inalámbricas o comunicaciones por radio, comenzaron a desarrollarse a partir de los trabajos iniciales de Hertz, Popov y Marconi a finales del siglo XIX y principios del siglo XX; estos sistemas transitaron por un largo camino de desarrollo, pero no fue hasta 1921 cuando se instaló el primer sistema de radio de telefonía móvil en el Departamento de Policía de la ciudad de Detroit en los Estados Unidos de Norteamérica. Este era un sistema de despacho que operaba en la banda de 2 Mhz; aunque no fue hasta finales de los años setenta, que se acumularon los conocimientos científicos y tecnológicos necesarios para posibilitar en el año 1982, el surgimiento en Europa y los Estados Unidos de Norteamérica, la primera generación de sistemas celulares (1G). La idea inicial del sistema celular y de ahí su nombre, consiste en dividir el territorio al cual se desea prestar servicio, en células de pequeña área, tal como se observa en la Figura 1.



Figura 1. Células Cubriendo un Territorio.

En la Figura 2 se representan las componentes principales de una célula. El radio de diseño de la célula R , lo determina la potencia máxima del transmisor móvil, que es el elemento más crítico, al emplear baterías recargables. El radio máximo de la célula R_{max} , lo determina el transmisor de la estación base y se escoge de manera tal, que sólo sobrepase a R en un pequeño por ciento.

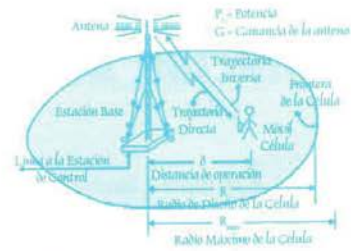


Figura 2. Célula y sus Principales Componentes.

La aparición de los sistemas celulares significó un gran paso de avance, con respecto a los sistemas convencionales de radiotelefonía móvil, ya que se superaron las principales limitaciones y deficiencias que se presentaban en estos. Los sistemas celulares son capaces de dar servicios a escala local, nacional y global y pueden atender a un elevado número de abonados, adaptándose perfectamente al crecimiento del tráfico telefónico y de datos, con un servicio de alta calidad en toda el área cubierta y pueden atender por igual a diferentes tipos de usuarios móviles.

Hay tres principios fundamentales, responsables de las nuevas características de los celulares, éstos son el reuso de frecuencia, la división celular y la transferencia de llamada. El reuso de frecuencia permite volver a emplear el mismo espectro de frecuencia en territorios muy próximos, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 3.

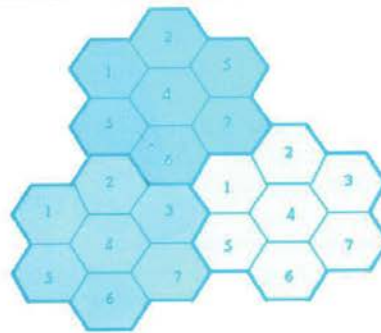


Figura 3. Ejemplo de Reuso de Frecuencia.

En cada grupo de siete células se emplea todo el espectro de radio asignado y este se vuelve a usar en los grupos vecinos. Las células de igual número emplean los mismos canales de radio y están separadas por una distancia mínima, que garantice una calidad de servicio dada.

La subdivisión celular, le permite al sistema, adaptarse al constante incremento del tráfico celular, ya que los grupos disminuyen su territorio de servicio con el mismo número de canales de radio, incrementando la densidad de estos por kilómetro cuadrado, pudiendo llegar hasta las pico células, cubriendo un edificio o inclusive sólo parte de un piso de este. Obsérvese la Figura 4.

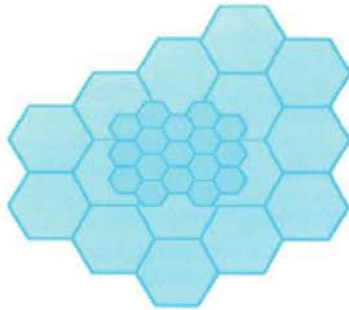


Figura 4. Principio de División Celular.

