

ESTUDIO DE ANTENAS INTELIGENTES Y PRINCIPALES APLICACIONES EN LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL

Ortega C. Patricio, Ing.
Enríquez P. Oscar, Ing.
Morales A. Juan, Ing.

Escuela Politécnica Nacional

Resumen

En la actualidad las telecomunicaciones se encuentran en su mejor desarrollo, nuevos sistemas de comunicaciones aparecen, exponiendo alternativas para mejorar la funcionalidad de los sistemas y la prestación de servicios.

El propósito de este estudio es dar una apreciación global de la tecnología de la antena inteligente y las diferentes maneras en que se prevé podrán influir en los sistemas de comunicaciones móviles.

Un sistema de antena inteligente combina múltiples elementos de antenas con la capacidad de procesamiento de la señal, lo que mejora su radiación y/o su lóbulo de radiación en respuesta al ambiente de operación actual al ambiente señalado. Se considera que las antenas inteligentes son la última innovación tecnológica que tiene el potencial para aumentar la funcionalidad de los sistemas de comunicaciones inalámbricas. Las ventajas para los sistemas de comunicaciones inalámbricos: aumento de cobertura, aumento de la calidad de la comunicación, aumento de la capacidad, bajo consumo de potencia, localización de los usuarios y reducción de la interferencia a otros usuarios.

Principios fundamentales de antenas

Una antena es un elemento metálico, constituida de un material conductor muy liviano (generalmente de aluminio), capaz de irradiar ondas electromagnéticas – energía – en varias direcciones del espacio.

enriquezpolit@yahoo.com
juanitomorales2004@yahoo.com

Esto hace que las antenas funcionen como transductores muy eficaces en los sistemas de comunicación, puesto que transforman las señales eléctricas (potencia de radio frecuencia – RF–) en ondas electromagnéticas o en su defecto interceptan éstas últimas y las convierte en energía eléctrica.

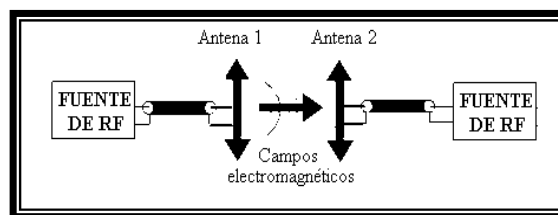


Figura 1
Energía de RF transformada en ondas electromagnéticas.

Cuando se habla de antenas se hace referencia por igual a antenas tanto de emisión como de recepción. La antena tiene las mismas características para ambas tareas. Por lo tanto, la misma precisión que tiene para enviar en una determinada dirección la tiene para recibir en esa dirección.

De todos los elementos de una estación de comunicaciones, la antena es la que posee el comportamiento menos predecible, causado por la fuerte interacción que tiene con todo lo que le rodea. Debido a esto, la necesidad de aprovechar en toda su capacidad la señal que emiten, es importante el estudio de los principios básicos de las antenas que darán una idea general de las cualidades que deben tener las mismas: polarización, directividad, ganancia, eficiencia, etc., sin dejar de mencionar que las antenas deben tener seguridades mecánicas en su uso, tamaño y peso adecuados, ser sencillas y versátiles; de tal modo que puedan orientar a las ondas radiadas de la mejor manera.

Radiación

Al circular una corriente por un elemento metálico se genera un campo magnético que circula entorno al conductor y en el plano perpendicular a éste (figura 2). Si la corriente circulante es variable, el campo magnético producido será también variable; es decir, si la corriente varía con la frecuencia, el campo cambiará de la misma manera y en función también de la frecuencia. Cuando la frecuencia es baja toda la energía en el conductor – antena – se disipa en forma de calor, a medida que aumenta la frecuencia, una porción de la energía producida en el conductor desaparece. Esta energía perdida del entorno de la antena fluye a través del espacio originando el fenómeno conocido como radiación. Para que tal fenómeno pueda ocurrir, la corriente que circula por el conductor debe ser variable en función del tiempo y de alta frecuencia, de tal modo que la producción de ondas sea inminente.

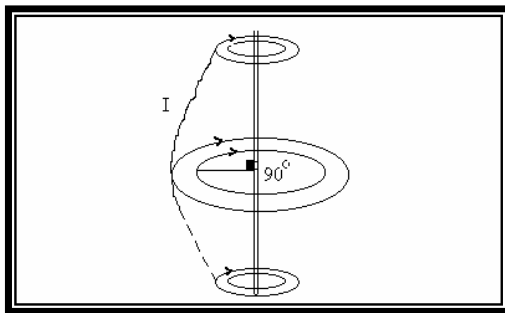


Figura 2

Campos magnéticos creados por la corriente que circula en un elemento metálico.

Antenas Elementales

En términos de campos eléctricos, magnéticos y de radiación, las antenas elementales son una base de información muy importante para el estudio de muchos otros tipos de antenas. Entre éstas, el radiador isotrópico es la más elemental, considerado como un patrón de referencia con relación a las demás antenas; es el punto de partida no sólo para el estudio de las antenas elementales, sino también para el resto de antenas existentes.

Radiador Isotrópico

El radiador isotrópico es una antena ficticia cuya configuración o patrón de radiación es perfectamente omnidireccional, esto es, capaz de

irradiar energía – ondas electromagnéticas – con la misma intensidad en todas las direcciones del espacio.

Su diagrama de radiación en el plano – sea éste el horizontal o el vertical – es un círculo y en el espacio es una esfera de radio r , cuyo volumen muestra la forma en que se propaga la energía.

