

Más capacidad con antenas adaptativas en las redes celulares

Sören Andersson, Bengt Carlqvist, Bo Hagerman y Robert Lagerholm

La comunicación celular sin hilos continúa creciendo sin cesar. En muchas zonas del mundo, la demanda de comunicación móvil es tan grande que los operadores se ven tentados a incrementar la capacidad de sus redes a niveles superiores a los que puede manejar la tecnología actual. A medida que se vayan difundiendo las aplicaciones de datos por las redes celulares, la exigencia de incrementar la capacidad aún se intensificará más. La capacidad en las bandas de 800 y 900 MHz, cuya anchura es limitada, ya se está convirtiendo en un factor obstaculizador. En las bandas de 1800 y 1900 MHz el ancho de banda es mayor pero las pérdidas de propagación son también superiores. Por tanto, en estas bandas de frecuencia, la cobertura es un importante aspecto a tener en cuenta.

Hay varias maneras de incrementar la capacidad en una red celular, entre ellas el salto de frecuencia, el control de potencia, el uso de microceldas, la implantación de códecs a medio régimen, y la introducción de antenas adaptativas en la estación base. Las antenas adaptativas han sido objeto de un gran interés durante los últimos años, y varios fabricantes y operadores han centrado en ellas la labor de investigación y los ensayos prácticos. Las principales conclusiones obtenidas a través de los estudios realizados por Ericsson indican que dichas antenas permiten reutilizar más densamente las frecuencias en una red celular; es decir, incrementan su capacidad. Las antenas adaptativas también pueden mejorar la calidad del habla. Además, su introducción paso a paso en las redes existentes parece ser práctica y económicamente factible.

Los autores describen los resultados de la investigación realizada por Ericsson en cuanto a antenas adaptativas y técnicas de salto de frecuencia (en redes GSM) y la implementación de antenas adaptativas en redes existentes.

Antenas adaptativas, ¿qué es esto?

A diferencia de las antenas celulares convencionales, que radian energía por toda la celda, las adaptativas limitan la energía radiada a un haz estrecho (figura 1). Las ventajas de dirigir la energía difundida por un haz estrecho son un incremento en la ganancia de señal y mayor gama del camino de la misma, así como menor reflexión de ruta múltiple, más eficiencia espectral y mayor capacidad en la red. También comporta algunas desventajas, siendo la principal de ellas la necesidad de localizar continuamente la posición angular de los terminales móviles en la celda.

En una red celular convencional, una sola antena de estación base define los parámetros de la celda y es el foco de toda la comunicación radiada. Esto abarca tanto la transmisión y recepción del tráfico de voz y datos que genera beneficios, como la difusión de los pormenores relacionados con el sistema precisos para operar la información de red que todo terminal móvil en uso dentro de la celda debe recibir continuamente y de forma simultánea. Entre la información relacionada con el sistema hay la identidad de celda, las frecuencias en uso dentro de

la misma, secuencias de salto de frecuencia, niveles de potencia máxima, etc.

Un diseño de antena adaptativa que incrementa la capacidad del sistema precisa que la antena de estación base convencional sea reemplazada por uno o más equipos de antena adaptativa. En lugar de inundar la celda con información radiada de un solo origen, las antenas adaptativas llenan la celda con varios haces estrechos de señales (típicamente cuatro u ocho). Una consecuencia inmediata de este nuevo enfoque es que debe aplicarse una estrategia de enlace descendente distinta; es decir, deben usarse datos más complejos para la transmisión desde la estación base a los terminales móviles en la celda. Esto se debe a que el sistema precisa saber:

- Qué dirección de haz llega a qué terminales móviles; y
- Cómo puede enviar simultáneamente información de sistema a cada terminal móvil.

Estos requisitos se satisfacen con dos estrategias principales de enlace descendente. La primera precisa que se dirija un haz al terminal móvil; la segunda que se seleccione un haz de un juego de haces fijos (figura 2). En cada caso, el haz de enlace descendente se basa en la estimación de la dirección de llegada (DOA) del enlace ascendente del terminal móvil. Por tanto, en la solución de antena adaptativa son elementos fundamentales los algoritmos que determinan el haz o ruta de haz del enlace descendente.