La transferencia de llamada, a su vez le permite a los móviles viajar por todo el territorio del sistema celular, cambiando sus canales de radio de una célula a otra de forma automática sin que el usuario tenga conciencia de ello, tal como se muestra en la Figura 5. Ese principio se aplica inclusive al viajar de un país a otro, siempre y cuando existan los convenios adecuados.



Figura 5. Transferencia Celular.

El sistema celular ha tenido tan excelente acogida entre sus suscriptores, que ha pasado a ser en la actualidad, el sistema de comunicación más popular e imprescindible en el mundo de los negocios y entre los particulares, eso le ha permitido crecer a un ritmo elevado, con tasas muy por encima de los sistemas telefónico tradicionales, pronosticándose que en los próximos 2 a 3 años lo sobrepasen en el número de suscriptores, tal como se observa en la Figura 6.

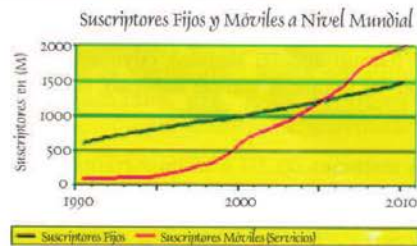


Figura 6. Evolución del Número de Suscriptores.

Hasta el presente se han desarrollado plenamente dos generaciones de celulares terrestres, una tercera comenzó su despliegue y una cuarta se encuentra en estudio. Esta última deberá solucionar el problema de transmitir grandes volúmenes de datos, con alta eficiencia espectral y bajo costo.

Primera Generación de Celulares

Los sistemas de 1G se diseñaron con técnica de modulación analógica de frecuencia modulada (FM) y por ello sólo podían prestar servicios de voz, aunque todo su sistema de control era digital. Este sistema tuvo como meta una calidad de voz semejante a la que ofrecía la telefonía fija tradicional y al igual que esta empleó la tecnología de circuitos conmutados para establecer los enlaces entre usuarios.

La 1G usó como técnica de acceso múltiple la división en frecuencia (FDMA), dividiendo el espectro de radio asignado en canales duplex de radio de banda estrecha, con valores entre 10 y 30 KHz.

Evolución de los Sistemas Celulares

Esta primera generación aunque se desarrolló de manera impetuosa, con grandes crecimientos anuales en el orden del 30 al 50 por ciento, tuvo una severa limitación al ponerse en explotación muchos estándares semejantes, con algunas pequeñas diferencias que los hacían totalmente incompatibles entre sí. Esto provocó que por ejemplo en Europa, en 20 ciudades se instalaran 11 sistemas diferentes, lo que impedía mantener las comunicaciones con el mismo equipo celular al viajar de una ciudad a otra. Es por eso que tan temprano como en el año 1982, se creó en Europa el comité GSM (Group Special Mobile), cuyo objetivo era definir un estándar digital europeo, único para toda la Comunidad Europea.

Los sistemas de 1G más importantes fueron; el AMPS (American Advanced Mobile Phone Service) desarrollado en los Estados Unidos de Norteamérica, el NMT (Nordic Mobile Telephone) en los países nórdicos, el TACS (British Total Access Communication Systems) en Inglaterra y el NAMTS (Nippon Advanced Mobile Telephone Systems) en Japón.

Segunda Generación de Celulares

La segunda generación de sistemas celulares (2G) fue digitalizada totalmente. El sistema celular GSM (Ahora Global Systems for Mobile) comenzó a prestar servicios en unos cuantos países de la Comunidad Europea en 1991 y luego se convirtió en el estándar más empleado en el mundo, actualmente opera en más de 140 países. Otros dos estándares importantes son el ADC (American Digital Cellular) desarrollado en los Estados Unidos de Norteamérica y el JDC (Japanese Digital Cellular) en Japón.

La tecnología GSM es una combinación de acceso múltiple por división en tiempo (TDMA) y acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA), que inicialmente contó con un espectro 25 Mhz de ancho de banda en cada sentido, dividido en 124 canales duplex de radio de 200 Mhz cada uno, con ocho ranuras de tiempo y trabajando en la banda de los 900 Mhz. Posteriormente se expandió a la banda

de 1.9 Ghz dentro del territorio de los Estados Unidos de Norteamérica y a la banda de 1.8 Ghz en el resto del mundo.