Dipolo Elemental

Una antena muy sencilla e importante dentro de la clasificación de las antenas elementales, es el denominado dipolo elemental o dipolo de Hertz. Es una antena de longitud infinitesimal – pero de mayor tamaño que el radiador isotrópico – sobre la cual se distribuye una corriente I_0 , que se la puede considerar uniforme.

Arreglos de Antenas

Los arreglos de antenas son llamados también antenas compuestas, son agrupaciones de varias antenas unidas bajo ciertas condiciones, que permiten modificar el diagrama de radiación, mejorando la directividad y aumentando la ganancia.

Si las antenas que conforman el arreglo de manera que produzcan la misma intensidad de radiación en un punto determinado y defasamiento nulo entre ellas dan como resultado la estructura conocida con el nombre de arreglo “broadside”.

Si las corrientes dan igual amplitud de campo, y sus fases diferentes pero con saltos progresivos, estamos en presencia de un arreglo denominado “endfire”.

Antenas de Telefonía MÓVIL

Antena “down tilt”

La antena “down tilt” sirve como método de enfoque de la radiación, con el cual se puede dirigir hacia abajo la radiación que fluye de la antena, con el objetivo de reducir o concentrar la radiación excesiva en el área de cobertura que está siendo abarcada por la misma, buscando optimizar el “handoff” (es el proceso de pasar una llamada de un canal de voz en una celda a un nuevo canal en otra celda o en la misma, a medida que el usuario se mueve a través de la red), corrigiendo problemas de interferencia con celdas pequeñas por la consecuencia del aumento de capacidad de tráfico.

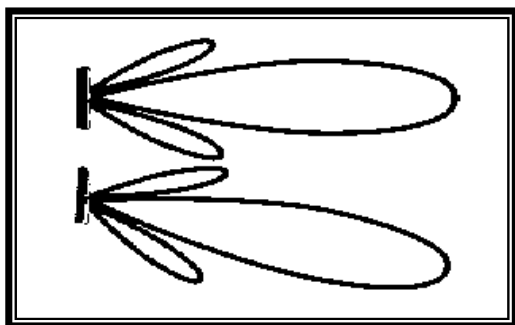


Figura 3

Diagrama de radiación de una antena Down tilt.

El método más simple de efectuar el “down tilt” es el “down tilt” mecánico. Esto es inclinar la antena hacia abajo, utilizando unos ejes de la antena que permiten este tipo de ajuste.

Antenas Adaptativas

El término de antena adaptativa se les da a los arreglos que son capaces de ajustar su diagrama de forma prefijada, dependiendo de las fases y de las amplitudes recibidas desde fuentes externas.

El ejemplo más típico de una antena adaptativa es la denominada SLC (“Sidelobe Canceller Antenna”), que ajusta el diagrama de forma que aparece un nulo en la dirección de la interferencia. Una antena como la indicada consiste de un elemento de elevada ganancia y varias antenas auxiliares con un diagrama prácticamente omnidireccional. El número de antenas auxiliares determina el máximo número de interferencias que se pueden cancelar.

Otro ejemplo es la denominada SLB (“Sidelobe Blanking Antenna”). En este caso se compara la señal recibida a través de la antena principal y la antena auxiliar. Se desconecta el receptor cuando la señal que llega es superior en el canal auxiliar.

Los algoritmos matemáticos relacionados con las antenas adaptativas son relativamente complejos. La implementación práctica se puede realizar en forma analógica o digital, últimamente, es muy utilizada la tecnología digital.

Las antenas adaptativas pretenden mejorar las características de eficiencia y funcionalidad, teniendo una serie de prestaciones avanzadas, entre las que se incluye:

- Extender/contrair el área de cobertura en una determinada dirección (ajuste dinámico).
- Mejorar la capacidad de manejo de congestión.
- Minimizar la interferencia co-canal.
- Seguimiento de estaciones móviles.
- Disminuir el desvanecimiento multitrayecto.

Introducción a las Antenas Inteligentes

Las antenas inteligentes son aquellas que poseen la capacidad de ajustar su diagrama de radiación de forma predefinida. El sistema funciona de tal forma que cuando el usuario se desplaza, se modifica la dirección del lóbulo para que se mueva con él.

La tecnología de antenas adaptativas en comunicaciones móviles ha alcanzado enorme interés mundial en los últimos años, debido a la introducción de este tipo de antenas en el mercado de las comunicaciones ha posibilitado un gran aumento en capacidad. Otras ventajas incluyen mayor ancho de banda y el potencial para introducir nuevos servicios.

Los mayores inconvenientes y factores del costo radican en el incremento de complejidad de transceptores y de la administración de recursos en las radio bases.

Hoy en día, una de las técnicas más prometedoras para aumentar la capacidad en sistemas celulares, debido al aumento de la demanda, son las antenas inteligentes; y aunque es factible también usar estas técnicas en, por ejemplo, los sistemas satelitales y las WLAN (redes de área local inalámbricas), la discusión aquí se limita a los sistemas celulares en el rango de frecuencia 1-2 GHz. En estas frecuencias hay la dificultad de introducir antenas inteligentes en las estaciones móviles debido al espacio limitado que se tienen en las mismas y al tamaño que conllevarán las antenas en términos de longitud de onda.