Para dirigir la energía radiada de una antena en forma de haz estrecho pueden emplearse varias arquitecturas de antena diferentes (con distintos niveles de complejidad). Por ejemplo, el frente de fase en los elementos de antena que corresponden a un haz puede generarse en la banda de base usando formación de haz digital o puede generarse en radiofrecuencia usando una red pasiva o de desviadores de fase. Una ventaja importante de usar un haz de una red pasiva es que no precisa coherencia de fase entre el transmisor de radio y el formador de haz.

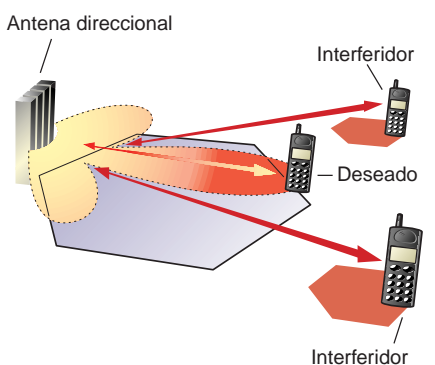
Existen numerosas arquitecturas de sistema para antenas adaptativas, incluyendo sistemas de antena separados para el enlace ascendente y descendente. Ericsson es partidaria de tres enfoques, que cada uno de ellos parece ofrecer la relación apropiada entre prestaciones a nivel de sistema, y complejidad y costo de implementación.

- Arquitectura de haz múltiple o conmutado con una red de formación de haz pasiva;
- Haces conmutados intercalados en el enlace descendente; y
- Haces plenamente gobernables.

La solución de formación de haz pasiva es la menos compleja. Debido a que la dirección de llegada puede identificar el mejor haz de enlace ascendente, no se precisa coherencia de fase en el enlace ascendente o descendente.

La segunda solución, que precisa haces de enlace descendente adicionales, forma haces de distinta manera en el enlace ascendente y descen-

Figura 1
Instalación de antena direccional mostrando un sistema de antena adaptativa.



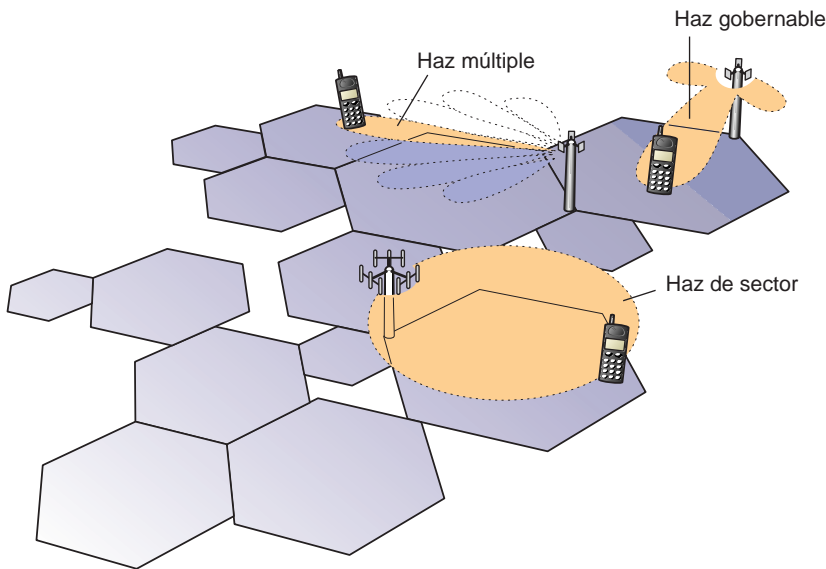


Figura 2
Antenas de haz gobernable y haz múltiple conmutado en red celular.

dente. En el primero, el número de haces está limitado por el número de ramales de receptor. La dirección de llegada se calcula a partir de la información del enlace ascendente. Dicha información (la DOA) luego se emplea para seleccionar un haz de un conjunto mayor de haces de enlace descendente. En este último enlace, hay presentes varias redes de formación de haz paralelas. Después de formado el haz, se combinan las señales a los elementos de antena. En comparación con el enfoque de haz gobernable, este método reduce los requisitos de coherencia de fase en el enlace descendente. Una estimación precisa de la dirección de llegada exige ramales de receptor coherentes y calibración en el enlace ascendente.

La solución completamente gobernable exige un transmisor individual para cada elemento de antena y coherencia de los ramales de los lados de recepción y transmisión. La ventaja principal de esta solución es que la formación de haz en el enlace descendente no se limita a un conjunto de haces o formas de haz fijas. Además, esta solución tiene posibilidades de reducir la interferencia en el enlace descendente mediante puesta a cero (nulling); es decir, formando el haz con ganancia reducida hacia terminales móviles con canal interferidas.