Uno de los efectos más perjudiciales que tienen que enfrentar los sistemas celulares es el fenómeno de las multitrayectorias, donde la señal resultante recibida en el circuito de antena del receptor, es una mezcla de las señales procedentes de las diferentes trayectorias y aunque contienen la misma información, lo hacen con amplitudes y tiempos diferentes, degradándose mutuamente hasta el punto en que puede ser imposible su decodificación, tal como se observa en la Figura 7.

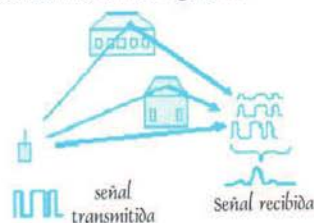


Figura 7. Efecto de las Multitrayectorias

Una vía para recuperar las señales aun después de ser afectadas severamente es mediante la ecualización, técnica que permite recuperar la señal deseada y emplear velocidades de transmisión de datos mucho más elevadas. El sistema (2G) se basó también en tecnología de conmutación de circuitos y esquemas de modulación fijas de baja capacidad, que aunque son muy robustos por su alta tolerancia al ruido, tienen muy baja eficiencia espectral. Debido a su naturaleza digital estos sistemas 2G pudieron implementar algunos servicios de datos, tales como Fax, mensajes cortos, correo electrónico y otros con una razón de transmisión de datos máxima de 9.6 Kbps.

La demanda explosiva de servicios de INTERNET, pusieron a los sistemas 2G ante la disyuntiva de buscar nuevos métodos de transmisión de datos a velocidades más elevadas o de lo contrario desaparecer rápidamente frente a los servicios ofertados por 3G. Para esto 2G modificó la estructura de sus

redes, añadiéndoles pasarelas especiales para datos, sin que dichas modificaciones fueran muy complejas y caras con respecto a la estructura tradicional en los servicios de voz.

En esencia se ha estado produciendo en los últimos años un proceso de convergencia hacia los sistemas de 3G y por eso se les denomina como sistemas de segunda y media generación (2.5G).

Se han desarrollado tres esquemas para lograr una razón de datos mejorada; la Conmutación de Circuitos de Datos de Alta Velocidad (HSCSD), el cual le proporcionó un flujo de datos hasta 57.6 Kbps y aumentó la capacidad del terminal de acceder simultáneamente a varios servicios. Se trata de un servicio multirranura de datos, para la transmisión a alta velocidad mediante la conmutación de circuitos; el Servicio General de Paquetes de Radio (GPRS), que ha sido el más empleado hasta el presente, mejorando y simplificando el acceso inalámbrico entre las estaciones celulares y las redes de conmutación de paquetes de datos, por ejemplo INTERNET o redes LAN a velocidades de hasta 115,2 Kbps. Esta técnica forma prácticamente una red en paralelo con la arquitectura convencional de los sistemas de segunda generación, desviando los datos desde la estación radio móvil hacia las redes de conmutación de paquetes.

Finalmente, la Razón de Datos Mejorada para la Evolución Global (EDGE), la cual abrió el camino hacia las comunicaciones personales multimedia, al alcanzar velocidades de hasta 384 Kbps. El sistema 2.5G actualmente es empleado por muchos millones de usuarios y posiblemente lo sigan haciendo por varios años más. En la Figura 8 se muestran los principales escalones en la evolución de los sistemas celulares.

Tercera Generación de Celulares

La tercera Generación de celulares (3G) comenzó a desplegarse en el mundo a partir

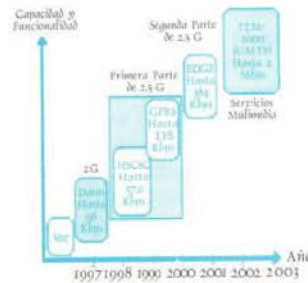


Figura 8. Evolución de los Sistemas Celulares.

de Octubre del 2001 en la ciudad de Tokio en Japón y en la actualidad opera en algunas grandes ciudades, prestando servicios de banda ancha que combinan movilidad y multimedia de alta calidad.

