



INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES GLOBALES POR SATÉLITE

Luis Miguel Contreras Murillo

Después de más de un cuarto de siglo de operación y desarrollo de las comunicaciones por satélite, su aplicación a comunicaciones móviles ha empezado a florecer desde hace relativamente poco tiempo. El potencial inherente de los satélites para comunicaciones móviles, así como para la radiodifusión, fue relegado a un papel secundario por las aplicaciones punto a punto desde un primer momento. Con el interés centrado en satisfacer las necesidades de los usuarios de servicios punto a punto, la potencialidad de los satélites no fue explotada hasta que la fibra óptica limitó sus aplicaciones punto a punto.

En las primeras aplicaciones de sistemas de comunicaciones móviles por satélite (Mobile Satellite Communications -MSC-), la combinación de un alto coste y de un equipamiento excesivamente grande ha mantenido a los sistemas MSC basados en estaciones espaciales (los propios satélites) en un segundo plano dentro del mercado de las comunicaciones móviles personales. Durante todo este tiempo, los sistemas de comunicaciones

móviles han sido sistemas basados en estaciones terrenas.

Las comunicaciones por satélite se han caracterizado durante la última década por la evolución desde servicios orientados a red a servicios orientados a usuarios. La clave para la penetración de estos sistemas radica en la reducción tanto del tamaño como del coste del terminal de usuario, de las tarifas de servicio, y de su interconexión con los sistemas terrestres. Las actuales pretensiones residen en implementar una red global capaz de proveer un acceso inalámbrico a los usuarios dondequiera que se encuentren, usando un direccionamiento personal de carácter universal; es decir, satisfacer cada una de las necesidades de las comunicaciones móviles en diferentes escenarios de tráfico (urbanos, rurales, etc.). La idea es recoger, en un único estándar, las diferentes tecnologías (sistemas celulares, inalámbricos, satélite, etc.).

miniaturización de componentes, ha tenido como resultado la viabilidad de una nueva generación de sistemas móviles, donde la comunicación tiene como base los propios satélites.

Con estos sistemas, existe una capacidad de proveer cobertura global (con ángulos de elevación sobre el horizonte aceptables incluso desde regiones polares) con diversidad de usuarios (voz, imágenes y datos) tanto en tierra como en el mar o en el aire (servicio móvil terrestre, marítimo y aeronáutico), siempre desde terminales de usuario portátiles. Además, estos sistemas pueden proporcionar

La alta flexibilidad de los sistemas por satélite permitirá adaptar su capacidad a las condiciones de alta variabilidad de tráfico de los sistemas móviles.

servicio en zonas escasamente pobladas o en zonas donde la implementación de una red móvil terrestre sería irrealizable (como en los océanos) o demasiado cara, reconociendo de este modo la importancia fundamental que el componente satélite tiene como complemento del segmento terrestre. La alta flexibilidad de los sistemas por satélite permitirá adaptar su capacidad a las condiciones de alta variabilidad de tráfico de los sistemas móviles. La posibilidad de proporcionar servicios de posiciona-

LUIS MIGUEL CONTRERAS MURILLO es estudiante de sexto curso en la E.T.S.I. de Telecomunicación de Madrid (UPM). Actualmente realiza su proyecto en el Departamento de Señales, Sistemas y Radicomunicación.

DESCRIPCIÓN GENERAL

El desarrollo llevado a cabo en los últimos años en áreas como el procesamiento digital de la voz, la tecnología de satélites y la



miento, navegación y emergencia hace más atractivo aún el servicio integrado.

Para alcanzar estos objetivos han sido consideradas diferentes configuraciones orbitales, concretamente constelaciones de varios satélites en órbita media (Medium Earth Orbits -MEO- siendo la altitud a la que se encuentra el satélite $H > 5000$ Km) o en órbita baja (Low Earth Orbit -LEO- con $500 < H < 1000$ Km), sobre órbita circular inclinada o polar.

