

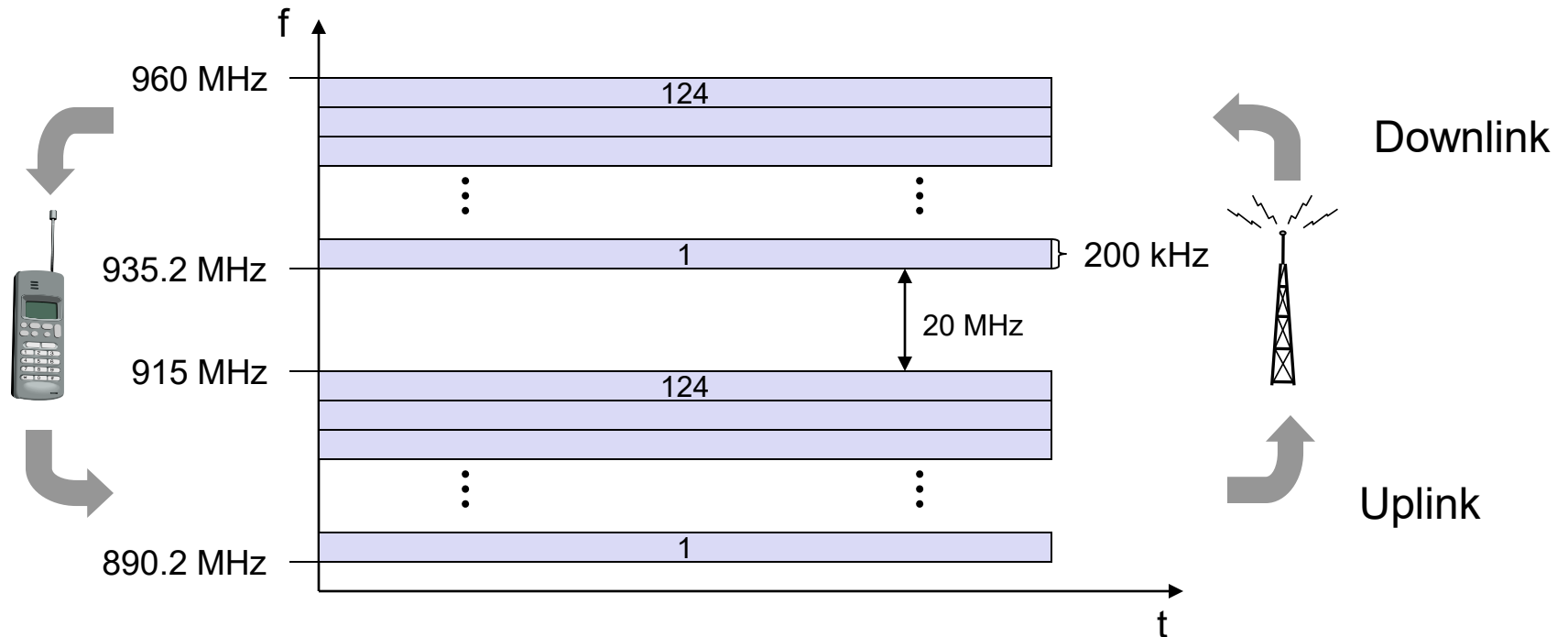
CHƯƠNG 3

Kỹ thuật cellular

Content

- Introduction
- Cell shapes and clusters
- Frequency reuse:
 - Distance
 - Efficiency
- Cluster size
- How to find the nearest co-channel neighbours
- Channel assignment strategy:
 - Capacity
 - Handoff
- Interference:
 - Signal-to-noise ratio

Frequency usage in GSM

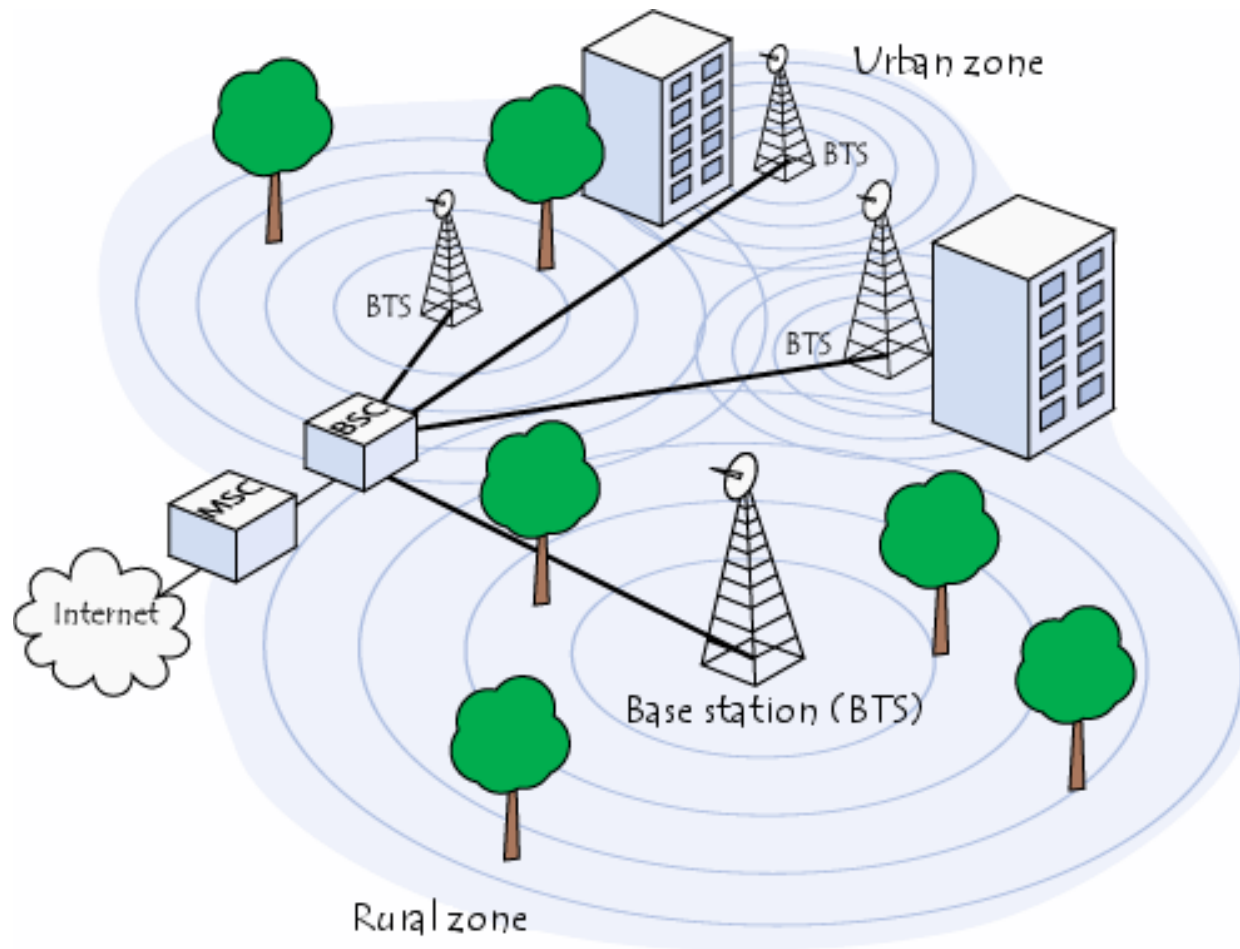


Bandwidth per channel is 200 kHz

Each user is assigned channel for an uplink and a downlink

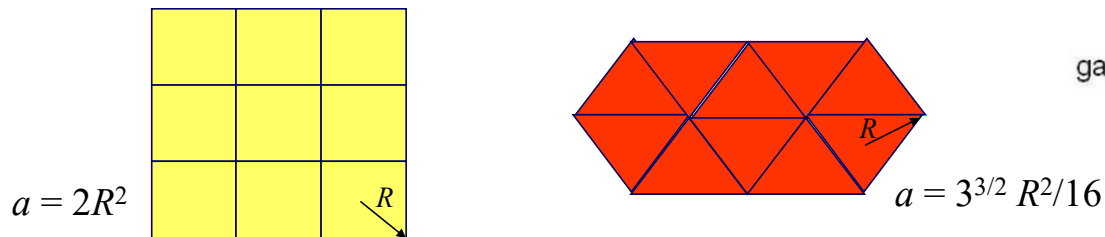
So at most 124 simultaneous calls.

Cellular Mobile Systems

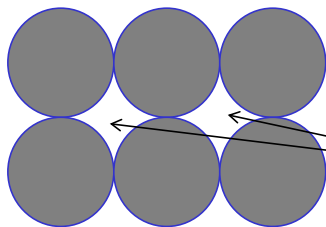


Cellular Concept

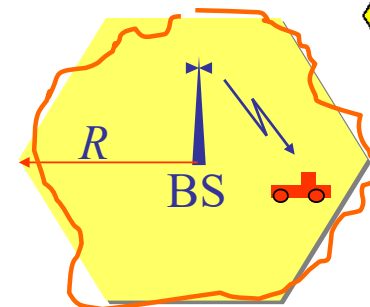
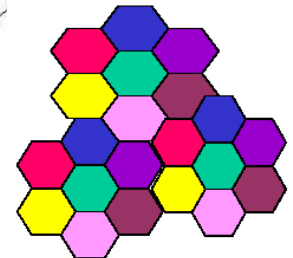
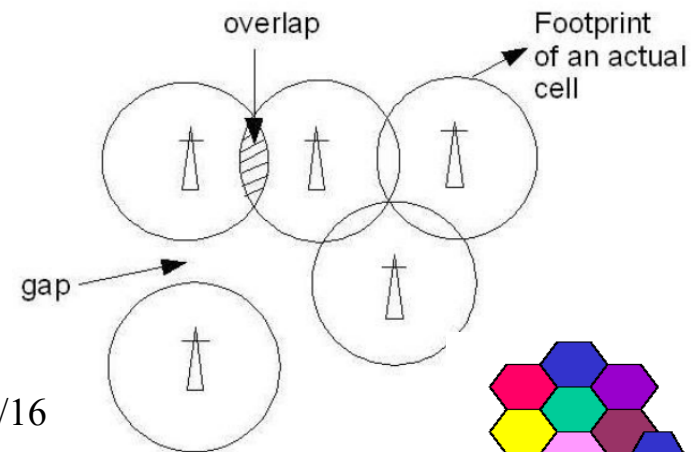
- Cell-Tế bào hay ô: là đơn vị cơ sở của mạng thông tin di động
- Hình dạng cell: 3 đa giác thông thường có thể sử dụng:
 - tam giác
 - Hình vuông
 - Lục giác



Not suitable, (different distance from the cell's Centre to different point in the perimeter)



Ideal shape, but has dead zones



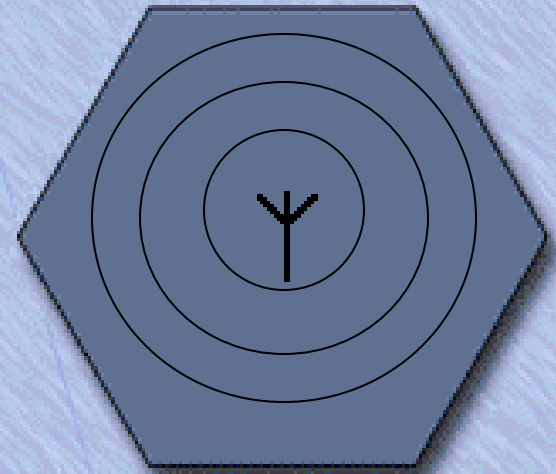
Actual cell shape

Phương thức phủ sóng

Phát sóng vô hướng - Omni - directional cell ($360^0 \dots$)

- Anten vô hướng hay 360^0 bức xạ năng lượng đều theo mọi hướng.