La 3G constituye una tecnología inalámbrica en la que convergen en un solo sistema global muchas otras tecnologías precedentes que incluyen elementos fijos, celulares y satelitales, ofreciéndoles ventajas significativas a los usuarios, incluyendo servicios que combinan movilidad y multimedia de alta calidad. Los equipos móviles 3G no pueden considerarse simples teléfonos celulares, ya que son verdaderas terminales de datos multimodo/multibanda con un interfaz de radio muy flexible, lo que le permite dar servicio global mundial y seguir empleando los sistemas 2G allí donde aun no este establecida esta tecnología.

El sistema 3G constituye una solución tecnológica que permite integrar servicios de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes, empleando la tecnología ATM (Asynchronous transfer mode), requiriendo una estrecha relación entre los parámetros de las estaciones móviles, tales como movilidad, potencia de salida y tipos de servicios utilizados. Cuando hay disponibles varios tipos de células en un mismo territorio, se elige la más eficiente desde el punto de vista de los costos y de la capacidad. Normalmente la célula elegida será la que requiera menor potencia para la comunicación hacia y desde el móvil.

Evolución de los Sistemas Celulares

Los sistemas 3G emplean esquemas de Acceso Múltiple por División en Códigos (CDMA), que tienen mayor resistencia a los efectos negativos de las multirayectorias, permitiendo alcanzar velocidades de transmisión de datos de hasta 2 Mbps, lo que le da la posibilidad de ofrecer muchos nuevos servicios de banda ancha. Otro aspecto positivo de esta tecnología está, en que al emplear canales de radio de banda ancha de 5 Mhz, los receptores tienen una gran capacidad de resolución de ecos y pueden sumar coherentemente la potencia de varias componentes de las multirayectorias en una sola señal más fuerte.

No obstante a sus ventajas, el 3G ha sufrido serios atrasos en los pronósticos de despliegue por dos razones fundamentales, la primera de carácter económica al requerirse inversiones multimillonarias, en momentos en que la recesión económica mundial afecta severamente al sector de las Telecomunicaciones y la segunda es técnica, ya que su eficiencia espectral es aun baja y los servicios que requieren elevadas tasa de transmisión de datos resultan muy caros. Por ambas razones se espera que aun tengan que pasar varios años antes de que dicho sistema cubra todo el globo terráqueo y todos los servicios.

En el sistema 3G se pretende que las componentes, terrestre y satelital tengan una relación estrecha, de modo que en zonas con poco nivel de desarrollo o poca infraestructura en tierra, se usen los satélites para dar el servicio necesario y que a medida que el nivel de desarrollo en tierra aumente, se pase de forma paulatina al modo terrestre.

Dentro de 3G existen dos estándares, el IMT-2000 que es la norma global de referencia para todos los sistemas de 3G, ya que su desarrollo normativo corrió a cargo de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), que es el organismo internacional rector de las comunicaciones anexo a la ONU (Organización de Naciones Unidas) y UMTS (Universal Mobile

Telephone System), compatible con el sistema IMT-2000 y que es la norma surgida en la Unión Europea.

Un tema trascendental para un sistema global es la asignación de frecuencias. Conviene que las bandas de frecuencias utilizadas sean las mismas para todo el planeta. La Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones de 1992 (CARM-92) fijó 230 Mhz de ancho de banda para el sistema de 3G, incluyendo 60 Mhz para satélites, tal como se muestra en la Figura 9.

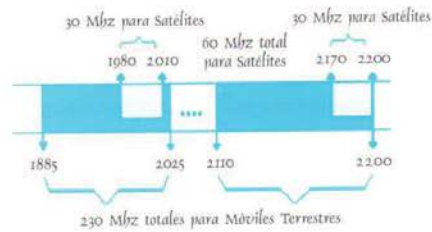


Figura 9. Bandas Asignadas a 3G.

Cuarta Generación de Celulares

Actualmente se ha comenzado a trabajar en el diseño de una cuarta generación de sistemas celulares (4G) y que se supone comience a desplegarse a partir del 2010. Entre sus objetivos principales a lograr está, el de incrementar notablemente su eficiencia espectral de modo que soporten servicios que requieran mayores anchos de banda, con velocidades de transmisión de datos mucho más alta y a bajo costo, cuando eso ocurra se ofertarán muchos nuevos servicios de banda ancha tales como la televisión de alta definición HDTV (4 a 20 Mbps) y aplicaciones en redes de computadoras (1 a 100 Mbps).