El empleo de órbitas no geostacionarias ofrece ventajas frente a la ya conocida órbita geostacionaria para la provisión del servicio móvil. A continuación se enumeran:

1) Una importante objeción hacia los sistemas de órbita geostacionaria (Geostationary Earth Orbit -GEO-) es su retardo de propagación, inevitable debido a su gran distancia y a la velocidad finita de la luz. La altitud de la órbita geostacionaria es de 35.786 Km. El retardo que implica un trayecto desde la estación terrena hasta el satélite y de nuevo a una estación terrena, está comprendido entre 240 y

270 ms. En una conexión internacional típica, el retardo de ida y vuelta puede situarse entorno a 0.6 s. Su efecto en una conversación puede ser la distracción en el mejor de los casos, mientras que en el peor puede hacerla imposible si se ve agravada por el eco al final de la línea. El eco puede ser controlado con circuitos de cancelación, si bien

su uso está lejos de ser generalizado. Para transmisiones digitales, el retardo inhibe el empleo de protocolos correctores de errores, que requieren detección del error y retransmisión selectiva de las tramas en fallo [Pri-93], [Wu-94]. Podemos considerar además los retardos de procesamiento asociados con vocoders. Así, para 4.8 Kbps de voz digitalizada es del orden de 60 a 80 ms. Por otro lado, las celdas TDMA pueden introducir de 20 a 90 ms de retardo [Rus-93].

En países desarrollados, un porcentaje relativamente grande (cerca del 40%) de los enlaces de comunicaciones serán de usuario de servicio móvil a usuario de servicio móvil. En regiones como Asia todavía la densidad de líneas telefónicas está por debajo de las 4 por cada 100 habitantes frente a las 33 por cada 100 habitantes de Europa y las 55 por cada 100 habitantes de EE.UU. [Zaf-94].

En estos casos será necesario muy probablemente un doble salto a través del satélite o una conmutación de circuitos en el propio satélite, incrementando, por consiguiente, los retardos de propagación por encima de un valor aceptable, que es aquel que se sitúa alrededor de 500 ms (en determinadas circunstancias pueden alcanzarse hasta 820

ms de retardo con sistemas GEO [Bec-94]).

Sin embargo, el retardo en sistemas LEO y MEO es mucho menor, y con unos efectos menos graves. Así, para satélites LEO el retardo de propagación se encuentra entre 5 y 10 ms, mientras que para satélites MEO está entre 70 y 80 ms. Con la utilización de satélites a altitudes más bajas es más fácil satisfacer el enlace, incluso con

terminales portátiles (alrededor de 350 gr) de baja potencia, así como reducir los retardos de propagación y el tamaño de las células [Rus-93].

2) Con sistemas LEO y MEO es posible la cobertura global, en concreto la cobertura de las regiones polares, con ángulos de elevación aceptables (hay que notar que el usuario debe tener visión del satélite con un ángulo de elevación mayor de 15° para tener un enlace fiable [Del-95]).

Los sistemas GEO se caracterizan por la ausencia de cobertura de las latitudes más al norte y más al sur. Un satélite geostacionario se encuentra por debajo del horizonte para latitudes mayores de 81° . Debido a las anomalías de propagación próximas al horizonte, incluso estaciones fijas con grandes antenas a menudo tienen dificultades trabajando con ángulos cercanos a 5° . El límite práctico de trabajo puede, por tanto, establecerse en 75° .

Las antenas omnidireccionales usadas en terminales móviles necesitan, para que el enlace sea fiable, ángulos de elevación del orden de 20° a 30°

En Asia la densidad de líneas telefónicas está por debajo de las 4 por cada 100 habitantes frente a las 33 por cada 100 habitantes de Europa.

1 Algunos autores ([Ana-95], [Wu-94]) agrupan estas configuraciones de forma diferente. Así, hablan de grandes LEO y pequeñas LEO (Big-LEO's y Little-LEO's en la literatura). Las grandes LEO se caracterizan por una gran capacidad, permitiendo la transmisión de voz. Reciben la denominación de "grande" debido a que los satélites deben tener suficiente potencia y ancho de banda para proporcionar calidad suficiente al servicio de voz en terminales portátiles, y deben, además, proveer otros servicios, tales como transmisión de datos, facsímil y radiodeterminación. A pesar de ser designados como LEO, los sistemas agrupados en esta categoría incluyen sistemas MEO.

Los pequeños LEO son denominados de esta manera debido a que sus satélites deben ser pequeños en tamaño y ligeros en masa, proporcionando servicios que requieren bajo ritmo binario (del orden de 1 Kbps).