El programa de antenas adaptivas de Ericsson ha abarcado amplios ensayos prácticos en GSM y TDMA (IS-136) en cooperación con dos importantes operadores de redes, Mannesmann Mobilfunk y AT&T Wireless Services. Un objetivo de los ensayos fue determinar el grado de adaptividad de las antenas en diferentes entornos de propagación: urbanos, suburbanos, zonas montañosas y rurales. Una importante comprobación a nivel de sistema que han proporcionado estos ensayos es que el uso de antenas adaptivas incrementa la calidad de la red debido a que se reducen las interferencias. Concretamente, los haces estrechos reducen las interferencias recibidas en el enlace ascendente y la distribución de interferencias en el descendente (figuras 3 y 4).

GSM y TDMA

Tal como podía esperarse, las diferencias en las normas GSM y TDMA repercuten en la aplicación de la tecnología de las antenas adaptivas. Por ejemplo, la TDMA actualmente no sustenta la función de salto de frecuencia. De modo similar, la especificación de TDMA exige que la potencia de salida de la estación en cada frecuencia portadora se mantenga a un nivel constante mientras

CUADRO A, ACRONIMOS

BCCH	Broadcast common control channel
C/I	Signal-to-interference ratio
DOA	Direction of arrival
GSM	Global system for mobile communication
TDMA	Time-division multiple access

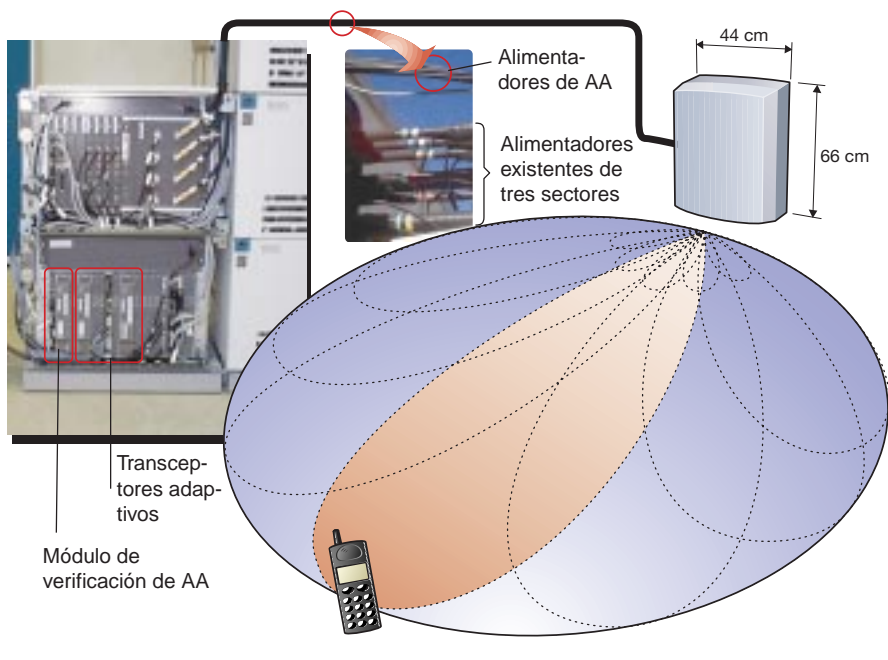


Figura 3
Equipo de ensayos prácticos usado en una red TDMA en servicio.

La solución más directa es usar la ganancia de C/I para obtener una reutilización más densa de las frecuencias. En redes GSM, este enfoque puede reducir la reutilización media de nueve a cuatro y, típicamente, incrementa la capacidad del 100 al 120% para una ganancia de C/I de 5 a 6 dB. Además, los ensayos prácticos en condiciones comerciales ordinarias en redes existentes han mostrado que la reutilización de frecuencias en las redes TDMA, potencialmente puede reducirse de 21 a 12 o incluso a 9 cuando se usan antenas adaptivas junto con control de potencia del enlace descendente.