Se prevé que existan dos etapas de desarrollo intermedias entre 3G y 4G, estas son 3.5G y B3G, pero solo será en la 4G propiamente dicha, en que se producirá un salto tecnológico en la interface de radio. En la Figura 10 se muestran las principales etapas en la evolución de los sistemas celulares.

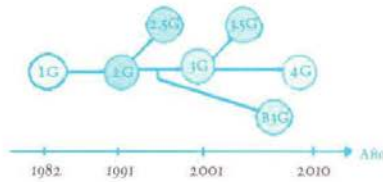


Figura 10. Evolución Sistemas Celulares.

Para obtener tan significativas mejoras en el sistema 4G, ofertando verdaderamente accesos de banda ancha, serán necesarios avances en múltiples aspectos de las redes de los sistemas celulares, entre las cuales tiene alta prioridad una modulación de RF mucho más eficientes. Todo parece indicar que OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) constituye una excelente alternativa, ya que tiene el potencial de sobrepasar la capacidad de los sistemas que usan CDMA.

El esquema OFDM transmite los datos empleando un gran número de portadoras de banda estrecha o subportadoras espaciadas uniformemente en el canal. El espaciamiento en frecuencia de las subportadoras y su sincronización en el tiempo se escoge de forma tal que todas las subportadoras sean ortogonales entre sí, lo que da origen a que no existan interferencias entre ellas aunque se solapen en el dominio de frecuencia.

Una gran ventaja de la modulación OFDM está en que cada subportadora, puede modularse adaptativamente empleando diferentes

esquemas de modulación, de acuerdo al estado instantáneo del canal a la frecuencia de cada una de las subportadora y que a su vez esos esquemas de modulación pueden ser de alta eficiencia, tales como 64-QAM y 256-QAM entre otros.

Conclusiones

El sistema celular ha evolucionado muy dinámicamente y en sólo dos décadas de existencia se ha transformado en el sistema de comunicaciones más popular e imprescindible en el mundo empresarial y personal. Su tendencia fundamental ha estado dirigida a satisfacer las demandas de sus suscriptores, que exigen cada vez más servicios que necesitan de mayor ancho de banda, mayor calidad y a menores costos, para lo cual ha sido necesario buscar interfaces de radio más flexibles y más resistentes al efecto de las multitrayectorias y las interferencias mutuas, permitiendo mayores velocidades de transmisión, con mayor eficiencia espectral y mayor seguridad.

Aunque los usuarios en los próximos años, continúen usando principalmente la voz, la transmisión de datos será el servicio que mayores recursos precisen de la red, exigiendo cada vez mayor ancho de banda y velocidad de transmisión de datos, ante la necesidad de transportar volúmenes de datos cada vez mayores.

Bibliografía

D. E. Borth. "Mobile Broadband Wireless Systems Beyond 3G, WWRFT3 Meeting". In: *Stockholm*. September. 2001.

E. P. Lawrey Be. *Adaptive Techniques for Multiuser OFDM*. Thesis for the degree of Ph.D. James Cook University. December 2001.

Global Mobile suppliers Association: www.gsasociation.org.

H. Sánchez. *Notas de Clases sobre Sistemas Celulares*. Universidad de Oriente. Cuba. 2003.

I. A. Glover, P.M. Grant. *Digital Communications*. Prentice Hall. 1998.

International Telecommunication Union (UIT): www.itu.int.

P. Sehier, J-M. Gabriagues, A. Urie, "Normalización de los sistemas móviles 3G". En: *Telecomunicaciones de Alcatel*. 1er. Trimestre 2001.

"Third Generation (3G) Wireless White Paper". In: *Trillium Digital Systems*. Inc. March 2000: www.trillium.com.

UMTS Forum: www.umtsforum.org.

Universal Wireless Communication Consortium (UWCC): www.uwcc.org.

W.C.Y. Lee. *Mobile Cellular Telecommunications. Analog and Digital Systems*, Second Edition, McGraw-Hill, 1995.