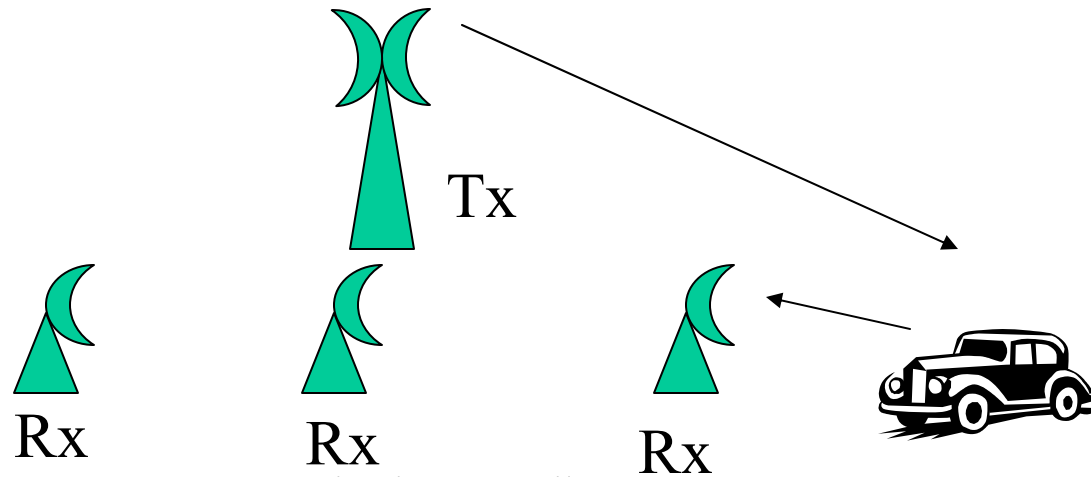


SISTEMAS MOVILES CELULARES

Jhon Jairo Padilla Aguilar
PhD. Ingeniería Telemática

Introducción

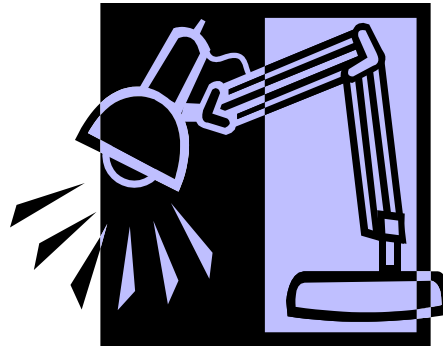
- Primeros Sistemas PMT:
 - Zona de Cobertura exclusivamente Urbana
 - Tecnología FDMA
 - Una estación base con varios transmisores
 - Varios receptores satélites



Introducción

- Limitaciones de los primeros sistemas PMT:
 - Limitaciones de espacio para antenas
 - No había viabilidad práctica de combinadores de Tx y Rx en un único sistema radiante
 - El tráfico que soporta esta configuración es mucho menor que lo que realmente se necesita.


Fundamentos de los sistemas celulares



Concepto Celular

- Ideado por D.H.Ring en 1947
- División de la zona de cobertura en regiones pequeñas llamadas *células* (tamaño variable en función de la demanda de tráfico)
- Las células pueden usar las mismas frecuencias pero distanciadas lo suficiente para evitar interferencias.

Concepto Celular

- *Ventajas:*
 - El tráfico atendido es proporcional a la superficie de la zona (zonas pequeñas y tráfico pequeño se atienden con menos recursos)
 - La reutilización de canales hace que se puedan usar muchos más canales de frecuencias.
- 
- Un canal se emplea para cursar varias llamadas de celdas distintas.