La razón fundamental para usar antenas inteligentes en una red de telefonía móvil es la de incrementar su capacidad, esto es, la posibilidad de manejar más usuarios por estación base. Dicha capacidad depende, principalmente, del

nivel de interferencia comparado con la potencia recibida (SINR), ya que la principal fuente de ruido en estos sistemas es la interferencia de otros usuarios.

Las antenas inteligentes tienen las siguientes ventajas: un aumento de los ingresos, un incremento en la calidad de las comunicaciones, un aumento de la capacidad del sistema, bajo consumo de baterías en los terminales móviles, localización geográfica del usuario, y reducción de la interferencia a otros usuarios.

Incluso los sistemas de radar pueden optimizar el recurso espacio-tiempo con la utilización de las antenas inteligentes.

Una antena inteligente es aquella que, en vez de disponer de un diagrama de radiación fijo, es capaz de generar o seleccionar haces muy directivos enfocados al usuario deseado, e incluso adaptarse a las condiciones radioeléctricas en cada momento.

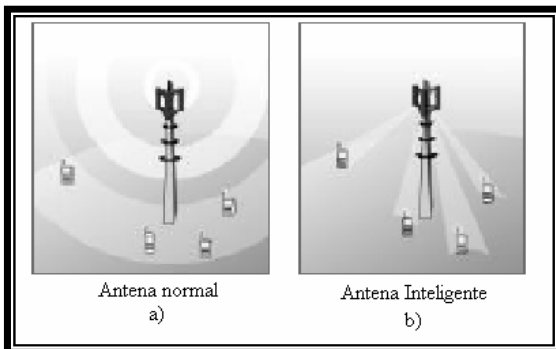


Figura 4
Formas de radiación de una antena inteligente.

Fundamentos Básicos

La teoría detrás de las antenas inteligentes no es nueva. Esta técnica fue usada durante muchos años en la guerra electrónica (EWF) para contrarrestar el espionaje electrónico. En los sistemas de radares militares se usaron ya técnicas similares durante la Segunda Guerra Mundial.

Se presenta una incógnita, muy interesante: ¿Porqué el repentino interés de la tecnología de las antenas inteligentes en años recientes, y no hace cinco o diez años? La respuesta muy probable será el hecho de que para la mayoría

de los operadores el aumento de la capacidad y la eficacia del espectro, no ha sido una preocupación. También, que con el incremento del número de usuarios, las radio bases requerirán de la localización de los mismos, y por ende el costo computacional será mayor o que sólo en los años recientes, se han tenido disponibles procesadores con suficiente capacidad. Sin embargo, la verdadera razón está en que este tipo de tecnología presenta un incremento importante de la capacidad de los sistemas, además de otras variadas ventajas en las redes celulares que incluyen un aumento en el ancho de banda, un nivel más alto de seguridad, y la posibilidad para nuevos servicios.

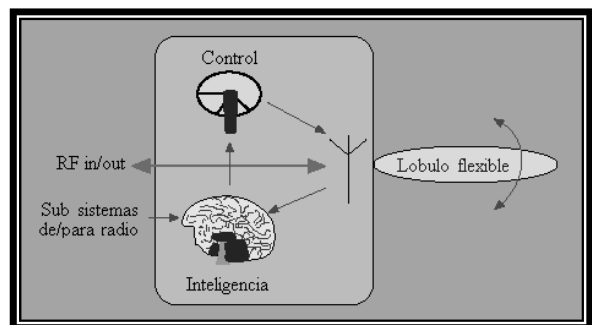


Figura 5
Ilustración del concepto de una antena inteligente.

Por otro lado, no hay que olvidar que hoy en día las antenas de la estación base tienen un comportamiento omnidireccional o sectorizado. Esto puede considerarse como un "derroche" de potencia debido a que la energía que sale de la estación base, radiará más en otras direcciones que hacia el usuario. Además, se experimentará, también, la potencia radiada por otros usuarios de otras direcciones como interferencia. La idea de las antenas inteligentes es usar antena en las estaciones base con lóbulos que no sean fijos, sino mas bien variables, pero adaptados a las condiciones de la telefonía celular actual.

Razones del Uso de Antenas Inteligentes

Como ya se dijo, una de las razones fundamentales para el uso de las antenas inteligentes, es el rápido crecimiento recientemente experimentado en la demanda de comunicaciones móviles. El hecho de que un sistema de antenas inteligentes en la estación base, permite incrementar al mismo tiempo tanto la capacidad del sistema como la calidad de la

comunicación, constituyen una razón importante para el uso de las mismas.

Otra gran razón es que este tipo de tecnología se presenta muy beneficiosa para el medio ambiente; puesto que las antenas inteligentes en vez de radiar energía en todas las direcciones como las antenas tradicionales, envía la señal directamente a cada usuario y sólo cuando se requiere el servicio, consiguiéndose, pues, un considerable ahorro energético y una disminución de este tipo de contaminación. Si a esto sumamos, que la antena inteligente posibilita un considerable descenso en el número de estaciones base necesarias en una red.

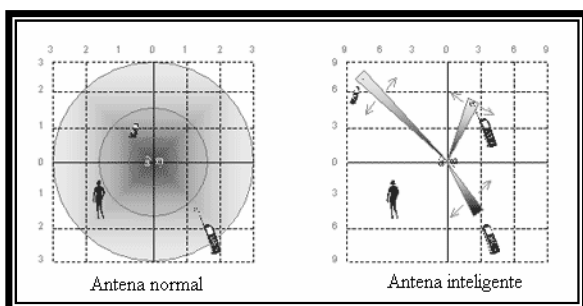


Figura 6

Mejora de la radiación de la energía.