Los regímenes de carga fraccionaria tienen una reutilización de frecuencias aún más densa; del orden de una a tres veces. La calidad de la red se mantiene cuando sólo una fracción de las frecuencias se usa simultáneamente, de aquí el término carga fraccionaria. Esta técnica usualmente se aplica en combinación con funciones de red sin hilos, tales como salto de frecuencia, control de potencia y transmisión discontinua. El incremento de capacidad resultante de la carga fraccionaria depende de una amplia gama de variables, tal como reutilización de frecuencia, ganancia de C/I, transmisión discontinua y control de potencia. No obstante, los ensayos prácticos y simulaciones a nivel de sistema han mostrado que la carga fraccionaria tiene potencial para incrementar la capacidad en redes GSM en nada menos que el 280% en condiciones ordinarias.

La combinación de antenas adaptivas y salto de frecuencia en redes GSM ofrece las máximas posibilidades de incrementar la capacidad. Además, los emplazamientos de celda existentes pueden usarse para proporcionar incrementos de capacidad por una gran zona.

La ganancia de C/I y la carga fraccionaria no tienen el mismo efecto en las características de interferencia del sistema. La ganancia de C/I acerca los interferidores, mientras que cuando se aplica carga fraccionaria permanecen en la misma posición.

Una ventaja del salto de frecuencia es que la diversidad de frecuencias equilibra la calidad entre los usuarios lentos y los que se encuentran en rápido movimiento. El salto de frecuencia también introduce diversidad de interferencias, lo cual mejora las prestaciones. Los interferidores potentes los comparten usuarios diferentes; las interferencias variables en el tiempo incrementan la eficiencia de la intercalación y codificación, lo cual mejora las prestaciones del receptor.

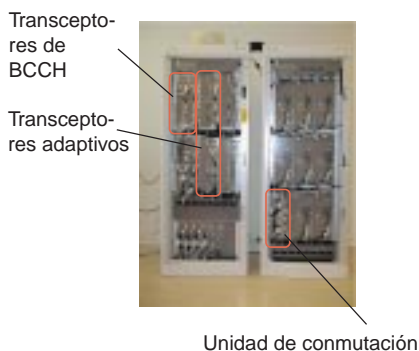
Aun cuando sean de implementación compleja, las redes de carga fraccionaria que usan técnicas de salto de frecuencia son eficientes. Esta afirmación la respaldan las simulaciones a nivel de sistema en las que cada estación base con antena adaptiva se equipó con ocho haces fijos. Los resultados mostraron que la diversi-

tura la trama, una vez está ocupado uno de cada tres intervalos de tiempo disponibles. Sin embargo, se ha hecho una propuesta de cambiar la especificación para permitir la formación de haces y el control de potencia individual de cada intervalo de tiempo. La actual especificación de TDMA impide introducir la formación de haz de enlace descendente y la conmutación de haz individual para cada intervalo de tiempo. No obstante es posible formar haces en el enlace descendente sobre una base de portadora. Con una estrategia de formación de haz basada en portadora, pueden incrementarse las prestaciones implantando el empaquetado de haz, según el cual el sistema asigna intervalos en la misma frecuencia portadora a terminales móviles que compartan una línea de dirección similar de la estación base. Las simulaciones indican que esta técnica incrementa la capacidad de las redes TDMA del 75 al 130% aproximadamente, dependiendo de los parámetros del sistema.

Con redes celulares las antenas adaptivas ofrecen dos formas de incrementar la capacidad de la red:

- Usando la ganancia de la relación señal de portadora-interferencias (C/I) para implementar una reutilización más densa de las frecuencias;
- y
- Usando carga fraccionaria.

Figura 4
Equipo de ensayos prácticos usado en una red GSM en servicio.



dad de interferencias se obtiene siempre, independientemente de la carga de tráfico y técnicas de reducción de interferencias, tales como transmisión discontinua y control de potencia. Este no es el caso en las redes con antenas de sector u omnidireccionales clásicas. Las simulaciones mostraron asimismo que las redes GSM que combinan equipos de antena adaptivos y salto de frecuencia son eficientes espectralmente, pueden tener una reutilización de frecuencias densa, y mejoran considerablemente las prestaciones de la localización móvil.

Implementación en las redes existentes

El costo de implementar una solución de antena adaptiva depende de la complejidad de la solución, la facilidad de implementación deseada, del nivel de calidad de red perseguido, y del incremento de capacidad deseado. Ensayos de simulación empleando el tráfico de datos y las celdas actuales realizados por Mannesmann Mobilfunk, sugieren que es factible una migración rentable y realizada paso a paso de una solución de antena convencional a otra basada en antenas adaptivas. Los ensayos de simulación, que se basaron en redes de radio existentes, mostraron también que los operadores podían incrementar la calidad general de la red con sólo instalar unas pocas estaciones base con antenas adaptivas (figura 5).