Definiciones

- ***Indice de reutilización:***

de radiocanales ofrecidos

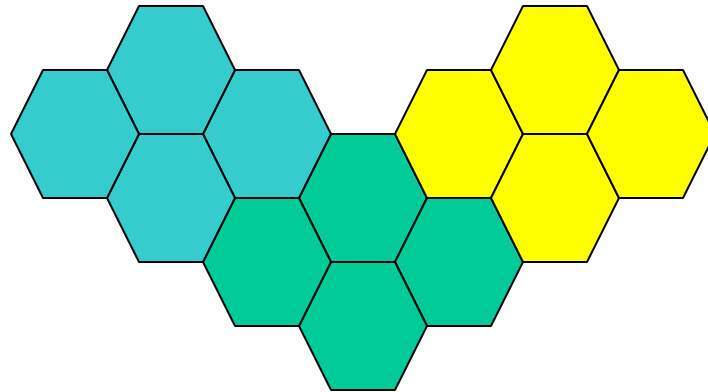
de frecuencias disponibles

- ***Distancia de Reutilización:***

Es la distancia mínima que separa dos celdas que usan el mismo canal (***celdas cocanal***). Esto se hace para evitar interferencias entre las celdas.

Definiciones

- **Cluster:**
 - También llamado *Agrupación celular*
 - Grupo de celdas que emplean n canales diferentes.
 - Cada cluster tiene un conjunto de n canales.



Definiciones

- ***Cluster:***
 - Cuanto menor es el tamaño del cluster, será menor el número de frecuencias que requiera ya que las celdas reciben menos tráfico
 - Hay un compromiso entre el tamaño Optimo del cluster respecto a:
 - Capacidad de tráfico (Se debe maximizar)
 - Rendimiento espectral (Se debe minimizar el BW)
 - Interferencia (a menor # de celdas/cluster más interferencia)

Definiciones

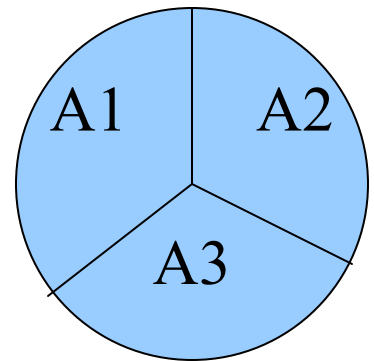
- ***Celda*** (Otra definición más práctica):
 - Es la superficie en que la estación base atiende mejor las llamadas que otras bases de alrededor (radio de cobertura $< 15\text{Km}$).

Ejemplo:

Suponiendo un clúster de 4 celdas y cada celda con k canales, entonces cada celda debe soportar k canales y cada móvil debe soportar $(4*k)$ canales para conectarse a cualquier celda del cluster y de la zona de cobertura total.

División de celdas por sectores

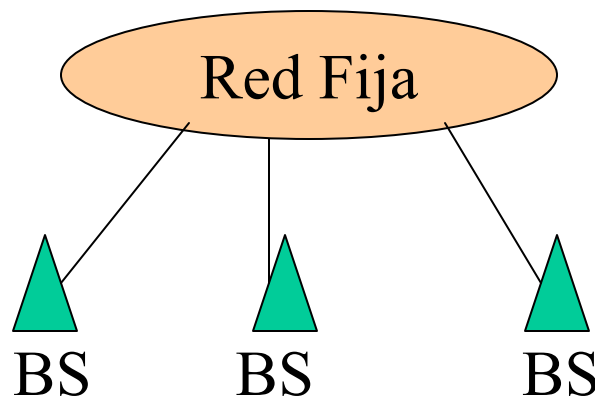
- Se usa en entornos de cobertura difícil
- Busca mejorar la ganancia en el up-link
- Cada celda se divide en 3 subzonas mediante 3 antenas directivas (patrón de radiación de 120° c/u)
- Las subzonas se denominan *sectores*
- Cada sector tiene sus propias frecuencias y equipos transceptores
- Se disminuyen las interferencias (hacia atrás de las antenas)



Celda A

RED FIJA

- Todas las estaciones base están interconectadas a través de una red compuesta por enlaces punto a punto. A esta red se le denomina *Red Fija asociada a un sistema PMT celular*.