Tradicionalmente, las antenas usadas en las redes de comunicaciones móviles radian la energía en todas las direcciones dentro de su sector, de forma que sólo un pequeño porcentaje de la misma alcanza al usuario deseado. El resto se convierte en interferencias para los otros usuarios, como ya se ha mencionado, lo que en último término limita la capacidad del sistema y degrada la calidad de servicio.

La Inteligencia

La idea de usar múltiples antenas y la innovación en el procesamiento de la señal para tener células más inteligentes ha existido durante muchos años. De hecho, ya se han aplicado variaciones de sistemas de antena inteligente relativamente costosos en sistemas militares de defensa. Hasta años recientes, las barreras del costo han impedido su uso en sistemas comerciales. Con la llegada de poderosos procesadores digitales de señales a bajos costos (DSPs), procesadores de propósito general, así como las técnicas de procesamiento de las señales basadas en software innovadoras, ha

hecho práctico el uso de las antenas inteligentes para los sistemas de comunicaciones celulares.

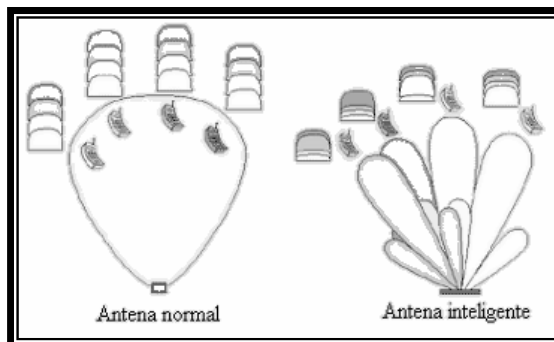


Figura 7

Lóbulos de radiación.

Niveles de Inteligencia

Principalmente, existen dos formas de implementar un sistema de antenas inteligentes: haz conmutado y arreglo adaptativo. Aunque más compleja y con mayor carga computacional, la tecnología de arreglos adaptativos ofrece mejores prestaciones (aumento de la capacidad, incremento de la zona de cobertura, etc.) que la de haces conmutados.

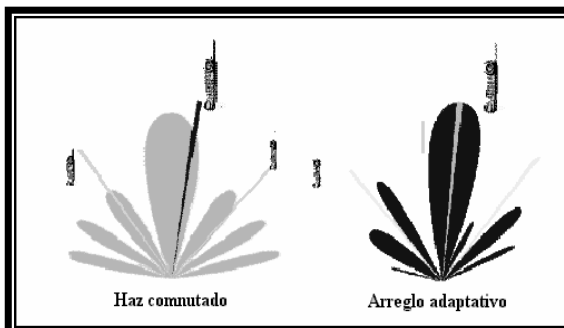


Figura 8

Formas de implementación de las antenas inteligentes.

Haz conmutado

El haz conmutado se lo llama también "Switched Lobe" (cambio de dirección del lóbulo). Es la técnica más simple. El sistema radiante genera varios haces fijos, cada uno de ellos apuntando en una dirección distinta, de modo que entre todos se cubre toda zona deseada (un sector o una celda), la inteligencia del sistema se encarga de seleccionar el haz que mejor servicio da a cada usuario en particular, en función de algún parámetro de control (mayor nivel de potencia recibida), mejor SINR (relación señal a ruido mas

interferencia) y mejor C/I (relación señal a interferencia).

Esta técnica no garantiza que el móvil se encuentre en la dirección de máxima radiación del haz que le da servicio, ni que las señales interferentes se vean notablemente reducidas (ya que siempre es posible que alguna entre por uno de los lóbulos secundarios).

Haz de seguimiento

El haz de seguimiento es conocido también como "arreglo dinámico en fase" y puede verse como una generalización del concepto del haz conmutado.

Esta técnica es más compleja que la anterior, requiere el uso de un arreglo progresivo (arreglo de fase); es decir, un arreglo en el que se pueden controlar electrónicamente las fases con las que se alimentan los distintos elementos, de modo que pueda modificarse a voluntad la dirección que apunta el lóbulo principal de la antena.

A su vez, es necesario utilizar algún algoritmo de detección de la dirección de llegada (DoA) de la señal, de modo que pueda reorientarse dinámicamente el haz para apuntar al usuario deseado.

Haz adaptativo

Este es el máximo nivel de inteligencia con que se podría dotar al sistema. En este caso, se utiliza un algoritmo de DoA para determinar la dirección hacia las fuentes de la interferencia (por ejemplo: otros usuarios). Aquí, la salida de cada elemento del arreglo se pondera con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente, de modo que se conforma el diagrama de radiación para maximizar algún parámetro de la señal, (por ejemplo, la SINR) de este modo el diagrama sintetizado habitualmente presentará un lóbulo principal en la dirección del usuario deseado, lóbulos secundarios en las direcciones de las componentes multitrayecto y mínimos (e incluso nulos) de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.

No siempre será posible eliminar toda la interferencia, ya que el número de fuentes interferentes que se pueden suprimir está directamente relacionado con el número de elementos de la antena.

Esta técnica requiere del uso de complicados algoritmos, tanto para la detección de las señales deseada e interferente como para la optimización de los parámetros que forman el haz. Estos algoritmos suelen conllevar una gran carga computacional, mientras que deben procesarse en tiempo real, por lo que suponen una seria limitación.