Omni (360^0) cell site

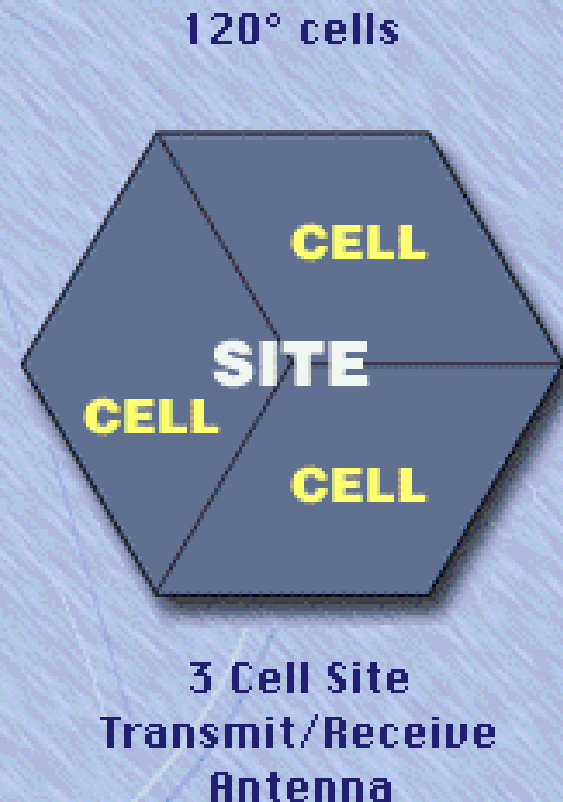


1 Site = 1 cell 360^0

Phương thức phủ sóng

Phát sóng định hướng → sectorization ($120^0 \dots$)

- Anten có hướng: tập trung năng lượng trong một không gian nhỏ hơn.
- Cải thiện chất lượng tín hiệu.
- Tăng dung lượng thuê bao.



1 Site = 3 cell 120°

Số lượng cell bao phủ một vùng địa lý

Các yếu tố ảnh hưởng đến số lượng cell trong một vùng địa lý

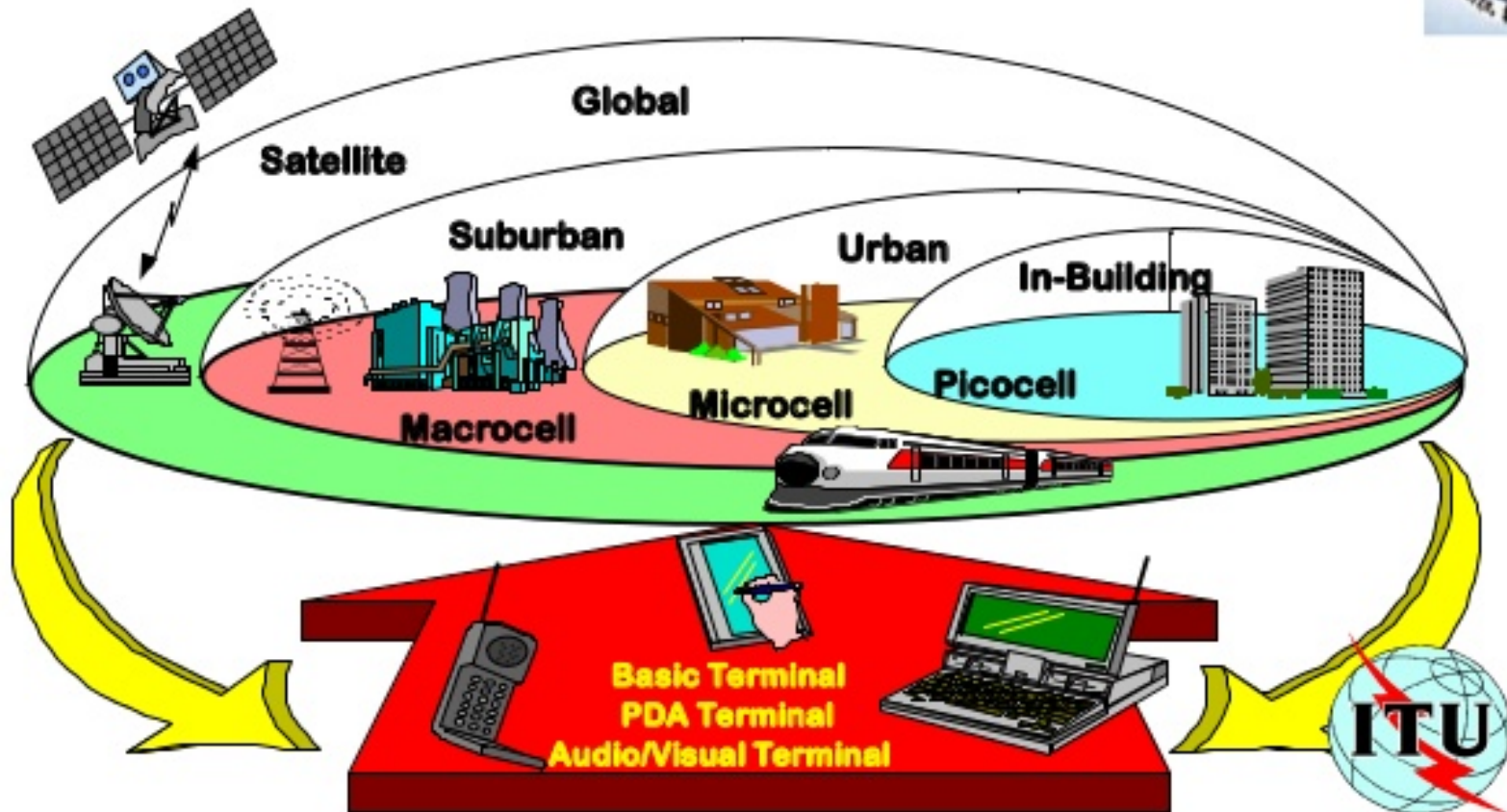
- Mật độ thuê bao

- Yếu tố địa hình : các tòa nhà, cây cối, hồ nước, đồi núi . . .



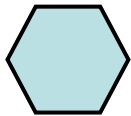
Cell Type

Cellular Systems

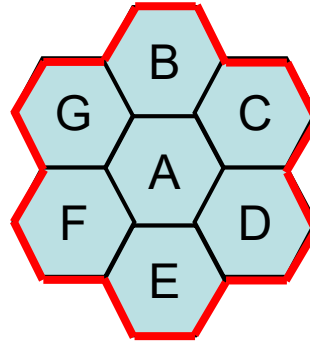


Small cells → more bandwidth → more users → more base station → complex networks → leading to more interference and more hand overs.

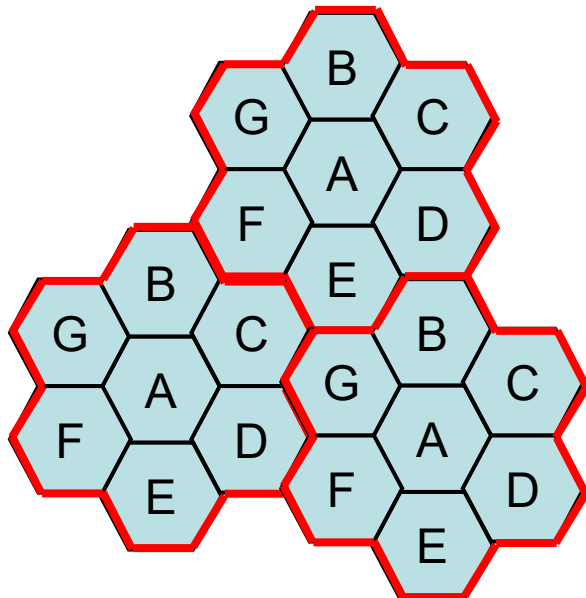
Frequency Reuse



Cell

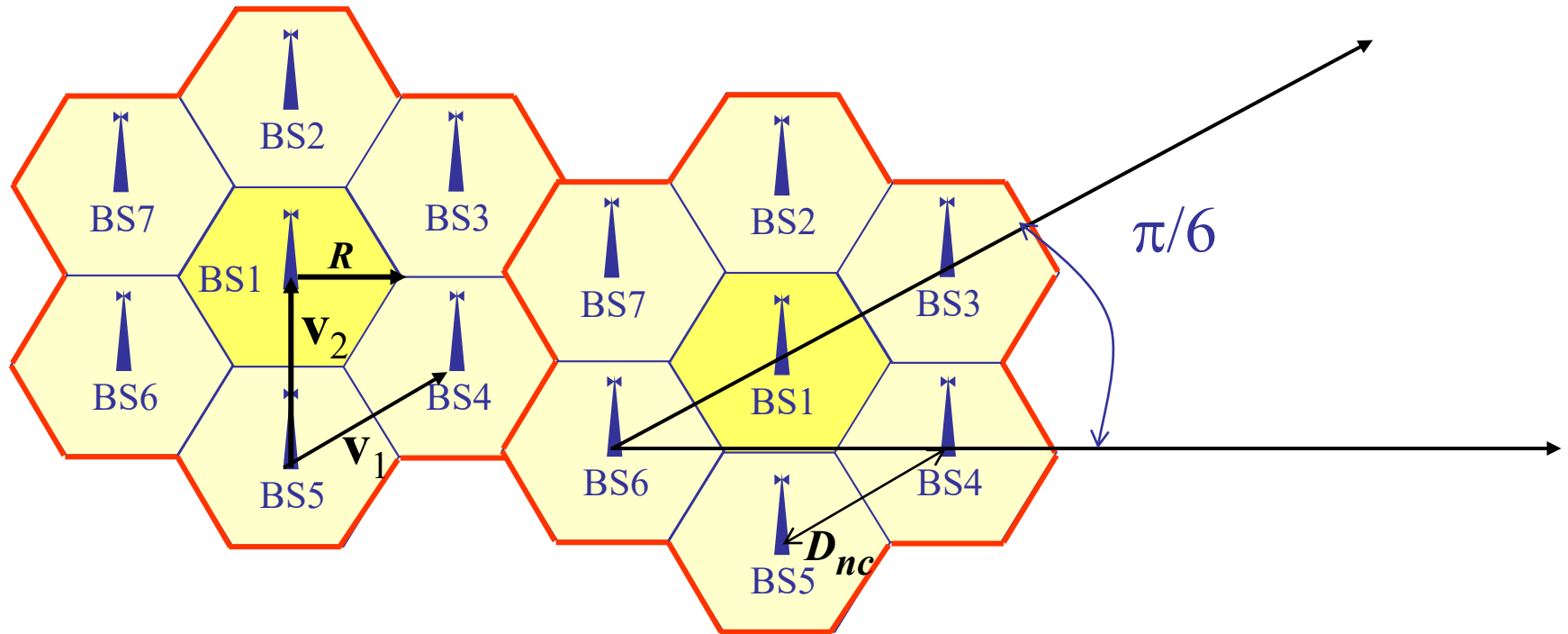


Cell cluster
(7 cells cluster)