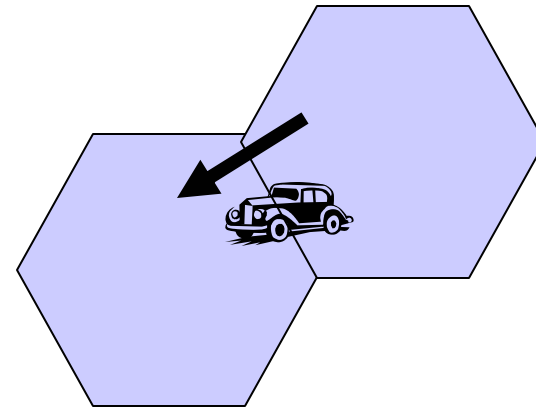


Funciones de Localización

- En un sistema PMT se debe conocer la ubicación de los móviles (en qué celda se encuentran) para pasarles las llamadas destinadas a ellos de una forma rápida y eficiente.
- Estas funciones son competencia de la *Red Fija*

Funciones de Handover

- El traspaso (Handover) es la conmutación de la llamada de una estación base a otra debido a que un móvil sale de la zona de cobertura de la primera para entrar a la zona de cobertura de la otra.
- Estas funciones son competencia de la *interfaz radio*.



Características de los sistemas PMT celulares

Características principales

- Gran capacidad (miles de abonados)
- Uso eficiente del espectro radioeléctrico
- Cobertura nacional
- Adaptación a la densidad de tráfico
- Prestación del servicio con teléfonos portátiles
- Amplia gama de servicios suplementarios al de telefonía básica
- Calidad de explotación (fidelidad, disponibilidad) similar a la de la telefonía alámbrica

Entornos de cobertura

Característica	Entorno Rural	Entorno Urbano
Densidad de tráfico	Pequeña	Elevada
Velocidad de desplazamiento del móvil	Grande (van a bordo de un vehículo)	Pequeña (Puede ser nula)
Características de propagación	Desvanecimiento Lognormal, absorción por árboles, ecos con retardos elevados	Topologías muy variadas (casos especiales en interiores, túneles, etc), Desvanecimiento multitrayecto, elevada atenuación

Aspectos de Calidad

- Calidad del servicio:
 - Objetiva (parámetros medibles)
 - Subjetiva (Percepción del usuario)
- Aspectos de Calidad:
 - Cobertura
 - Capacidad
 - Fidelidad
 - Movilidad

Calidad de Cobertura

- Se expresa mediante porcentajes (superficial y poblacional) de prestación del servicio
- Para conseguir mayor calidad de cobertura se emplean celdas de diversos tamaños y configuraciones.
- *Porcentaje de cobertura zonal*: Porcentaje de zona que supera un determinado umbral de señal.
- Porcentaje en que la relación C/I rebasa un cierto valor de referencia.

Calidad de la Capacidad

- Capacidad de la red para *cursar la demanda de tráfico* de cada zona manteniendo un *grado de servicio* o una *probabilidad de bloqueo* determinada.
- Limitaciones por el número de frecuencias por célula.
- Se reduce el tamaño de las celdas para disminuir la demanda de tráfico (también las pérdidas de propagación).
- Parámetros: Llamadas perdidas, llamadas interrumpidas (interferencias, fallos en traspasos).

Clasificación de las celdas

Tipo de celda	Rango del radio	Cobertura
Macrocela	1.5Km-20Km	Rural (carreteras, poblaciones cercanas)
Miniceldas	0.7Km-1.5Km	Urbana (medios urbanos importantes)
Microceldas	0.3Km-0.7km	Urbana (zonas de ciudades con elevada densidad de tráfico y penetración en interiores de edificios)
Picoceldas	0,03Km-0.2Km (30m-200m)	Urbana (Interiores: Aeropuertos, centros comerciales, etc)

Calidad de Fidelidad

- Se expresa en dos formas:
 - Calidad del operador (BER)
 - Calidad Final :
 - S/N o Índice de nitidez de señal percibida por el usuario (voz)
 - BER para señales de datos

Calidad de la movilidad

- Cuantifica el grado de dificultad que experimenta el móvil para registrarse o ser localizado
- Cuantifica la bondad de los algoritmos de Handover (La lentitud de señalización de Handover puede producir que se caigan las llamadas entre células pequeñas)