Ventajas

El propósito de un sistema de antena inteligente es aumentar la calidad de la señal del sistema de radio base a través de la transmisión más directa de señal de radio mientras se refuerza su capacidad a través del reuso de frecuencia. La implantación de las antenas inteligentes en una red de comunicaciones móviles se limita, en principio, a las estaciones base, debido a que necesariamente se deben emplear sistemas radiantes de mayor tamaño (arreglo de varios elementos).

Esto tiene la ventaja añadida de que pueden introducirse las antenas inteligentes de forma transparente para los usuarios, que no tendrán que cambiar de terminal para beneficiarse de esta tecnología. No obstante, algunos autores si han contemplado la posibilidad de incorporar antenas inteligentes a los terminales móviles.

Las antenas inteligentes han sido pensadas bajo la exigencia de flexibilidad, modularidad y transparencia en su funcionamiento

Inconvenientes

Mayor complejidad de transceptores

En comparación con los sistemas radiantes convencionales, los sistemas de antenas inteligentes son mucho más complejos y difíciles de diseñar. Será imprescindible el uso de potentes procesadores (DSPs) para ejecutar los algoritmos de optimización, conformación de haz y detección del ángulo de llegada.

Tamaño físico

Para que una antena inteligente obtenga una ganancia razonable, es necesario un arreglo de antenas con varios elementos. Típicamente se han sugerido arreglos que consisten de seis a diez elementos, los mismos que deberán estar separados horizontalmente al aire libre para ambientes móviles.

Dirección del Recurso

Las antenas inteligentes son principalmente una tecnología de radio, esto implica también nuevas demandas en funciones de las redes tales como recursos y dirección de movilidad. Cuando se inicia una nueva conexión o la conexión existente es entregada a una nueva estación base, ninguna información angular está disponible en la nueva estación base. Esto puede ser manejado permitiendo a la estación base un barrido continuo a través de la célula con un haz de "búsqueda" que busca a candidatos para una nueva conexión o un "handover".

Planificación de la Radio

Para que las antenas inteligentes puedan tener la ganancia deseada las estaciones base deben poder separar a los usuarios en el dominio angular. Esto significa que algunas de las estrategias actuales para planificación de radio necesariamente deben ser modificadas.

Aplicaciones del SAS (Sistema De Antena Inteligente)

El principal beneficio de los SAS es que mejoran la capacidad del sistema aumentando el número de usuarios por área y optimizando el uso del espectro. Por tanto, será posible implementar más células para cubrir la misma zona e incrementar así la capacidad total del sistema. Este hecho es importante especialmente para ofrecer servicios personalizados en entornos urbanos. En zonas suburbanas, permite extender la cobertura de las células de modo que se reduzca el número de las mismas. Por tanto, en ambos casos, posibilita ofrecer servicios de valor añadido con mayor cobertura a un menor costo.

Por otra parte, puesto que la ganancia y la sensibilidad de una antena inteligente son mejores que la de una antena convencional, la potencia transmitida por el móvil es menor. Esto permite, reducir el tamaño de los terminales y, además, alarga la duración de las baterías.

El control de potencia se hace tanto en el móvil (enlace ascendente) como en la BTS (enlace descendente), de forma que cuando los móviles se encuentran cerca de la estación base, ambas partes transmiten a menor potencia, reduciendo de esta forma la interferencia en la red y, por

tanto, haciendo el sistema más robusto frente al "fading" o desvanecimiento.

Modos de Aplicarla en una Red de Comunicaciones Móviles

Una vez conocidos los tipos de antenas inteligentes, es necesario conocer los modos de introducción de esta tecnología en una red de comunicaciones móviles.

Existen tres modos de aplicarla, en función del grado de aprovechamiento de la selectividad espacial que ofrece:

Receptor de Alta Sensibilidad (HSR)

Esta configuración consiste en utilizar antenas inteligentes solo en el enlace ascendente. De este modo, gracias a la mayor directividad de la antena, se consigue mejorar la sensibilidad global de la cadena de recepción de la estación base.

Rechazo de Interferencia por Filtrado Espacial (SFIR)

En esta configuración se emplean antenas inteligentes tanto en el enlace ascendente como en el descendente, con lo cual se consigue aprovechar la mejora por selectividad espacial en ambas direcciones.

Acceso Múltiple por División Espacial (SDMA)

Esta sería la configuración más compleja, pues consiste en aprovechar al máximo las propiedades de selectividad espacial de las antenas de ambos enlaces para ubicar simultáneamente a varios usuarios en el mismo canal. Es decir, que podría haber varios usuarios utilizando al mismo tiempo la misma frecuencia y el mismo código de scrambling (o el mismo intervalo de tiempo en GSM), estando discriminados únicamente por su posición angular respecto de la estación base.

En este caso el aumento en la capacidad se produce de forma directa, debido a que se ha añadido una nueva dimensión para la gestión del espectro.

Detalles de Construcción de Antenas Inteligentes

En una red celular convencional, una sola antena de estación base define los parámetros de la

celda y es el centro de toda la comunicación radiada. Esto comprende tanto la transmisión y recepción del tráfico de voz y datos que genera beneficios, por ejemplo: la difusión de los parámetros más significativos relacionados con el sistema que permite 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 se encuentran: las frecuencias en uso, salto de frecuencia, la identidad de celda, niveles de potencia máxima, etc.

En lugar de inundar la celda con información radiada de un solo origen, las antenas inteligentes llenan la celda con varios haces estrechos de señales (típicamente cuatro u ocho). Una consecuencia inmediata de esta nueva tecnología y que debe tomarse en cuenta para el diseño de estas antenas, 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 del sistema a cada terminal móvil.