Cell	Frequency (MHz)
A	900
B	900.3
C	900.6
D	900.9
E	901.2
F	9001.5
G	9001.8

Frequency Reuse Distance

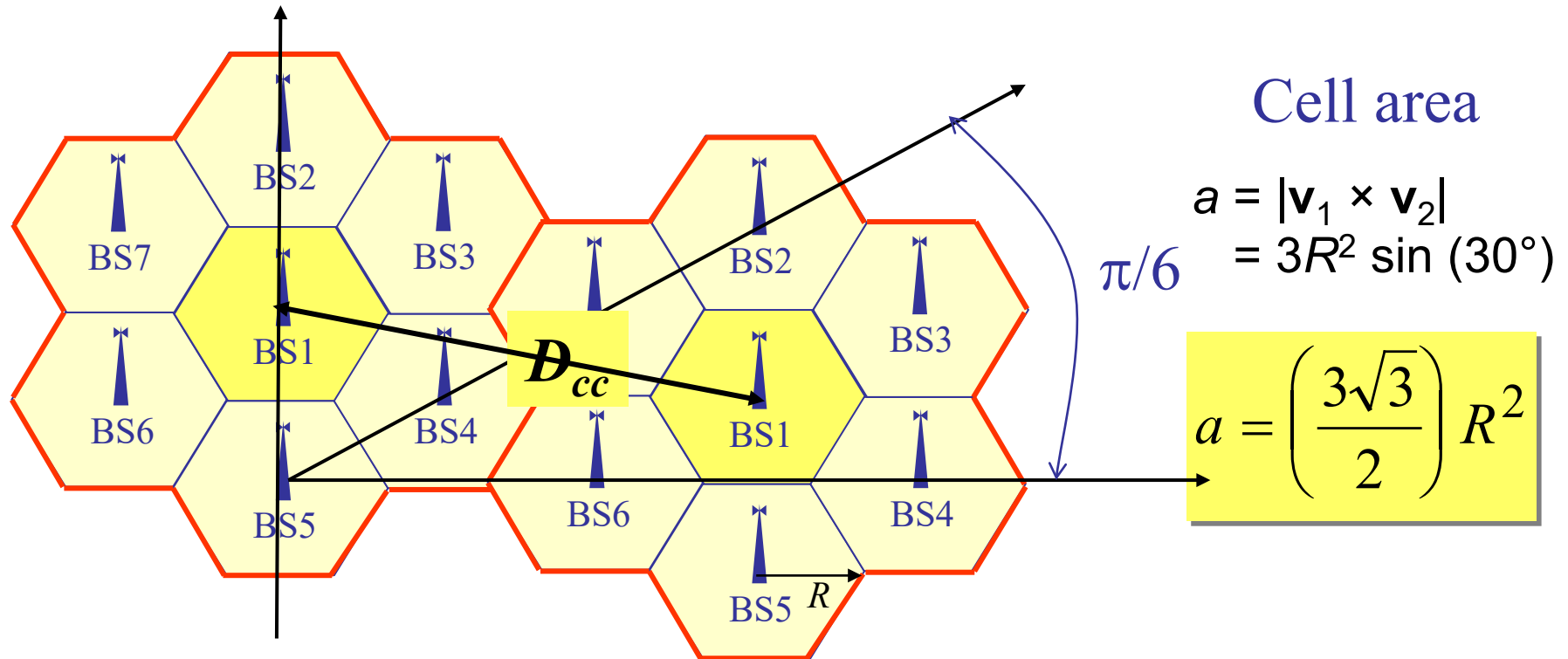


The displacements between any two cells can be expressed as a linear combination of the two basis vectors \mathbf{v}_1 and \mathbf{v}_2 having an angle of 60° . Then $|\mathbf{v}_1|$ and $|\mathbf{v}_2| = (3)^{0.5}R$.

Or, the centre-to-centre distance between two neighbouring cells is

$$D_{nc} = 2R \cos(\pi/6) \text{ or } \sqrt{3}R$$

Frequency Reuse Distance *contd.*



The centre-to-centre distance between any two co-channel cells is

$$D_{cc} = \sqrt{i^2 + j^2 + ij} \cdot (\sqrt{3}R)$$

Where $i = j = 0, 1, 2$ etc. represent the centre of a cell (reference). For adjoining cells, either i or j can change by 1, but not both.

Cluster Size

Area of a region can be expressed by

$$A = D_{cc}^2 \sin 60^\circ$$

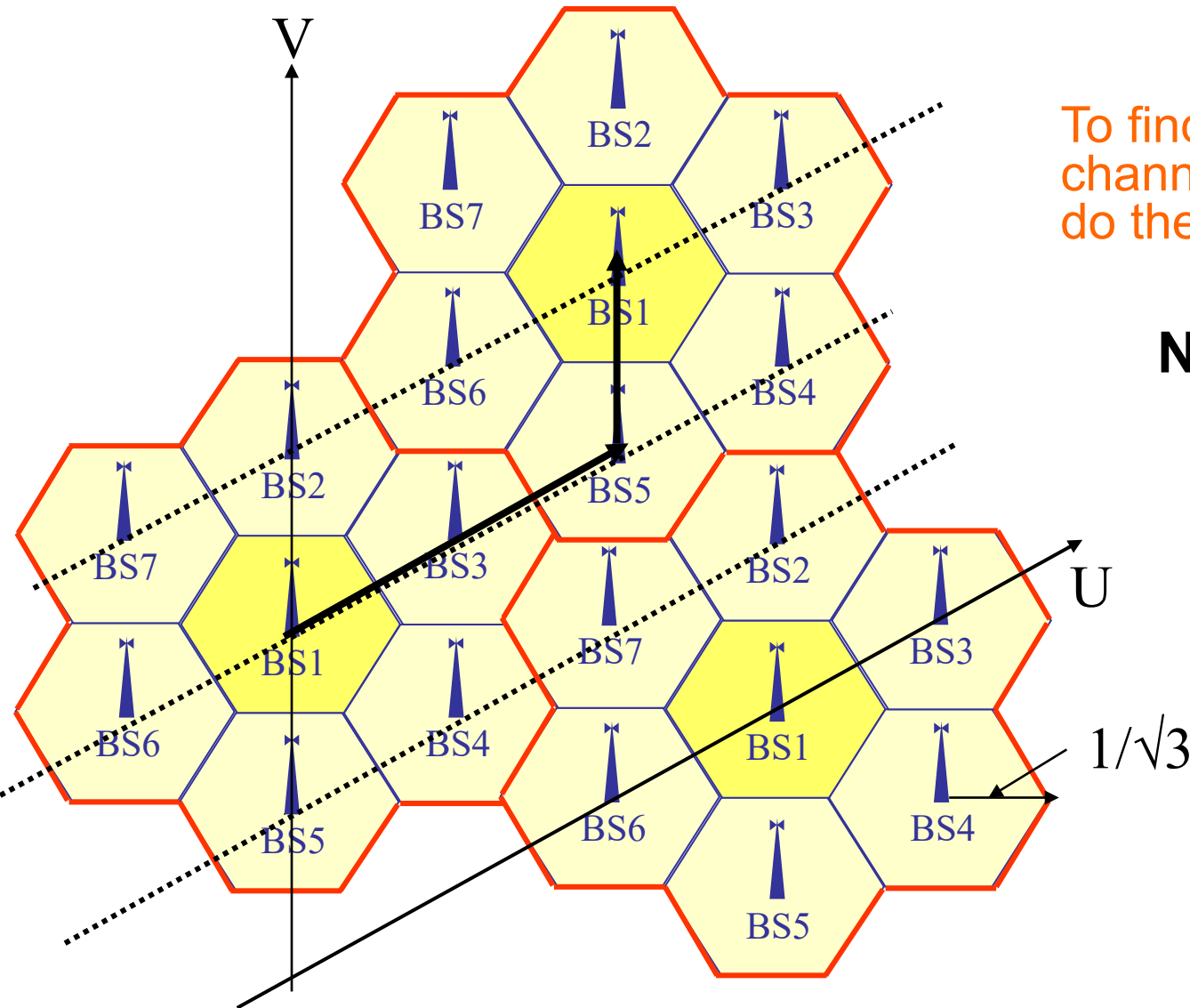
- The number of cells per cluster within an area of radius D_{cc} (i.e in reuse pattern) is:

$$N = \frac{|U_1 \times U_2|}{|V_1 \times V_2|} = \frac{1}{3} \left(\frac{D_{cc}}{R} \right)^2$$

- **Frequency reuse factor = $1/N$**

- **Area of the cluster** $A = \sqrt{3} \frac{D_{cc}^2}{2}$

Locating Co-Channel Cells



To find the nearest co-channel neighbours one must do the followings:

$$N = i^2 + ij + j^2$$

1. move i cells in the U direction
2. turn 60° counter-clockwise and move j cells in the V

see Fig. $N = 7$,
 $i = 2$ and $j = 1$

Data

- Co-channel reuse ratio $Q = D_{cc} / R = \sqrt{3N}$

i	j	N	$Q=D/R$	<i>Transmission quality</i>	<i>Traffic capacity</i>
1	0	1	1.73	Lowest	Highest
1	1	3*	3		
2	0	4*+	3.46		
2	1	7*=	4.58		
3	0	9*	5.2	Highest	Lowest
2	2	12*+	6		
		21*=			

* Most common, + Digital network, = Analogue network

Channel Assignment Strategies

- FIXED Channel Assignment (FCA)
 - Each cell is allocated a predetermined set of voice channels irrespective of the number of customers in that cell. *This results in traffic congestion and some calls being lost when traffic gets heavy*
 - Call attempted within the cell can only be served by the unused channels in that particular cell
 - Call is *Blocked* if channels are occupied
 - Several variation exist like borrowing strategy
 - Used in TDMA/FDMA cellular radio systems

Channel Assignment Strategies

- **Dynamic** Channel Assignment (DCA)
 - Channels are not allocated to different cells permanently.
 - Is ideal for bursty traffic
 - Each time a call request is being made, the serving BS request a channel from MSC
- MSC allocate a channel by using an algorithm that takes into account:
 - the likelihood of future blocking within the cell
 - the frequency reuse of the candidate channels
 - the reuse distance of the channels
 - cost functions
- MSC requires to collect real time data on:
 - channel occupancy and traffic distribution
 - radio signal strength of the channels on a continuous basis

Channel Capacity

- Hệ thống Cellular bao gồm S kênh vô tuyến - RFC
(RFC: Radio Frequency Channel)
- Mỗi cell được cấp phát k RFC ($k < S$)
- S kênh được chia sẻ cho N cells.

$$S = kN$$

Channel Capacity

- N cells hình thành một cluster/cụm (N cluster size)
- Một cluster được lặp lại M lần trong một hệ thống cellular tại các vị trí địa lý khác nhau
- Khi đó dung lượng hệ thống C = tổng số kênh RFC trong hệ thống (capacity)

$$\text{Channel capacity } C = MkNB = MS$$

B: Duplex frequency bandwidth / channel

Total duplex channels available for reuse: $S = kNB$

Channel Capacity

E.g. for GSM:

Normally 25MHz/200kHz/channel = 125 channels /cluster

For $N = 7$, $k = 17 \div 18$ channel/cell

And for $M = 3$,

$C = 3 \times 125 = 375$ channel

Or for

$S = 8$, $N = 9$, and $B = 2 \times 200 \text{ kHz} = 0.4 \text{ MHz}$.