Planificación Celular



Introducción

- Aspectos del diseño de un sistema celular:
 - Cobertura Radioeléctrica
 - Limitación de las frecuencias
 - Movilidad de los usuarios
 - Distribución del tráfico
 - Introducción de nuevos servicios
 - Factores económicos:
 - Compra o alquiler de ubicaciones de las BS
 - Accesos a los sitios
 - Torres de antenas
 - Energía eléctrica

Objetivos

- Sintetizar el diseño de la red
- Tener una idea general de las prestaciones (cobertura y capacidad)
- Comparar diferentes soluciones alternativas
- Servir de guía para el despliegue físico de la red sobre el terreno

Condiciones de la planificación

- Son condiciones ideales:
 - Los parámetros de c/celda son iguales
 - Terreno homogéneo y con iguales condiciones de propagación
 - Las celdas son del mismo tamaño y forma
 - Disposiciones regulares de asignación de canales

Tareas de la Planificación celular

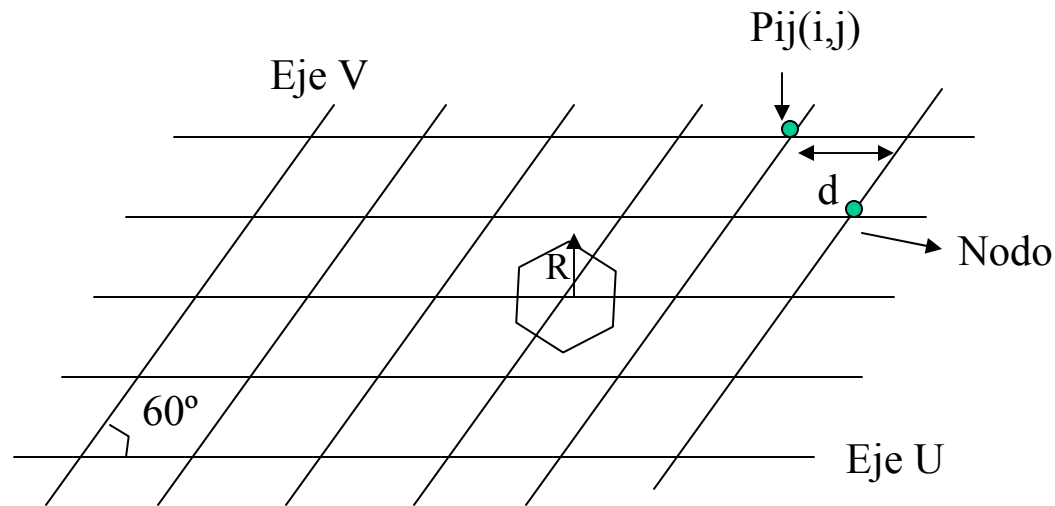
1. Desarrollo de un modelo de tráfico
2. Elección del tamaño y tipo de células
3. Diseño de la red celular
4. Elección de los sistemas radiantes (patrones de radiación)
5. Ajuste de la ubicación de estaciones base a los sitios disponibles
6. Determinación de la cobertura básica, puntos de cobertura dudosa y entornos de tratamiento especial
7. Uso de datos de medidas radioeléctricas para apoyo de activ. 5.
8. Asignación de frecuencias a las BS
9. Evaluación y solución de interferencias
10. Determinación de la interconexión entre BS, BSC y MSC

Geometría de las redes celulares

- Idealmente las células serían circulares (radiación omnidireccional)
- Pero se usan hexágonos para modelar la zona de cobertura porque:
 - Evitan solapes entre celdas
 - Proporcionan la mayor superficie de la celda
 - Se emplean menos celdas para cubrir un área
- *Importancia de la geometría:* determina las ubicaciones de las BS y los datos necesarios para interferencias, tamaño del cluster, distancia de reutilización

Sistema de coordenadas

- Se emplea un sistema de coordenadas oblicuas (retícula de planificación)



i,j : Números enteros

d : paso de retícula R : radio del hexágono (radio celular)

Distancia de reutilización

- Es la distancia entre los centros de dos células que usan las mismas frecuencias.
- Se representa con la letra D.
- Está relacionada con el paso de retícula (d) por: $(D/d)=N$
- Donde N es un número entero. Es decir, que D es N veces d.