Existen numerosas arquitecturas de sistema para antenas adaptativas, incluyendo sistemas de antena separados para el enlace ascendente y descendente. Entre las principales se mencionan tres enfoques, las cuales parecen ofrecer la relación mas apropiada entre prestaciones del nivel de sistema de antenas inteligentes, 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, demanda haces de enlace descendente adicionales; forma haces de distinta

manera en el enlace ascendente y descendente. 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 (algoritmo de estimación de llegada – DoA –) luego se emplea para seleccionar un haz de un conjunto mayor de haces de enlace descendente.

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 co-canal interferidos.

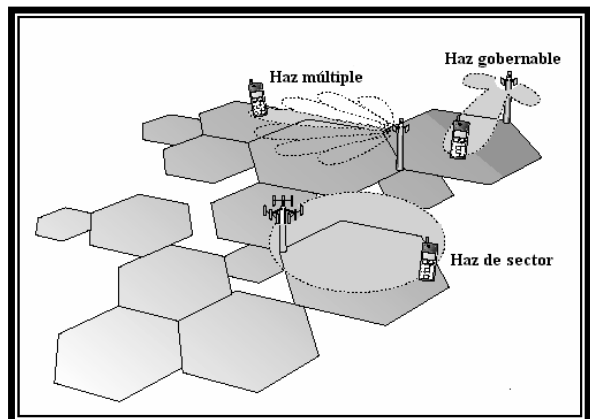


Figura 9
Antena de haz gobernable y haz múltiple conmutado en una red celular.

Proceso en el Enlace Ascendente

En este proceso se asume que la antena inteligente es utilizada sólo en la estación base. Cada terminal radio remoto transmite usando antenas omnidireccionales, mientras que se deja a la estación base separar selectivamente las señales deseadas de la interferencia.

Las señales son combinadas para que a la salida del arreglo se pueda obtener un mejor rendimiento. Un algoritmo adaptable controla los pesos según los objetivos predefinidos; para un sistema de haz conmutado, éstos podrían ser, principalmente, la máxima ganancia; para un

sistema de arreglo adaptativo, otros factores podrían recibir igual consideración.

Proceso en el Enlace Descendente

La tarea de transmitir de una manera selectiva es la principal manera para diferenciar entre el haz conmutado y el sistema de arreglo adaptativo. Los sistemas de haz conmutado se comunican con los usuarios pudiendo cambiar entre los modelos direccionales definidos, las señales fuertes. En comparación, los arreglos adaptativos entienden mejor las señales de RF y transmiten de manera selectiva.

Consideraciones Prácticas

Es conocido que los diagramas de los elementos de un arreglo, en teoría, son todos idénticos y perfectos. En la implementación de un arreglo de antenas, éste no es el caso. Los diferentes elementos de la antena podrían tener diagramas ligeramente diferentes, debido a tolerancias de la producción de lóbulos. Adicionalmente, cuando se montan varios elementos juntos (típicamente a menos de $\lambda/2$) ellos influyen unos con los otros.

Este acoplamiento mutuo cambia los diagramas de los elementos y la impedancia. Esto significa que el funcionamiento del arreglo se degradará un poco.

Un sistema de antena inteligente tiene dos requerimientos principales:

- La necesidad de operar en tiempo real, y
- La exigencia de flexibilidad, modularidad y transparencia en su funcionamiento, de forma que sea posible conectarse a cualquier estación base independientemente de si está o no preparada para trabajar con antenas adaptativas (plug & play).

Teóricamente, los sistemas de antenas inteligentes se componen de cuatro subsistemas o unidades:

Subsistema de antena: Conjunto de elementos radiantes (3 arreglos de 4 antenas de doble polarización $\pm 45^\circ$ con cobertura de 120° cada uno) y duplexores.

Subsistema de RF/IF o unidad de radio: Componentes analógicos asociados al transmisor y receptor (amplificadores, conversores de frecuencia, filtros, amplificadores de potencia y

convertidores A/D y D/A, amplificadores de bajo ruido en recepción, redes combinatoras en transmisión y divisoras en recepción).

Subsistema de algoritmo adaptativo o unidad de procesamiento de la señal: Procesos digitales asociados a la conformación del diagrama de radiación de la antena, tanto en transmisión como en recepción.

Se usan algoritmos adaptativos de conformación del haz de referencia temporal (LMS, RLS)

Subsistema de software radio o unidad de formación del haz: procesos de separación de canales, modulación, demodulación, filtrado, codificación y decodificación asociados a los procesos de transmisión y recepción digitales.

Arquitectura General de un Sistema de Antenas Inteligentes

Una vez determinadas las partes que constituyen un sistema de antena inteligente, así como su funcionalidad y aplicación, se puede presentar una estructura completa del sistema; así como también explicar a breves rasgos como se realiza el procesamiento de las señales en el mismo.