Thus $k = 2.2$ channels. $\text{Cell}^{-1}.\text{MHz}^{-1}$

For analogue systems

$k = 1.9$ channels. $\text{Cell}^{-1}.\text{MHz}^{-1}$

Ví dụ 1.1

If a total of 33 MHz of bandwidth is allocated to a particular FDD cellular telephone system which uses two 25 kHz simplex channels to provide full duplex voice and control channels, compute the number of channels available per cell if a system uses

(a) **4-cell reuse**, (b) **7-cell reuse** (c) **12-cell reuse**.

Interference

- Interference is the major limiting factor in the performance of cellular radio systems. Sources of interference include:
 - another mobile in the same cell
 - a call in progress in the neighbouring cell
 - other BS s operating in the same frequency band
 - any non-cellular system which inadvertently leaks energy into the cellular frequency band.



Types of Interference

Tỷ số tín hiệu trên tạp âm

Signal-to-noise ratio (SNR)

- Ratio of received desired signal power over the average noise power in the receiver

$$SNR = \frac{P_{des}}{P_{noise}}$$

- SNR can be improved by
 - Increasing the transmitted power
 - Decreasing the range
 - Using a better low noise amplifier (LNA)

Công suất thu trung bình

Average Received Power

$$P_r = P_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-n}$$

$$P_r(dB) = P_0(dB) - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

- P_0 : Công suất thu tại khoảng cách tham chiếu d_0
- n : Hệ số tổn thất đường truyền, $2 < n < 6$

*** Với các hệ thống cellular $n \approx 4$**

Tỷ số tín hiệu trên nhiễu

Signal-to-Interference Ratio

$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} D_i^{-n}}$$

$$\frac{S}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

- S: Công suất tín hiệu mong muốn
- I_i : Công suất tín hiệu nhiễu từ kênh cùng tần số thứ i

Nhiều đồng kênh CCI (Co-Channel Interference)

- ✓ Co-Channels:

- ✓ Các cells sử dụng cùng kênh tần số

- ✓ Gây nên do việc sử dụng lại tần số (cell reuse)

- ✓ Tham số đặc trưng: Tỉ số sóng mang trên nhiễu C/I

$$C/I = 10 \log \frac{P_c}{P_i}$$

- P_c : Công suất tín hiệu thu mong muốn.

- P_i : công suất nhiễu thu được.

Mẫu sử dụng lại tần số

Ký hiệu tổng quát : mẫu N/M

Trong đó:

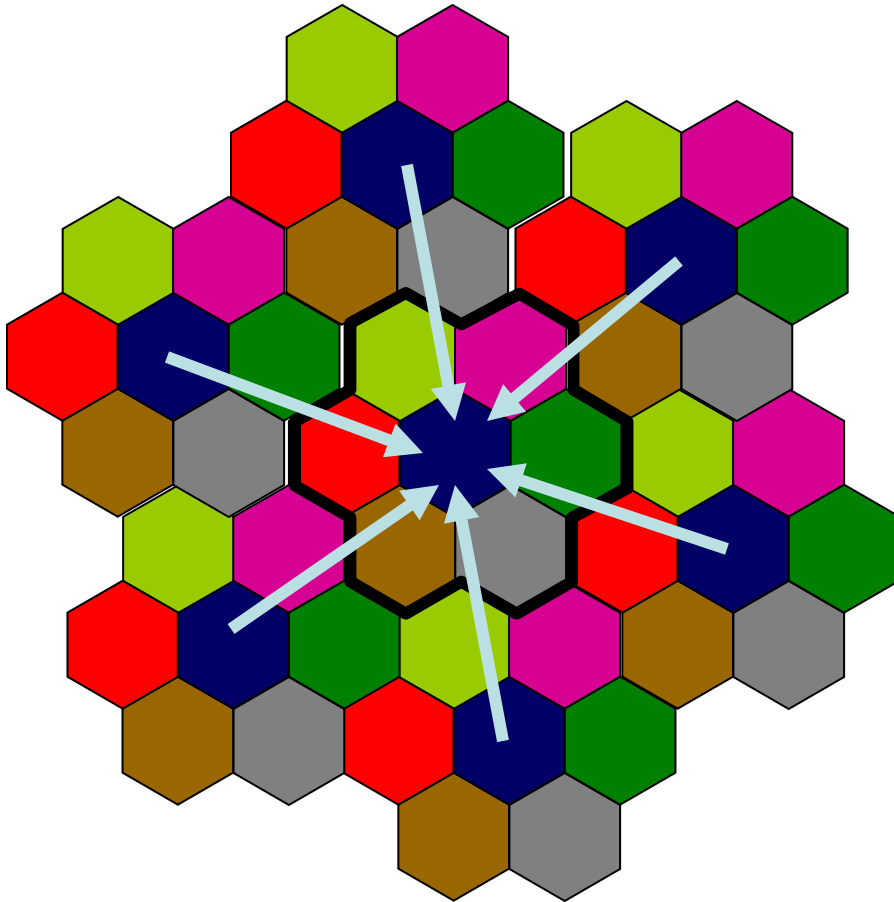
N = tổng số site / cluster

M = tổng số cell / cluster

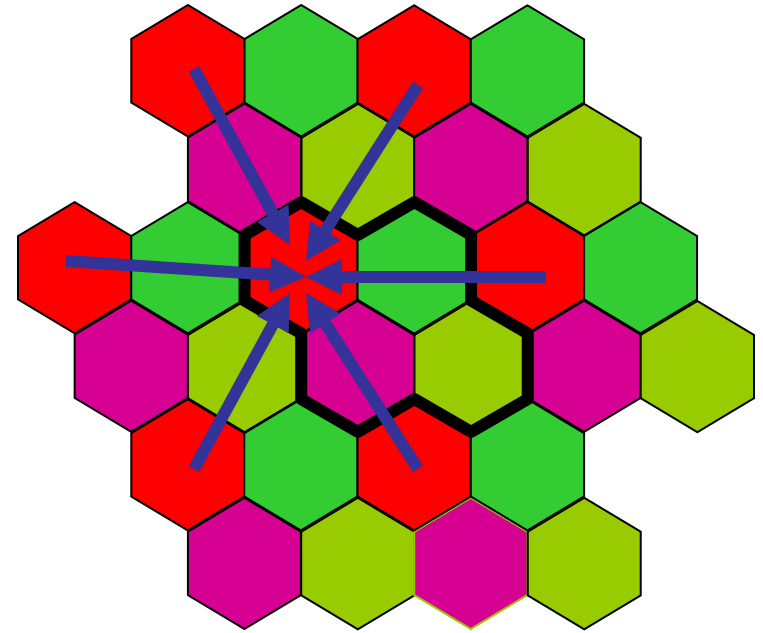
Reuse factor: $1/M$

=> Mỗi cell được cấp phát $1/M$ tổng số kênh tần số vô tuyến trong 1 cluster .

Co-channel Interference



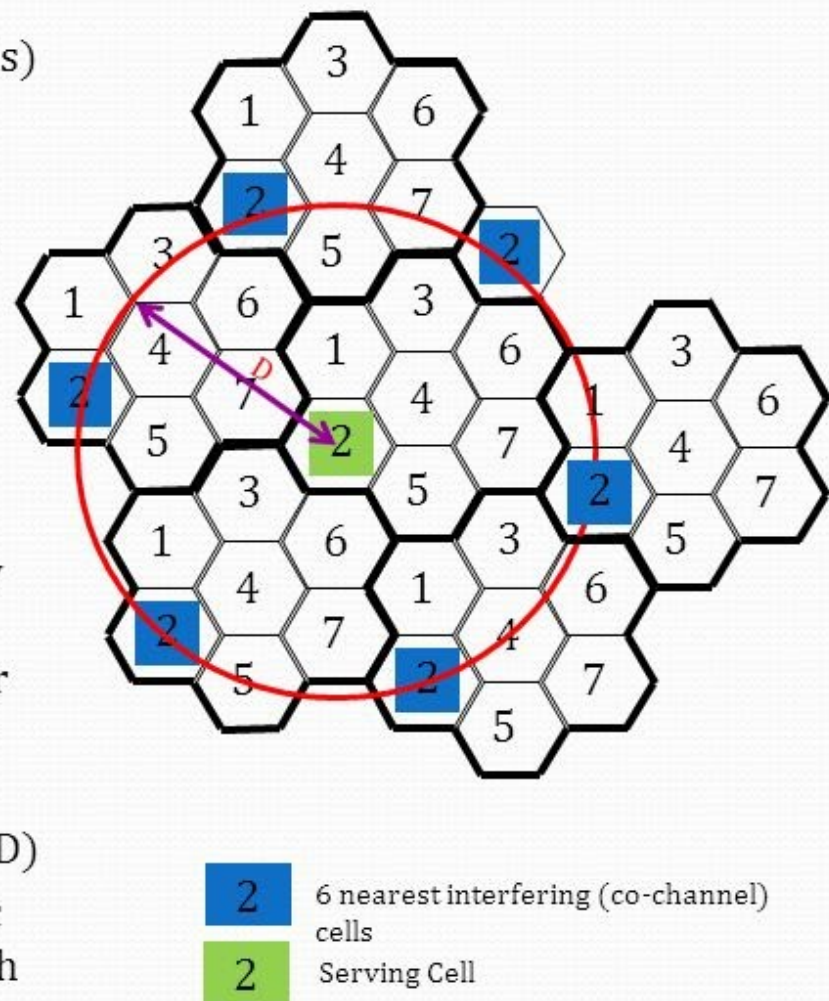
7-cell frequency reuse (weaker)