Rombo cocanal y cluster

- Si se unen 4 células cocanal (usan el mismo canal) por rectas formando un rombo, este rombo se denomina *Rombo cocanal* y contiene un número de celdas equivalente a un *Cluster* de N células.
- Ejemplo: Para N=7 celdas/cluster, $D = R \cdot \sqrt{3N}$. O sea que $D = 4.6R$

Índice de reutilización

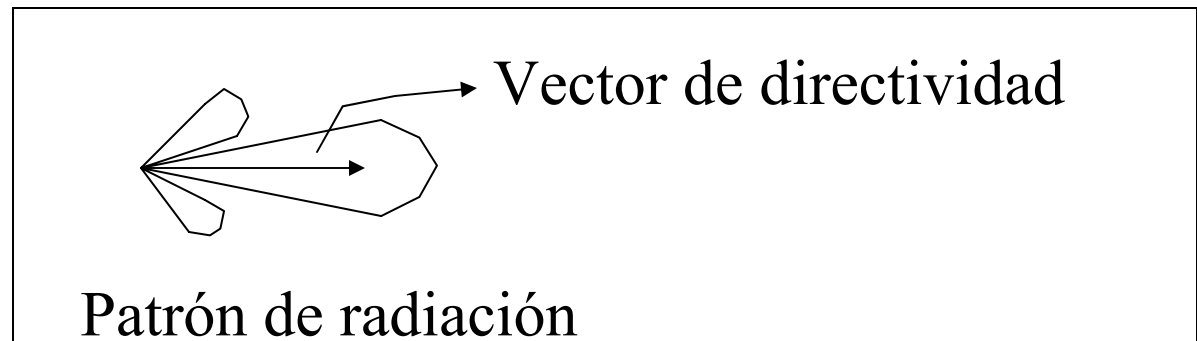
- Se representa con la letra Q. Es el número de clústers necesarios para completar el área de cobertura.

$$Q = (S_T / S_{RC}) + 1$$

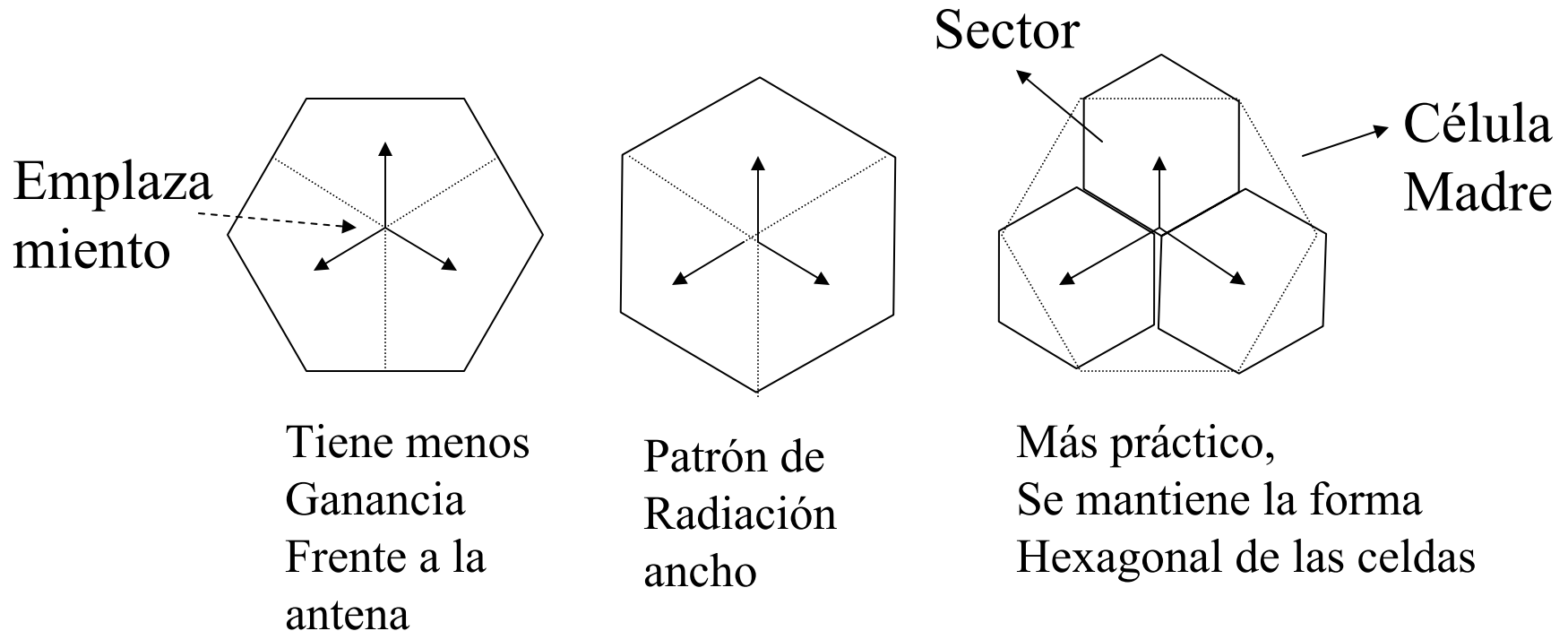
- S_T : Área total de cobertura de la red
- S_{RC} : Área de cada cluster
- $S_{RC} = N * S_C$
- S_C : Área de cada celda