Se prevé que la mayoría de los operadores abordarán la migración siguiendo un procedimiento de paso a paso, puesto que obrando así el cambio es mucho más manejable y efectivo en cuanto a costos. La mayor parte de las redes celulares actuales se componen de una mezcla de macroceldas grandes y microceldas pequeñas. Los ensayos prácticos de Ericsson en redes comerciales se basaron en implementar antenas adaptivas en una macrocelda. Se identificaron tres alternativas:

- Incremento de capacidad; la reducción de las interferencias significa reutilizar más densamente las frecuencias e incrementar los transceptores;
- Ahorro de espectro de frecuencias; en lugar de aumentar el número de transceptores, el tráfico existente puede atenderse con menos frecuencias, y
- Reducción de interferencias; una reducción en las perturbaciones de macrocelda a microcelda permite incrementar la capacidad reutilizando frecuencias en la capa de microcelda.

El estudio tomó en consideración las relaciones entre las celdas, el impacto que produciría en ellas la implantación de un equipo de antena adaptivo, y la adición de frecuencias en la celda objetivo y celdas circundantes. También se investigaron las prestaciones del enlace ascendente, así como los efectos de introducir va-

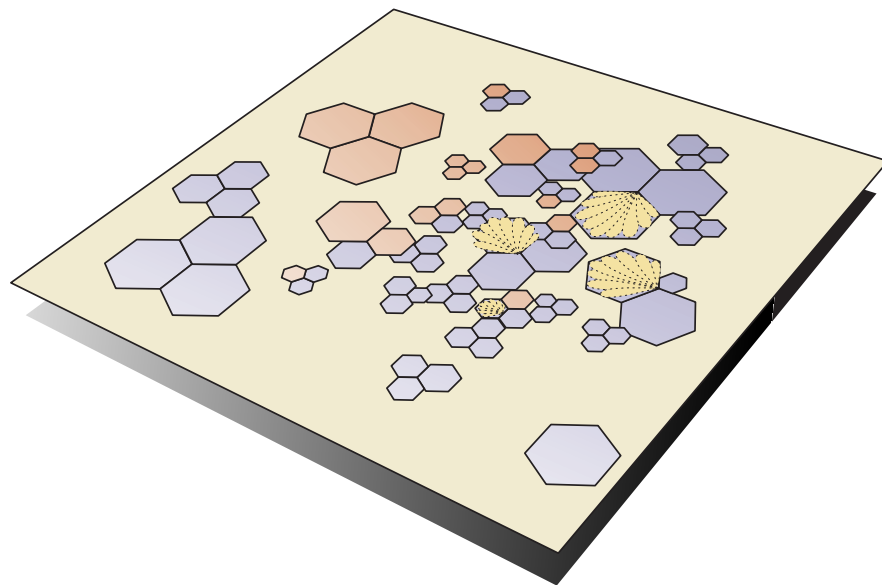


Figura 5
Estrategia de migración: se instalan antenas adaptivas en algunas celdas objetivo. Así se reduce la interferencia en varias celdas vecinas y se incrementa sustancialmente la capacidad.

rias antenas adaptivas en una red. En cada caso, las simulaciones mostraron que podía aumentarse la capacidad y calidad, y que la implantación de sólo unas pocas estaciones base adaptivas podía reducir significativamente las interferencias.

Conclusión

Ericsson ha desarrollado tecnología a nivel de sistema que usa equipos de antena adaptivos para satisfacer las demandas de aumento de capacidad en las redes de comunicación celular.

En redes de GSM, la combinación de antenas adaptivas y técnicas de salto de frecuencia es una solución muy atractiva que tiene posibilidades de incrementar la capacidad en casi el 300% en los puntos más problemáticos.

En las redes TDMA, la combinación de antenas adaptivas y control de potencia del enlace descendente tiene potencial para reducir el diagrama de reutilización de frecuencias de 7/21 a 3/9.

Implantando solamente unas pocas estaciones base con antenas adaptivas las interferencias se pueden reducir significativamente.

Las antenas adaptivas constituyen una solución atractiva que puede implementarse en un proceso práctico y rentable, aplicado paso a paso.