4-cell frequency reuse
(stronger)

Co-channel interference

- Around each cell, there are 6 cells in adjacent clusters using the same carriers (co-channel cells)
- These cells will cause mutual co-channel interference
- The C/I due to these cells can be found from the reuse distance, D
- $\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$
- Typical cluster sizes are:
3, 4, 7, 12, 21
- Co-channel interference can not be combated by simply increasing the carrier power of the transmitter, this is because an increase in carrier power increases interference to neighboring co-channel cells.
- Larger cluster sizes give better C/I ratios (large D)
- However, smaller cluster sizes give higher traffic capacity per cell – more carriers available in each cell ($k = s/N$ channels) and higher overall system capacity ($C=Ms$)



Tỉ số tái sử dụng đồng kênh

Co-Channel Reuse Ratio

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

(2.4)

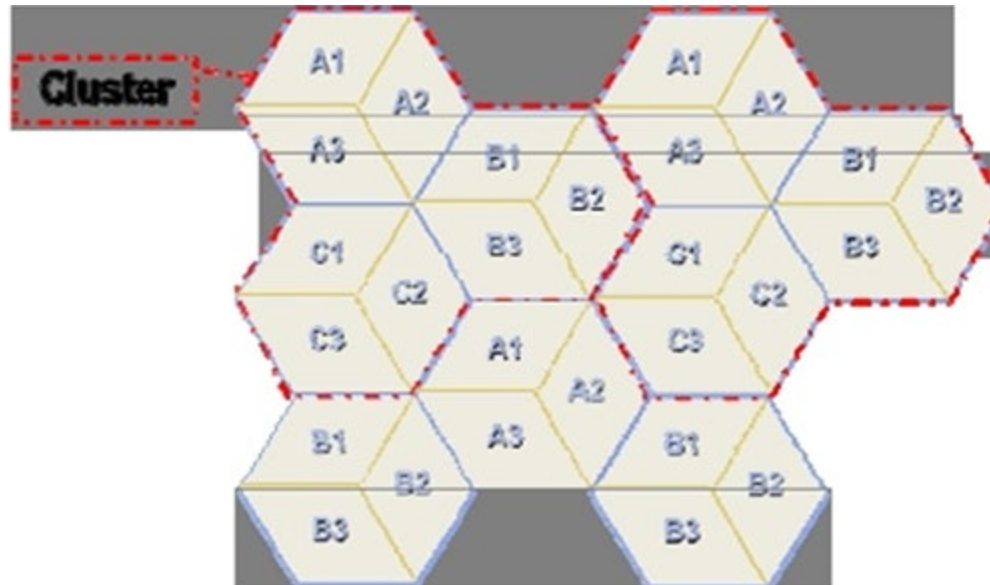
	Cluster Size (N)	Co-channel Reuse Ratio(Q)
$i = 1, j = 1$	3	3
$i = 1, j = 2$	7	4.58
$i = 2, j = 2$	12	6
$i = 1, j = 3$	13	6.24

- D = Khoảng cách giữa tâm hai cell đồng kênh gần nhất.
- R= Bán kính cell
- N= Kích thước cluster

Mẫu 3/9

- ❖ Tần số sử dụng được chia thành 9 nhóm ấn định trong 3 vị trí trạm gốc
- ❖ C/I khoảng 9dB
- ❖ Khoảng cách trung bình lặp lại tần số:
 $D = 5.2R$. (R: bán kính cell)

số kênh trong một cell là lớn, tuy nhiên khả năng nhiễu cao



Mẫu 4/12

- ❖ Tần số sử dụng được chia thành 12 nhóm ấn định trong 4 vị trí trạm gốc
- ❖ C/I khoảng 12dB
- ❖ Khoảng cách trung bình lặp lại tần số:

$$D = 6R.$$

sử dụng cho những vùng có mật độ lưu lượng trung bình

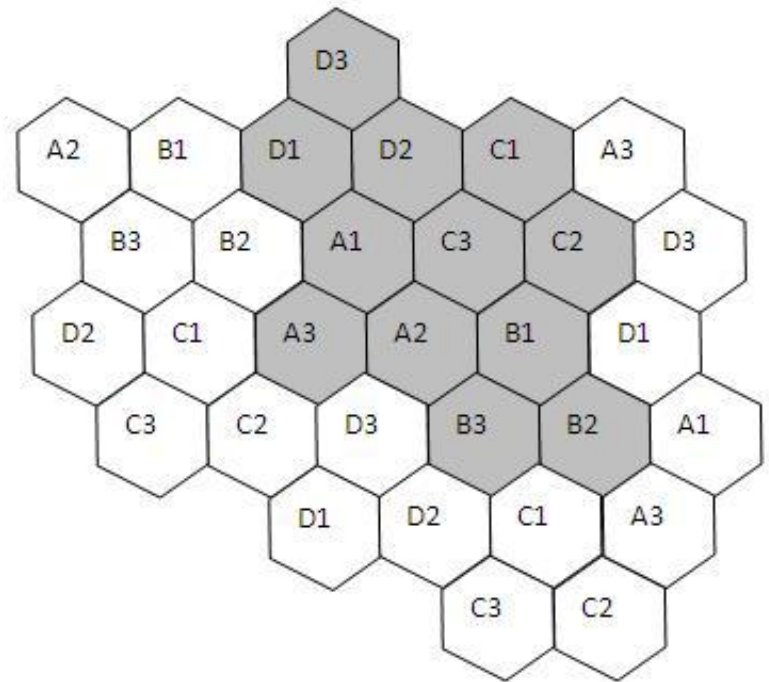


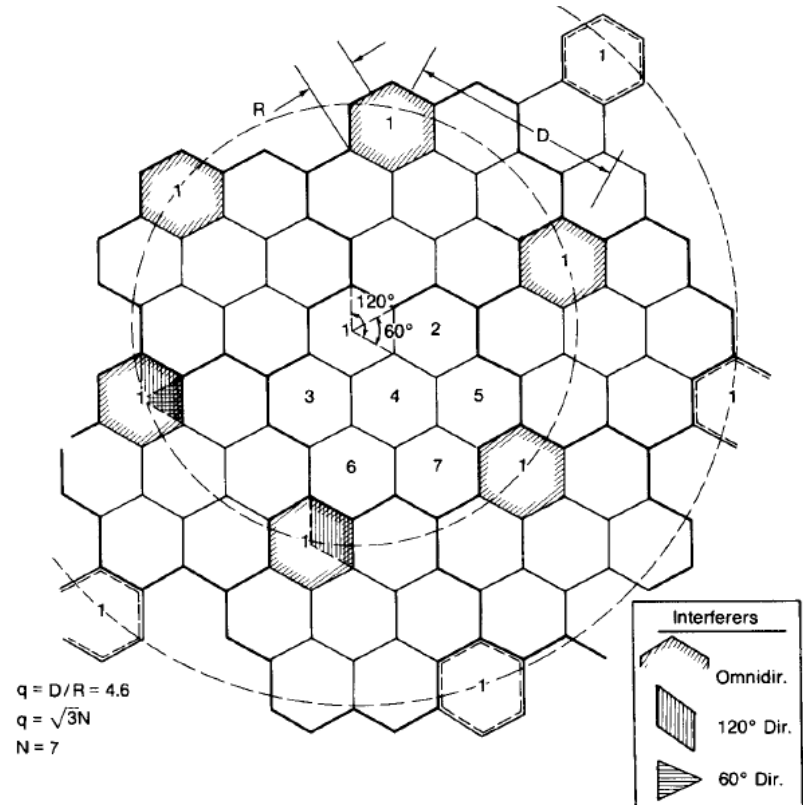
Fig.1 GSM Frequency re-use pattern type 4/12

Mẫu 7/21

- ❖ Tần số sử dụng được chia thành 21 nhóm ấn định trong 7 vị trí trạm gốc.
- ❖ Khoảng cách trung bình lặp lại tần số:

$$D = 7.9R.$$

sử dụng cho những khu vực mật độ lưu lượng thấp

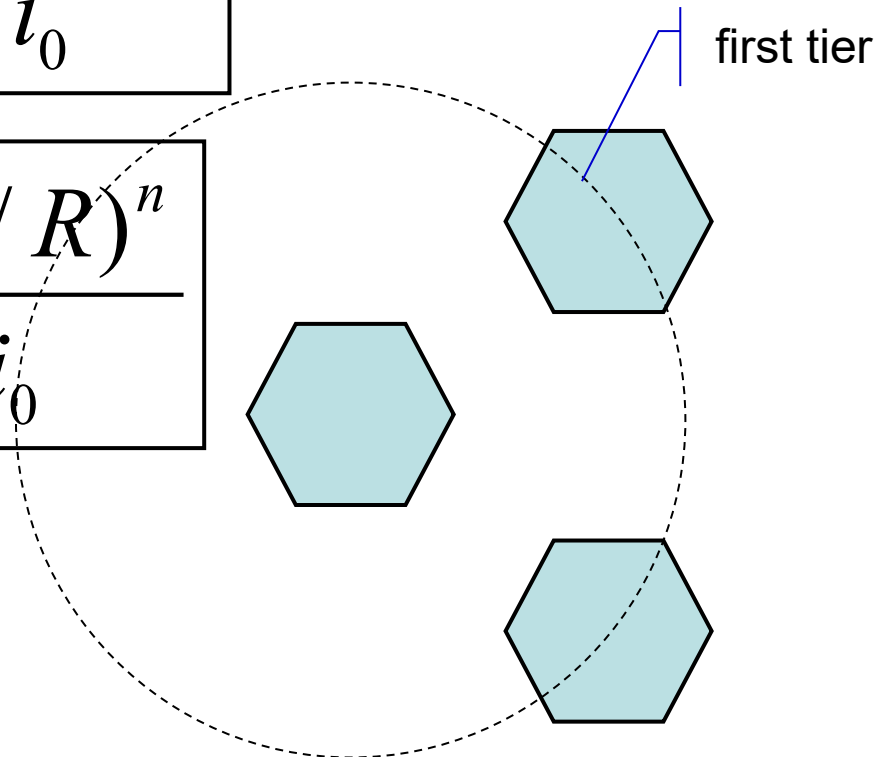


Lớp nhiều đồng kênh thứ nhất

First Layer of Co-Channels

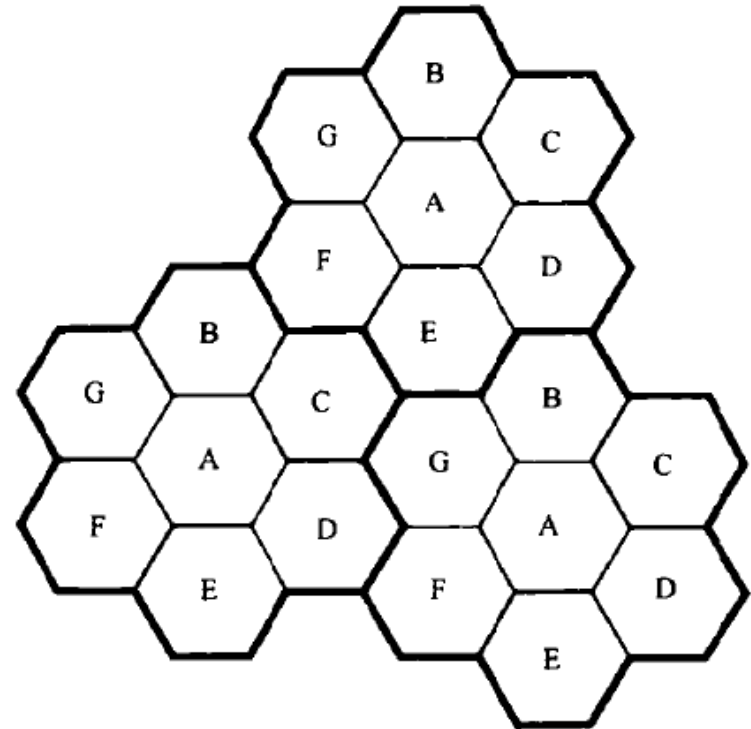
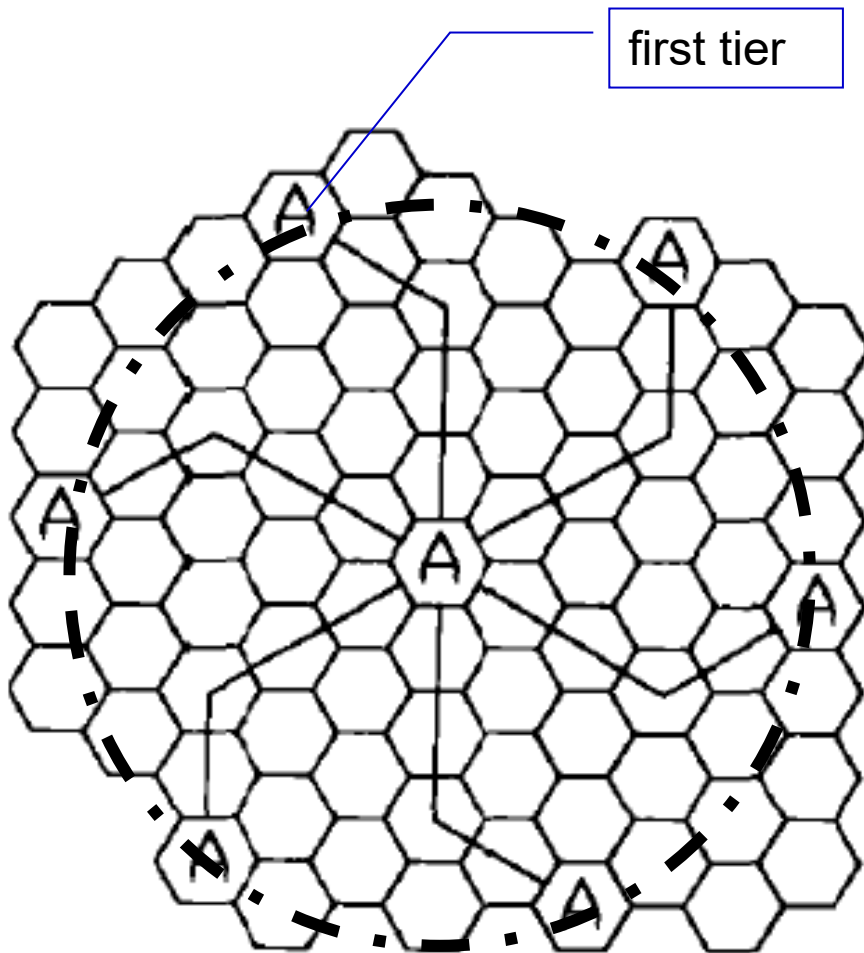
$$\frac{S}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0} \quad (2.9)$$

$$\frac{S}{I} = \frac{P_t R^{-n}}{i_0 P_t D^{-n}} = \frac{(D/R)^n}{i_0}$$



Lớp nhiều đồng kênh thứ nhất

First Layer of Co-Channels



Ví dụ 1.2

If a signal to interference ratio of 15 dB is required for satisfactory forward channel performance of a cellular system, what is the frequency reuse factor and cluster size that should be used for maximum capacity if the path loss exponent is

(a) $n = 4$, (b) $n = 3$?

Assume that there are 6 co-channels cells in the first tier, and all of them are at the same distance from the mobile. Use suitable approximations.

Ví dụ 1.2

Giả thiết sử dụng mẫu sử dụng lại 7-cell.

(a) $n = 4$

Sử dụng công thức

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

Tỷ số sử dụng lại tần số là: $D/R = 4.583$.

Sử dụng công thức

$$\frac{S}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

Tỷ số tín hiệu trên nhiễu là:

$$S/I = (4.583)^4 / 6 = 75.3 = 18.66 \text{ (dB)}$$

Như vậy $S/I > 15 \text{ dB}$, do đó có thể dùng mẫu $N = 7$

Ví dụ 1.2

(b) $n = 3$

Sử dụng công thức

Tỷ số sử dụng lại tần số là: $D/R = 4.583$.

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

Sử dụng công thức

Tỷ số tín hiệu trên nhiễu là:

$$SIR = (4.583)^3 / 6 = 16.04 = 12.05 \text{ (dB)}$$

$$\frac{S}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

Như vậy $S/I < 15 \text{ dB}$, do đó cần tăng kích cỡ của cluster ,

→ chọn $N = 12$ ($i = 2, j = 2$)

Ví dụ 1.2

Khi $N = 12$ - cell

Sử dụng công thức

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

Tỷ số sử dụng lại tần số là: $D/R = 6.0$

Sử dụng công thức

$$\frac{S}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0}$$

Tỷ số tín hiệu trên nhiễu là:

$$S/I = (6.0)^3 / 6 = 36 = 15.56 \text{ (dB)}$$

Như vậy $S/I > 15 \text{ dB}$, do đó với $n=3$, chỉ có thể dùng mẫu $N = 12$

Mối quan hệ giữa dung lượng và E_b/N_0

Ví dụ 1.3

Một hệ thống CDMA có bandwidth channel là 1,25 MHz, tốc độ dữ liệu băng gốc là 13 kbps, tỉ số E_b/N_0 (the energy per bit to noise power spectral density ratio) yêu cầu tối thiểu là 10 dB. Bỏ qua nhiễu nhiệt.

(a) Tính số lượng thuê bao tối đa mà hệ thống có thể phục vụ khi sử dụng anten đẳng hướng?

(b) Tính số lượng thuê bao tối đa mà hệ thống có thể phục vụ khi sử dụng sector hóa 60° ?

$$U = 1 + \frac{W/R}{E_b/N_0} - \frac{\eta}{S}$$

Đáp án:

$W = 1,25 \text{ MHz}$, $R = 13 \text{ kbps}$, số $E_b/N_0 = 10 \text{ dB}$, $\eta = 0$

(a) Áp dụng công thức: $U = 1 + \frac{W/R}{E_b/N_0} - \frac{\eta}{S}$, với $\eta = 0$ ta có:

$$U = 1 + \frac{1.25 \times 10^6 / 13 \times 10^3}{10} = 1 + 9.6 = 11 \text{ users}$$

(b) $U = 11 \times 6 = 66 \text{ users}$

BÀI TẬP

- Một hệ thống thông tin di động yêu cầu CCI tối thiểu là 20 dB. Tính giá trị D/R nếu giả thiết số mũ suy hao là 3
- Nếu SNR của liên kết truyền thông không dây là 20 dB và băng thông RF là 30 kHz, hãy xác định tốc độ dữ liệu lý thuyết tối đa có thể đạt được

BÀI TẬP

Nếu một máy phát tạo ra công suất 50 W, hãy biểu thị công suất phát theo đơn vị (i) dBm và (ii) dBW. Công suất này được áp dụng cho ăng ten có mức tăng ích 5 dB với tần số sóng mang là 1 GHz.

(a) Tìm công suất nhận được tính bằng dBm ở khoảng cách không gian tự do cách ăng-ten 200 m. Độ tăng anten thu là 3 dB

(b) Tính công suất thu được tại anten thu nằm cách máy phát 10 km.

(c) Mật độ phổ công suất nhiễu của máy thu là $15 \times 10^{-20} \text{ W / Hz}$ và băng thông hệ thống là 2 MHz. Tính tỷ số tín hiệu trên tạp âm tính theo dB tại anten thu nằm cách máy phát 10 km.

CÁC BIỆN PHÁP GIẢM NHIỀU ĐỒNG KÊNH

- Tăng khoảng cách giữa 2 cell
- Sử dụng anten định hướng tại các trạm gốc
- Giảm độ cao của các anten trạm gốc

Tăng khoảng cách các cell cùng tần số

❖ Với một kích thước cell nhất định thì khoảng cách sử dụng lại tần số phụ thuộc vào số nhóm tần số N

❖ N càng lớn thì khoảng cách sử dụng lại tần số càng lớn và ngược lại.

Các cell cùng tên được cấp phát cùng một nhóm tần số vô tuyến.

Một cụm - **cluster** có kích cỡ N cell, được lặp lại tại các vị trí địa lý khác nhau trong toàn bộ vùng phủ sóng.