Modelo Geométrico para cobertura sectorizada (I)

- La idea es transformar una celda omnidireccional en una celda sectorizada.
- Se ubican tantos conjuntos de antenas y transceptores como sectores se desee generar.



Modelo Geométrico para cobertura sectorizada (II)



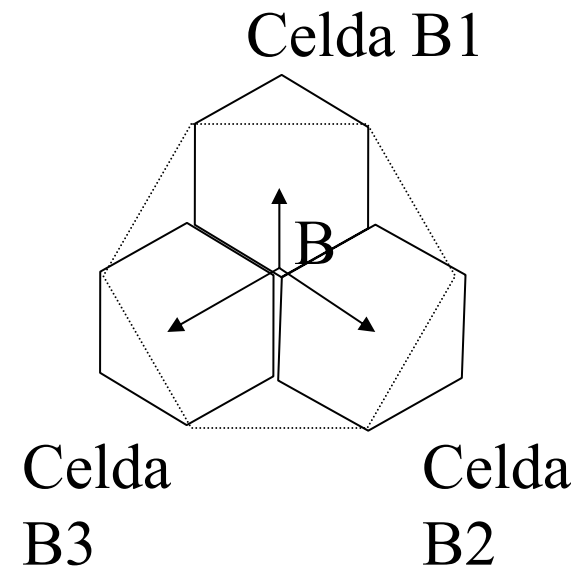
- Una célula madre, una vez sectorizada, deja de existir como tal, pasando el protagonismo a los sectores

Modelo Geométrico para cobertura sectorizada (III)

- Notación:
 - Las estructuras celulares sectorizadas suelen designarse con la notación: N/M
 - N: Número de emplazamientos
 - M: Número total de celdas

Ejemplo:

Disposición 7/21. Hay 21 celdas y 7 emplazamientos de 3 celdas c/u.



División Celular

Comunicaciones Móviles
Jhon Jairo Padilla Aguilar

Fase inicial

- Durante el proceso de planificación celular, el tamaño y cantidad de las celdas va cambiando.
- En la fase inicial:
 - Hay poca demanda de tráfico
 - Interesa que predomine la cobertura (Pocas celdas de gran tamaño)
 - El número de celdas no supera el tamaño del cluster
 - Por tanto, no se tienen problemas de interferencia y la calidad depende únicamente del ruido
 - Se determina el máximo radio celular posible (max. 15Km)
 - Valores típicos: $S/N = 18$ dB en el 90% de las ubicaciones