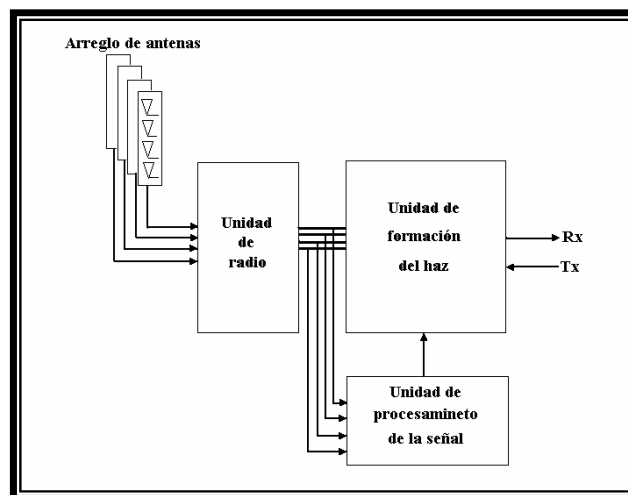


Figura 10

Arquitectura del sistema de antena inteligente

Metodología para la Elección del Algoritmo mas Adecuado

En el diseño del sistema de antenas inteligentes, se toman en cuenta diferentes algoritmos de adaptación, algoritmos de estimación del ángulo de incidencia, y modelos de canal; se debe tener

criterios para escoger los algoritmos. Algunos de ellos son:

Requerimiento computacional, complejidad, costo, etc. Esto, con la posibilidad de encontrar las mejores opciones que más se ajustan con los requerimientos del sistema al cual se le va a dar este tipo de servicio, en un sistema de antenas adaptativas, que ofreciera una mejora en la calidad de los enlaces de acceso a la red celular.

Costos

A la hora de desplegar una red o nuevas estaciones base, existen dos tipos de costos que hay que tomar en cuenta:

- Costos de los componentes de la estación base (BTS) en sí (hardware + software)
- Costos de despliegue: Adquisición de emplazamiento, costos de edificio, torre e instalación, etc.

El primero incluye, a groso modo, el costo de las fuentes de alimentación, las antenas y el cableado correspondiente, los componentes de radiofrecuencia, los amplificadores de potencia, el hardware y software de procesamiento. El costo de los componentes del sistema de antenas inteligentes en sí se estima en alrededor del 70% del costo de los componentes de una estación base convencional, con lo que el costo total de componentes necesario para que funcione dicho sistema es 1.7 veces el costo de componentes de una BTS convencional.

Sin embargo, debido a la mayor cobertura proporcionada por las antenas inteligentes y a la consiguiente reducción del número de celdas necesarias para alcanzar un determinado nivel de servicio, el costo de despliegue de una red basada en antenas inteligentes es mucho menor que el de una red convencional.

No obstante, el costo de implementar una solución de antena adaptativa 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. Las compañías pioneras en esta tecnología sugieren que es factible una migración rentable y realizada paso a paso de una solución de antena convencional a otra basada en antenas inteligentes.

Ya en números y de acuerdo a investigaciones realizadas por fabricantes como es ArrayCom, IntelliCell es conocido que las estaciones base inteligentes costarían aproximadamente el 70% del costo de las estaciones base convencionales, otras investigaciones, contemplan un ahorro del 30 al 50% en costo de las nuevas estaciones base.

Tabla 1
Costos de una estación base.

Razón	Costo Unitario dólares	Unidades	Costo totales dólares
Trasmisor	25.000	1	25.000
Receptor	25.000	1	25.000
Antenas Convencionales	3.500	12	42.000
Estructura(caseta)	15.000	1	15.000
Cables y conectores	3.000	---	3.000
Mano de Obra	1.500	---	1.500
Costo totales			111.500

En los sistemas de antenas inteligentes estos costos se reducirán en un 30 % (por generalizar); es decir, si la implementación de una estación base convencional cuesta aproximadamente 111.500 dólares, el costo de implementación de una estación base inteligente será aproximadamente de 78.000 dólares; si ha esto sumamos el hecho de que la tecnología de antenas inteligentes puede ser implementada en las mismas estructuras de las antenas convencionales, el porcentaje de ahorro puede aumentar mucho más y por ende el costo de implementación de las antenas inteligentes se reduce (todos estos costos han sido obtenidos en función de los especificados para una estación base convencional con datos generales, no puntualizando ninguna tecnología de acceso).

**Aplicaciones y Futuras Tendencias
Antenas Inteligentes en Sistemas de Video Vigilancia**

Sistemas de vigilancia muy innovadores han sido implementados en varios países del mundo, cámaras de video colocadas en diversos sitios estratégicos (plazas, avenidas, lugares públicos en general) son armas que han permitido a la policía fortalecer su lucha contra la delincuencia.

No obstante, muchos de esos sistemas se ven limitados por hilos, a través de los cuales la información de video y datos es cursada con dificultad (muy similar al sistema ojos de águila implementado en varios países de América Latina).

Hoy en día, nuevas formas de explotación de estos sistemas están abriéndose paso; en un principio han sido implementados de la siguiente manera:

La estación base del sistema es colocada en un camión, en el cual se tienen todos los equipos necesarios para que el sistema funcione en cualquier lugar que se requiera. El camión cuenta con un PC en donde se realiza el procesamiento de las señales recibidas; se encuentran también incorporadas al camión dos cámaras de video que son desplegadas de adentro del camión a través de pedestales telescópicos; en uno de los pedestales de las cámaras se tiene incorporado el sistema de antenas (6 antenas, colocadas en una configuración circular) que funcionan como un punto de acceso central de la información proveniente de cámaras móviles.

Conclusiones

En el desarrollo de las telecomunicaciones, los sistemas de telefonía móvil han encontrado inconvenientes en la prestación de servicios debido al subdimensionamiento de las redes, provocando problemas de: capacidad, cobertura e interferencia.