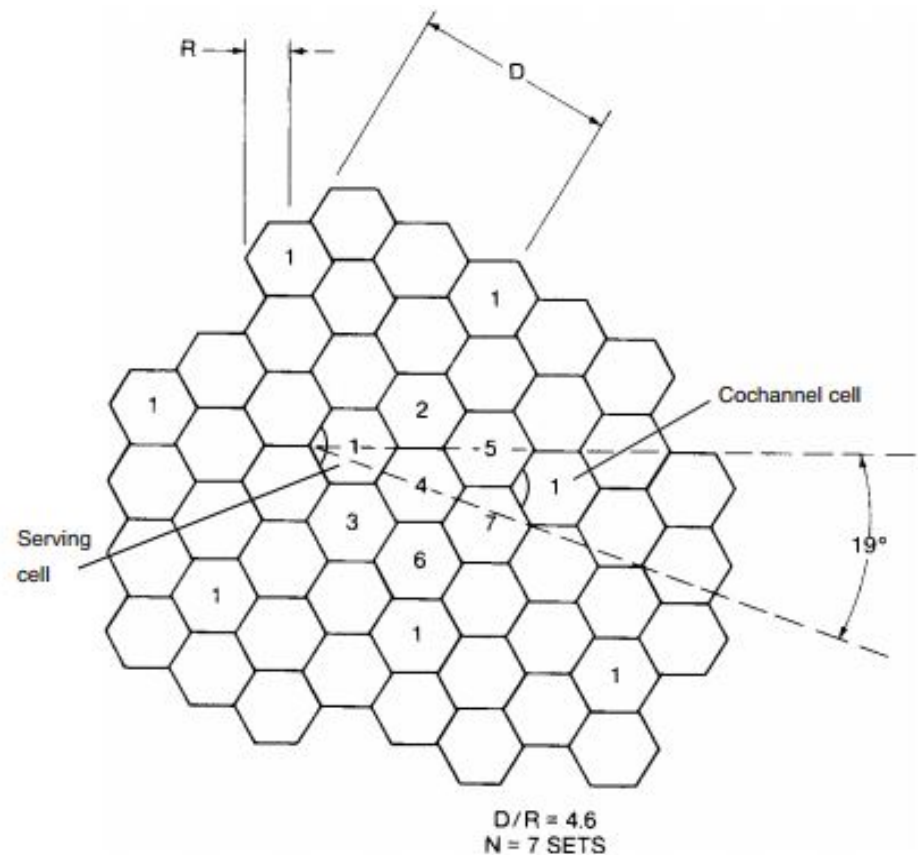
Tăng khoảng cách các cell cùng tần số

Hệ số giảm nhiễu đồng kênh:

$$q = \sqrt{3N}$$

Khoảng cách trung bình sử dụng
lập tần số:

$$D = R \sqrt{3N}$$



Sử dụng anten định hướng tại trạm gốc

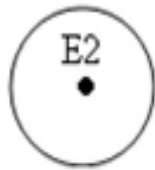
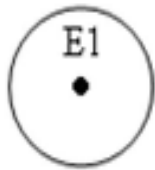
Phục vụ cho 2 mục đích sau:

Sẽ làm giảm nhiễu đồng kênh hơn nữa nếu nhiễu không được loại bỏ bởi khoảng cách cố định giữa hai cell đồng kênh.

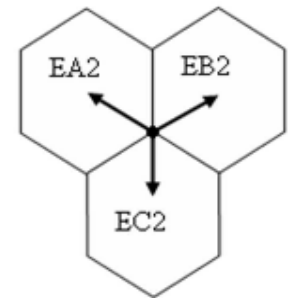
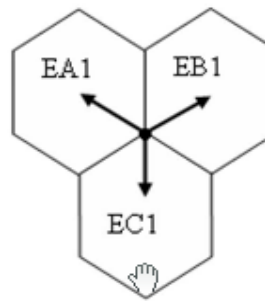
Dung lượng của kênh sẽ tăng khi lưu lượng truy cập tăng.

Sử dụng anten định hướng tại trạm gốc

So sánh giảm nhiễu khi sử dụng anten vô hướng và anten định hướng



Anten vô hướng



Anten định hướng

➔ Sử dụng anten định hướng sẽ giảm nhiễu tốt hơn anten vô hướng

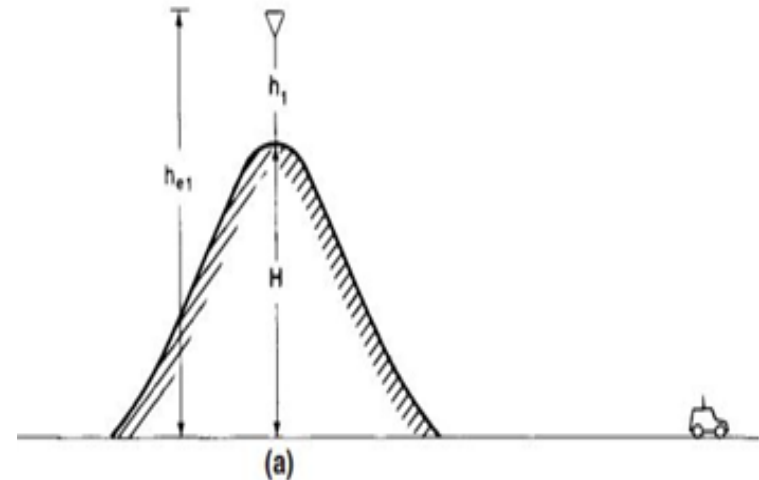
Giảm độ cao của anten trạm gốc

- ❖ Chỉ hiệu quả trong trường hợp mặt đất phẳng.
- ❖ Không hiệu quả khi giảm độ cao anten ở các đỉnh núi cao, một thung lũng hay trong khu rừng.

Giảm độ cao của anten trạm gốc

1. Trên đỉnh núi cao

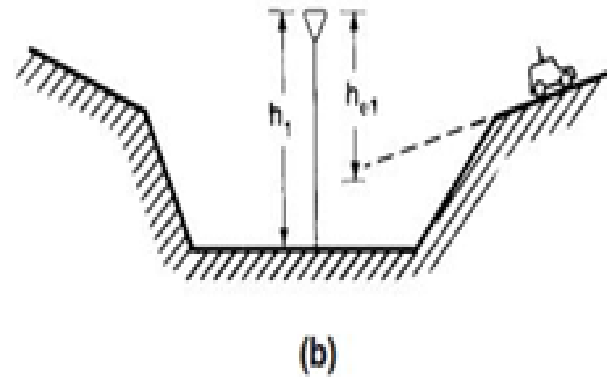
- ❖ Giảm độ cao anten không làm giảm công suất nhận được hoặc ở vị trí cell (tế bào) hoặc ở một điện thoại di động.
- ❖ Khi độ cao anten giảm một nửa thì hệ số tăng ích $G = 0\text{dB}$



Giảm độ cao của anten trạm gốc

2. Trong thung lũng

- ❖ Giảm độ cao anten ở trong thung lũng ảnh hưởng trong việc giảm công suất bức xạ trong một khu vực có độ cao xa.
- ❖ Hệ số tăng ích của anten giảm -12dB.
- ❖ Công suất giảm -6dB khi giảm một nửa chiều cao anten.



Giảm độ cao của anten trạm gốc

3. Trong khu rừng

- ❖ Không thích hợp cho việc giảm độ cao anten để giảm nhiễu đồng kênh do tín hiệu mong muốn sẽ giảm quá mức ở khu vực lân cận anten và trong cell của nó.
- ❖ Giảm độ cao anten còn phụ thuộc nhiều yếu tố như: lá cây, cành cây, loại cây, mật độ phân bố và khoảng cách giữa các cây...

THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐỂ GIẢM NHIỀU ĐỒNG KÊNH

Trường hợp 01

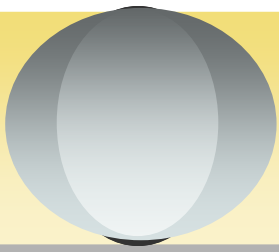
Bề mặt phẳng



Trường hợp 02

Bề mặt không phẳng





Trường hợp bề mặt phẳng

a. One - Interference

Khi di động được đặt tại $(r, 0)$,
thì C/I được tính:

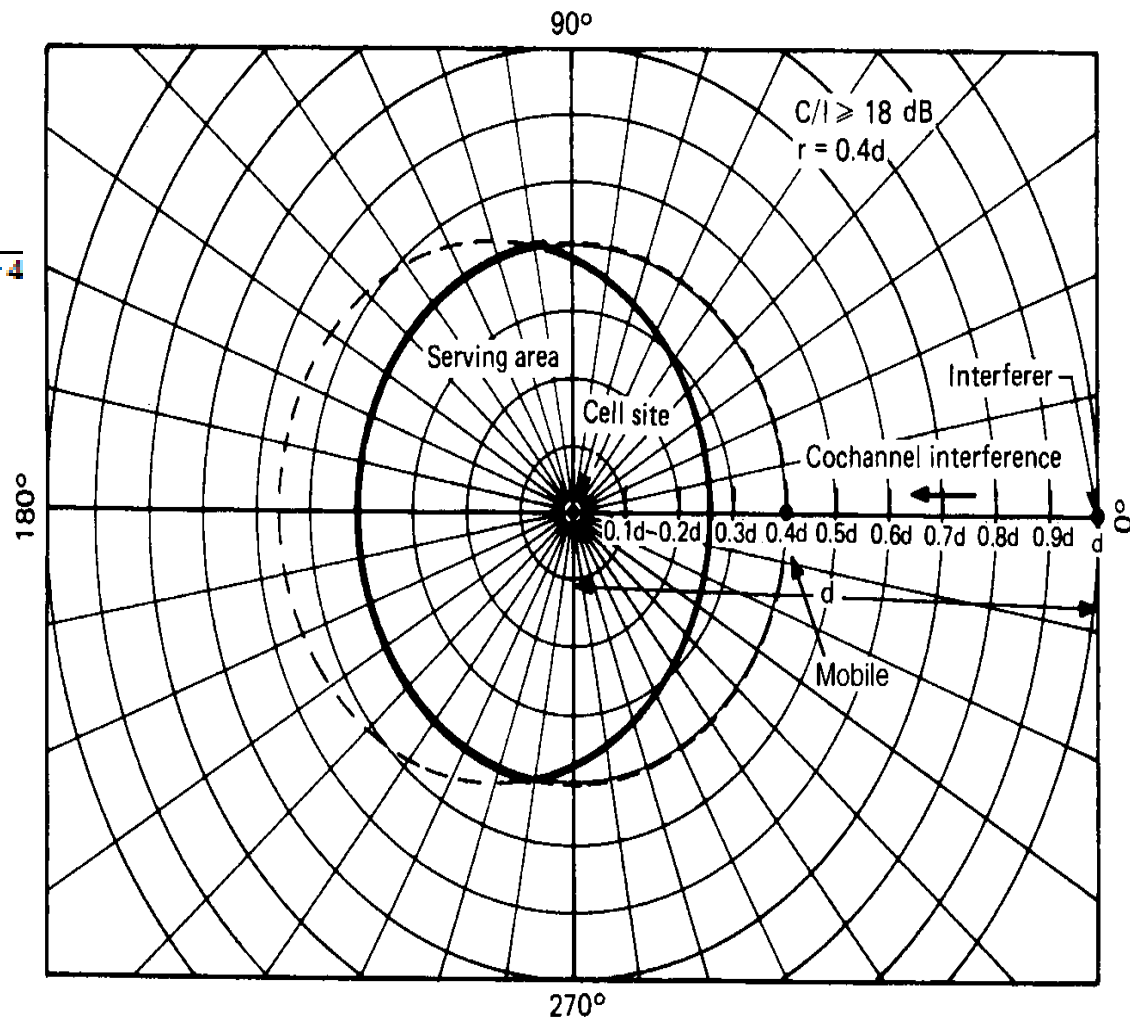
$$\frac{C}{I} \leq \frac{P_0 r^{-4}}{P_1 \left[\sqrt{r^2 + d^2} - 2rd \cos(\theta - \theta_1) \right]^{-4}}$$

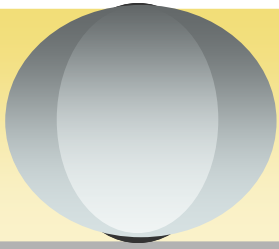
$\theta_1 = 0$ thì $P_1 = P_0$. Khi
đó C/I là:

$$\frac{C}{I} \leq \left(1 + \frac{d^2}{r^2} - \frac{2d}{r} \cos \theta \right)^2$$