Fases Posteriores

- Empiezan a prevalecer las necesidades de capacidad de algunas células (centros urbanos)
- Se dota a las celdas de más canales
- Subdivisión de celdas en celdas más pequeñas (Preferible por capacidad de tráfico y reducción de Prob. Bloqueo)

Subdivisión de celdas

- La primera subdivisión de una celda omnidireccional es la sectorización
- Posteriores subdivisiones se hacen reduciendo el radio de las celdas a la mitad.
- **Consecuencias:**
 - Su área se divide por 4
 - Multiplica por 4 el número de celdas necesarias para cubrir la misma área
 - Aumenta la capacidad de tráfico en un factor de 4
 - Requiere mayor precisión en la ubicación de las estaciones base
 - Aumenta el número de Handovers (y la señalización asociada también)
 - Aumenta costos pues hay más estaciones base

Ejemplo de División Celular

Etapa	Radio celular	# de células	Area celular	Canals x celda	Traf x celda	E/km ²	#total Abon.
1	14	7	500	42	30.77	0.06	8615
2	8	21	166	14	7.35	0.04	6174
3	4	84	41.6	14	7.35	0.17	24696
4	2	336	10.4	14	7.35	0.7	98784

Asignación de Frecuencias en sistemas celulares

Bases de la asignación

- Se quiere asignar frecuencias a las estaciones Base
- Debe optimizarse el uso de las frecuencias
- Es un tema abierto
- Se debe asignar a cada celda un número de frecuencias adecuado al volumen de tráfico que se quiere atender
- Deben satisfacerse los requisitos de relaciones de protección cocanal y de canal adyacente

Conceptos

- Vector de peticiones:
 - Es el conjunto de frecuencias asignadas
- Protección cocanal:
 - Protege de la interferencia cocanal
 - Se controla con el tamaño y tipo de cluster y con el control de cobertura de las estaciones base
- Protección de canal adyacente:
 - Protege de la interferencia de canal adyacente
 - Impone limitaciones en las asignaciones de frecuencias en celdas contiguas

Tipos de celdas adyacentes

- Celdas vecinas:
 - Sectores de una misma estación base
- Celdas colindantes:
 - Estaciones base diferentes pero con una frontera común

Restricciones

- Protección de canal adyacente:
 - Es una condición práctica
 - La separación entre frecuencias asignadas a las celdas debe ser:
 - ≥ 3 canales (dentro de una misma celda)
 - > 2 canales (en celdas vecinas)
 - > 1 canal (en celdas colindantes)
- Hay restricciones de frecuencias en las fronteras de los países y en las fronteras entre operadores

Supuestos

- La interferencia de intermodulación en las BS's no es significativa pues los transceptores se conectan a una antena común a través de combinadores que proporcionan un aislamiento adecuado
- Se supone que se dispone de una función que relaciona las frecuencias asignables con números enteros n que identifican los radiocanales (n : # de radiocanal)

Métodos de asignación

Asignación Fija

- Se atribuye a cada celda un juego de frecuencias fijo para esa celda
- Desventaja: Si hay un tráfico elevado y se ocupan todos los canales habrá bloqueo
- Hay dos tipos:
 - Método Geométrico: Distribuye las frecuencias de forma regular con base en la geometría de las celdas
 - Método Heurístico: Es una técnica de prueba y error con base en unos requisitos de compatibilidad prescritos

Asignación Dinámica

- Asigna a cada celda su juego de frecuencias propio
- Permite a cada celda pedir prestadas y utilizar frecuencias de otras celdas cuando las circunstancias de tráfico lo requieran
- Ventaja: Se disminuye el bloqueo
- Debe dotarse a las celdas con equipos transceptores adicionales sintonizables a las frecuencias prestada

Asignación Dinámica

- Es necesario un intercambio de señalización adicional entre la celda receptora, la donante y el entorno celular que las rodea, ya que pueden producirse interferencias (deben mantenerse las distancias de reutilización)
- Ventaja: Se puede hacer una mejor utilización de los recursos disponibles
- Desventaja: Es muy complejo, por lo que aún no se ha aplicado a redes reales actuales.