Sistema	Altura de la órbita (km)	Inclinación	Periodo	Número de planos orbitales	Número de satélites por plano	Número total de satélites
GONETS	1.390	83°	113.56'	6	6	36
LEOSAT	970	40°	104.47'	3	6	18
ORBCOM	970	50° / 90°	104.47'	3 / 2	8 / 1	24 / 2
SAFIR	690	98.04°	100'	1	6	6
STARSYS	1.300	60°	111.59'	4	6	24
TAOS	1.208	57°	109.59'	5	1	5
TEMISAT	950	82.5°	110'	1	2	2
VITASAT	800	98.7427°	101.07'	1	2	2
ARIES	1.018	90°	105.5'	4	12	48
TELEDESI	700	98.2°	98.77'	21	40	840
GLOBALS	1.389	47°/52°	113.53'	8 / 8	3 / 6	24 / 48
IRIDIUM	780	86.4°	100.13'	6	11	66
ODYSSEY	10.373	55°	359.53'	3	4	12
MAGSS-14	10.354	53.98°	-	7	2	14

Las antenas omnidireccionales usadas en terminales móviles necesitan, para que el enlace sea fiable, ángulos de elevación del orden de 20° a 30°. Puede argumentarse que las latitudes por encima de 80°, al ser poco pobladas, no son importantes. Sin embargo, latitudes alrededor de 60° (el rango donde los ángulos de elevación no cumplirían el criterio más restrictivo para las antenas omnidireccionales) incluye gran parte de Europa [Pri-93]. Un efecto más serio es el producido por los edificios en las zonas urbanas. [Wu-94] sugiere que para un servicio consistente son deseables ángulos mayores de 40°. Esta elevación no puede obtenerse desde latitudes por encima de los 45°. Muchas grandes ciudades europeas como París, Londres, Berlín o Moscú están al norte de esta latitud. Por el contrario, altos ángulos de elevación pueden obtenerse fácilmente para sistemas LEO y MEO con órbita inclinada o polar.

3) Con sistemas LEO y MEO puede hacerse uso de la diversidad, ya que en estos casos hay visibilidad simultánea de diferentes satélites (típicamente 3 o 4 [Bec-94]), lo que posibilita emplear técnicas de diversidad y vencer los problemas de ocultamiento, entre otros.

4) Los satélites de sistemas LEO y MEO son más pequeños y livianos que los satélites GEO. Dentro de estos pequeños satélites se definen los micro-satélites, con una masa entre 50 y 100 Kg, y los mini-satélites, con una masa que oscila entre los 500 y los 750 Kg (estos límites son meramente indicativos). Bajo ciertas circunstancias, la inversión total en varios satélites pequeños de propósito no general en vez de un satélite grande de propósito general puede resultar sustancialmente

menor, al mismo tiempo que se reducen los riesgos de fallos en el lanzamiento, afectando solamente a una parte de la misión en lugar de afectar a la misión entera. Por último, es posible implementar múltiples lanzamientos con un coste sustancialmente bajo debido a la

economía de escala. Conforme se incrementa la altitud orbital, se incrementan los costes de la situación del satélite en órbita. La masa disponible en la órbita operativa final será reducida, debido al combustible consumido en situar al satélite en dicha órbita. El combustible empleado depende exponencialmente de los incrementos de velocidad necesarios

Conforme se incrementa la altitud orbital, se incrementan los costes de la situación del satélite en órbita.

para cada cambio orbital, el impulso específico del combustible, y de un conjunto de detalles menores referidos al diseño del vehículo y a

la misión de lanzamiento. Hay que notar que típicamente solo una pequeña fracción de la masa se transfiere a la órbita operativa. Por tanto, la penalización en coste conforme se incrementa la altitud de la órbita es sustancial, aunque se requiera menor número de satélites, ya que serán más grandes y con mayor potencia.

Por otro lado, la potencia a transmitir y el tamaño de la antena son función de la altitud, y ambos tienen un efecto inmediato sobre la masa del satélite, a través del tamaño de los paneles solares para proporcionar la potencia, de la masa del transmisor, de la masa de la antena, y del control necesario para mantenerla apuntada. Es evidente que la estructura del satélite se incrementa con el incremento de la masa de estos subsistemas [Ana-95] [Pri-93].