Una de las alternativas actuales son los "Sistemas de Antenas Inteligentes", que propone la superación de las barreras de la actual telefonía móvil y un máximo desarrollo de servicio. Es una tecnología que aumenta el alcance y la capacidad de las estaciones base, dando como resultados: nuevos servicios, mayor seguridad, beneficios económicos y tecnológicos en los sistemas de comunicaciones móviles.

La antena inteligente, por si sola, no presenta inteligencia alguna, su inteligencia se basa en la utilización de algoritmos adaptativos. Los algoritmos adaptativos, favorecen a la conformación de haces, optimización de recursos, control, procesamiento de señales y continuo aprendizaje (lazo de repetición del proceso) de los sistemas.

Desde el punto de vista de eficiencia, las antenas inteligentes son una solución tecnológica adecuada para la optimización de la potencia de radiación. Con la utilización de procesadores de alta capacidad, se posibilita la formación de haces directos, estrechos y enfocados al usuario.

Las antenas inteligentes permiten un aumento de capacidad en los sistemas actuales de telefonía móvil. Su aplicación conjunta con SDMA y algoritmos adaptativos prevé la posibilidad que los sistemas con TDMA y CDMA multipliquen sus capacidades por 3 y 5 veces respectivamente.

A pesar del incremento en el número de usuarios, la interferencia entre células adyacentes no constituiría un problema, debido al enfoque y directividad de los haces radiados por el sistema.

Enfocándonos a la calidad de los sistemas de telefonía móvil, la tecnología de antenas inteligentes mejoran las transmisiones de voz, datos y video. Reduciendo los efectos de multitrayectoria e interferencias de señales, el intercambio de tráfico entre usuario y radio base se vuelve fluido. De igual manera la utilización de algoritmos de "beamforming", receptores sensibles y técnicas de acceso al canal, permiten que la funcionalidad de los sistemas alcancen un óptimo desarrollo.

Los algoritmos utilizados en la tecnología de antenas inteligentes son flexibles, pueden ser programados de manera que las antenas enfoquen sus señales en determinadas zonas; evitando radiar las señales en lugares donde la información pueda ser violentada.

Estamos seguros que los sistemas de las antenas inteligentes son una solución adecuada en las comunicaciones móviles y en muchas otras áreas tecnológicas. A corto plazo las telecomunicaciones tendrán una fortaleza en la utilización de esta nueva tecnología, su total desarrollo e implementación mejorarán el desempeño de las actuales redes de telefonía móvil, cumpliendo los objetivos con que fueron ideadas.

Bibliografía

- BRAULT, R., Las antenas. Capítulo 2: Las antenas. Madrid, Editorial Paraninfo, S.A., 1987, pp. 21 - 72.
- BELOTSERKOVSKI, Fundamentos de antenas. Capítulo primero: Nociones generales. Barcelona, Marcombo, S.A., 1983, pp. 1 - 26.
- CONNOR, F.R., Temas de telecomunicaciones. Capítulos 1, 2, 3 y 4 :Introducción, antenas elementales, antenas horizontales y verticales, agrupación de antenas. Barcelona, Labor, S.A., 1972, pp. 1 - 51.
- WAYNE, Tomasi, Sistemas de comunicaciones electrónicas, México, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1996, 2° Edición, pp. 377 – 410.
- ELLINGSON, Steve, Smart antenna technologies, IEEE Workshop on New & Emerging Technologies, Rutgers University, 2001.
- LEHNE, Per H. y PETERSEN, Magne, An Overview of Smart Antenna Technology for Mobile Communications Systems, Telenor Research and Development. IEEE Communications Surveys, 1999, vol. 2 No. 4.
- SALAS, B. y PIZARROSO, M., Antenas inteligentes como solución a problemas de calidad y capacidad en redes celulares y de acceso sin hilos, VIII Jornadas Telecom I+D, septiembre de 1998.
- www.antennea.org
- www.eiffel.com.ar
- www.gr.ssr.upm.es/rdpr/transparencias/tran_sp_tema4.pdf
- <http://espanol.geocities.com/elradioaficiado/antenas/antenas05.htm>
- http://www.iec.org/online/tutorials/smart_ant/

Biografía



Ing. Oscar Orlando Enríquez Polit

Nació en Quito 28 de Septiembre de 1978, sus padres. Luis Enríquez y Guadalupe Polit, realizó sus estudios primarios en el Pensionado Borja No. 3, la secundaria Colegio Marista, estudios universitarios Escuela Politécnica Nacional, Ingeniero Electrónico en Telecomunicaciones. Cursos Realizados: Puesta a tierra para un centro de cómputo, Mantenimiento de computadoras, Introduction to Automotive Technology dictado por profesor de Montmomery College, Certificado de Suficiencia de Inglés EPN, Asistencia a las I Jornada de las Telecomunicaciones en el Ecuador, Participación en el primer rally de regularidad copa Proveedora Automotriz.



Ing. Juan Paulo Morales Avila

Nació en Quito, el 15 de agosto de 1978, sus padres: Hernán Morales y Laura Avila. Sus estudios primarios los realizó en la Escuela Santo Domingo de Guzmán, sus estudios secundarios los realizó en el Colegio Nacional Técnico Sucre, donde obtuvo el título de bachiller técnico industrial en Electrónica. Su instrucción superior la realizó en la Escuela Politécnica Nacional, donde obtuvo el título profesional de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. El mantenimiento y la instalación de sistemas de antenas, equipos de comunicación de radio móvil y repetidoras; así como el mantenimiento de redes de computadoras, forman parte de su experiencia profesional.