EXPECTATIVAS COMERCIALES

[Ana-95], [UIT-95], [Zaf-94]

Desde el punto de vista comercial, los servicios móviles por satélite (telefonía, mensajería, buscapersonas, transmisión de datos e imágenes, fax, etc.) son extremadamente atractivos, llegando a suponer un sector significativo dentro del mercado, al menos donde la cobertura de los actuales sistemas celulares es pobre, aumentando de este modo la cobertura celular. Este mercado está creciendo enormemente. Las estimaciones de 1982 indicaban una presencia de no más de 900.000 usuarios en EE.UU. hacia el año 2000. Sin embargo, los teléfonos celulares en todo el mundo eran 7.800.000 en Abril de 1990, llegando a más de 15.800.000 en Mayo de 1992, y más de 25.000.000 en Julio de 1993. Sólo en Europa había 6.000.000 de usuarios en Febrero de 1993, y casi 7.500.000 a

finales de ese año, a pesar de que cada nación poseía un estándar (analógico) individual, con lo que, en general, no era posible un uso a

nivel europeo. Este hecho cambia con la introducción del sistema GSM, que contaba con 1.100.000 usuarios a finales de 1993, y que tiene como expectativas alcanzar más de 8.000.000 en 1996 y 20.000.000 en el año 2000 (aproximadamente entre el 2% y el 5% de la población respectivamente). Se estima que Europa representará el 25-35% del mercado total, que los paí-

ses de la NAFTA (EE.UU., Canadá y Méjico) representarán el 50%, y que el restante 15-25% se concentrará en el área del Pacífico y en parte de Latinoamérica.

Así, más de 100.000.000 de personas en el mundo harán uso de servicios de comunicaciones personales (Personal Communications Services -PCS-) en el año 2000, de las cuales una porción razonable podría hacer uso de las comunicaciones por satélite, considerando su cobertura global y el uso de terminales portátiles. Además podrían contar con un bajo coste con terminal de usuario, con interconectividad con la red pública telefónica conmutada y con otras redes celulares, y con la capacidad de conexiones directas usuario-usuario.

Se piensa, por tanto, que para el año 2000 habrá entre 3 y 5 millones de usuarios de comunicaciones por satélite, mientras que se situará entre 12 y 15 millones en el año 2008. En el año 2005, las comunicaciones por satélite representarán un negocio de unos 50.000 millones de dólares (alrededor de 6.5 billones de pesetas). Participarán en este negocio los fabricantes de satélites y lanzadores, las agencias encargadas de su seguimiento, las aseguradoras de equipos, las compañías de material de telecomunicaciones, etc. Sólo en la Unión

Europea generará un mercado de 39.000 millones de dólares (507.000 millones de pesetas) en el año 2010.

Por último, resta señalar que la UIT calcula que el coste de llamada a través de una red de comunicaciones personales vía satélite puede estar en los 2-3 dólares (260-390 pesetas) por minuto, siempre y cuando no tenga que pasar por una red fija y se establezca entre dos abonados al sistema de satélites.

BIBLIOGRAFIA

[Ana-95] F. ANANASSO, F. DELLI PRISCOLI. "The role of satellites in personal communications services". IEEE J. on Sel. Areas in Comm., vol. 13, No. 2, pp. 180-195, Febrero 1995.

[Bec-94] A. BECERRA, F.J. GAVILÁN, I. BERBERANA. "Integración de satélites en la red UMTS: proyecto SAINT". IV Jornadas Telecom I+D, Madrid, 1994.

[Del-95] E. DEL RE, R. FANTACCI, G. GIAMBENE. "Efficient dynamic channel allocation techniques with handover queuing for mobile satellite networks". IEEE J. on Sel. Areas in Comm., vol. 13, No. 2, pp. 397-404, Febrero 1995.

[Pri-93] W. L. PRITCHARD. "Geostationary versus non geostationary orbits". Space Communications, No. 11, pp. 205-215, 1993

[Rus-93] R.J. RUSCH. "Odyssey, an optimized personal communications satellite system". Space Communications, No. 11, pp. 275-286, 1993.

[UIT-95] "El crecimiento de las telecomunicaciones mundiales se acelera en 1994". UIT/95-24, 2 de Octubre de 1995.

[Wu-94] W.W. WU, E.F. MILLER, W.L. PRITCHARD, R.L. PICKHOLTZ. "Mobile satellite communications". Proc. of IEEE, vol. 82, No. 9, pp. 1431-1448, Sept. 1994.

[Zaf-94] J.M. ZAFRA. "Las comunicaciones móviles globales pugnan con el cable por el mercado multimedia". Diario El País, suplemento Negocios, pp. 3-4, 6/XI/94.