Khi $r = R$ thì không còn nhiễu:

$$\frac{C}{I} \leq \left(1 + \frac{d^2}{R^2} - \frac{2d}{R} \cos \theta \right)^2$$





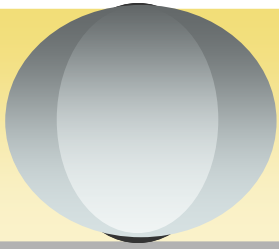
Trường hợp bề mặt phẳng

b. Multiple- Interference

Với K_I nhiều ta có:

$$\frac{C}{I} \geq \frac{P_0 r^{-4}}{\sum_{i=0}^{K_I} P_I \left[\sqrt{r^2 + d^2} - 2rd \cos(\theta - \theta_1) \right]^{-4}}$$

$$K_I \leq 6, r \leq R$$



Trường hợp bề mặt không phẳng

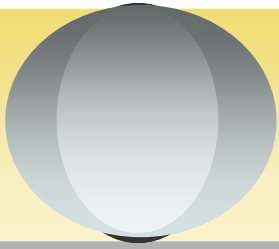
Có 2 cách để khắc phục đơn vị di động bị chẵn khi bề mặt không phẳng

01

Dự đoán area – to – area áp dụng

02

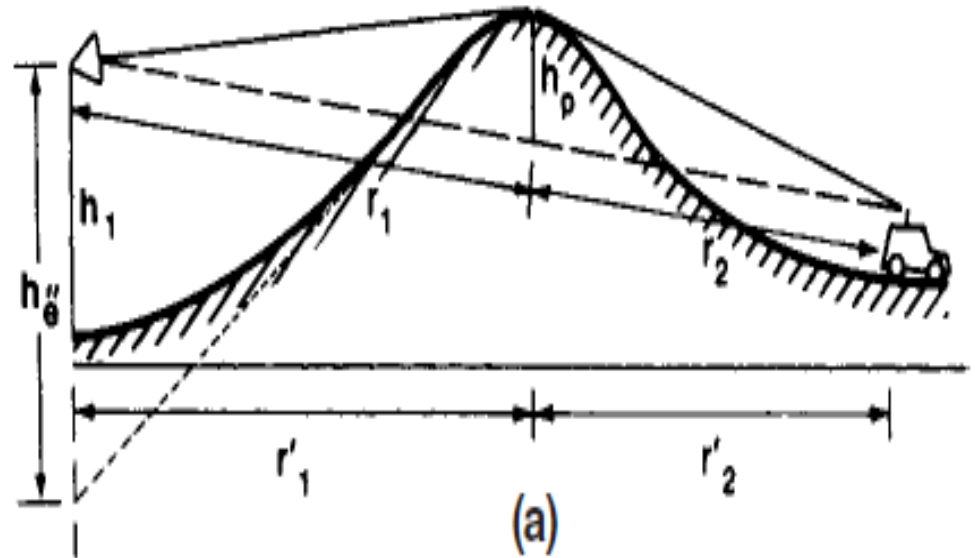
Dựa vào việc thu được suy hao
nhiều xạ

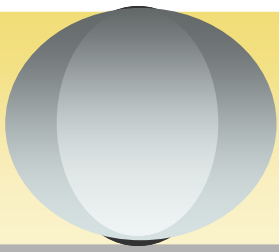


Trường hợp bề mặt không phẳng

1. Knife – edge đơn

$$v = -h_p \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}$$





Trường hợp bề mặt không phẳng

1. Knife – egde đơn

Suy hao nhiễu xạ được tính
xấp xỉ như sau:

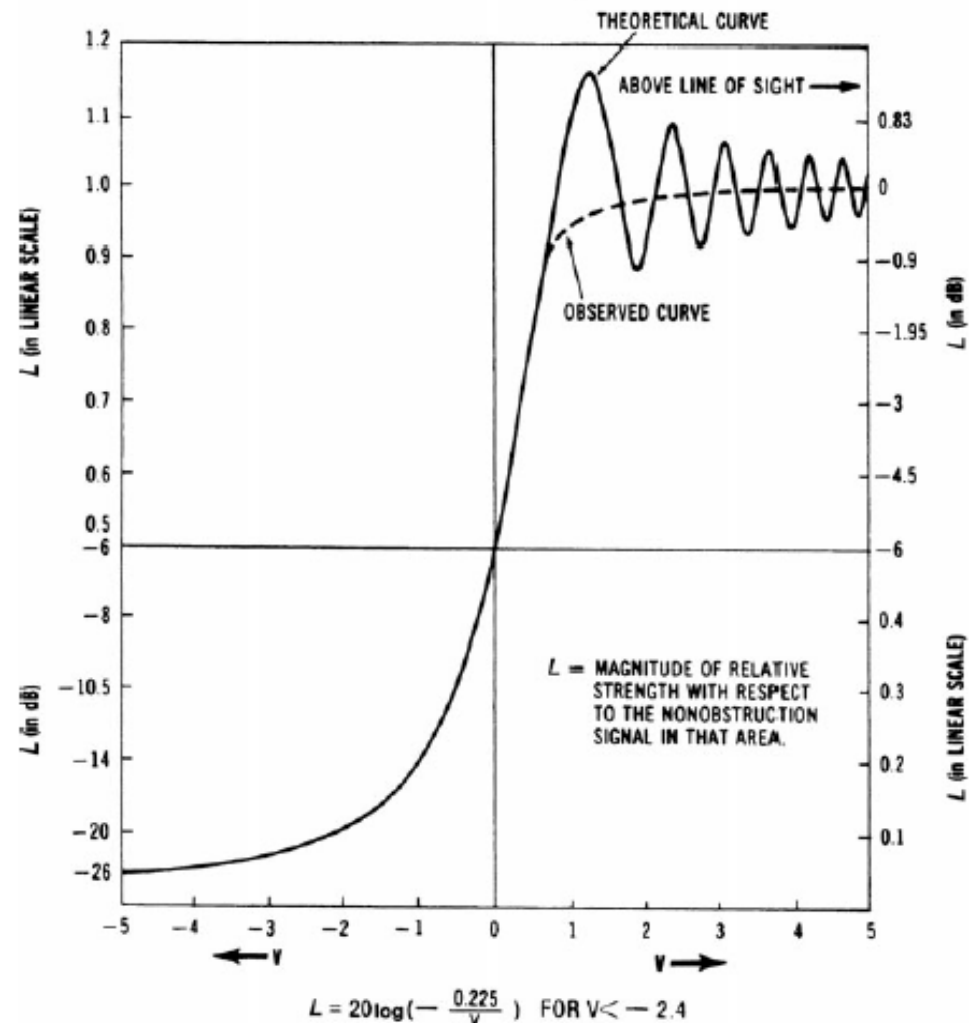
$$1 \leq v \quad L = 0 \text{ dB}$$

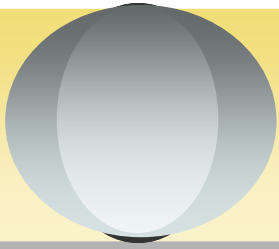
$$0 \leq v < 1 \quad L = 20 \log (0.5 + 0.62 v)$$

$$-1 \leq v < 0 \quad L = 20 \log (0.5 e^{0.95 v})$$

$$-2.4 \leq v < -1 \quad L = 20 \log \left(0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1 v + 0.38)^2} \right)$$

$$v < -2.4 \quad L = 20 \log \left(-\frac{0.225}{v} \right)$$





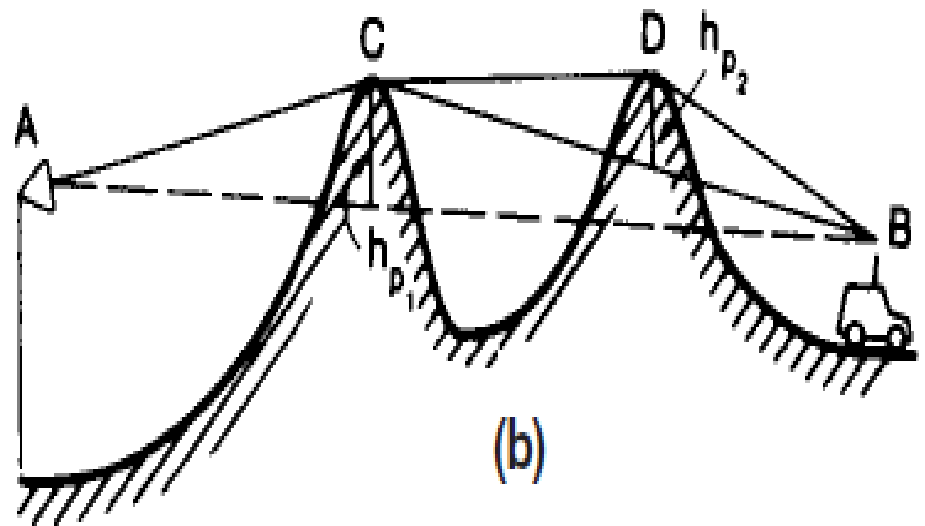
Trường hợp bề mặt không phẳng

2. Knife – edge đôi

Với mỗi tam giác ABC và BCD ta sẽ tính v_1, v_2 . Khi đó suy hao tương ứng của chúng là L_1, L_2 .

→ Suy hao nhiều xạ tổng là:

$$L = L_1 + L_2$$



Approaches to Cope with Increasing Capacity

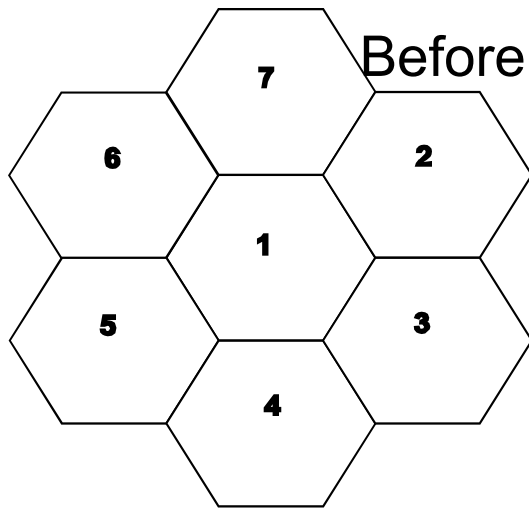
- Adding new channels or new frequency band
 - GSM uses two bands in Europe: 890-960 MHz, and 1710 – 1880 MHz
- Decrease cell size and at the same time reduce transmit power (**to keep CCI low**)
- Frequency borrowing

frequencies are taken from adjacent cells by congested cells
- **Increase the number of cell per cluster**
 - **Cell splitting:** **cells in areas of high usage can be split into smaller cells**
- **Cell sectoring**

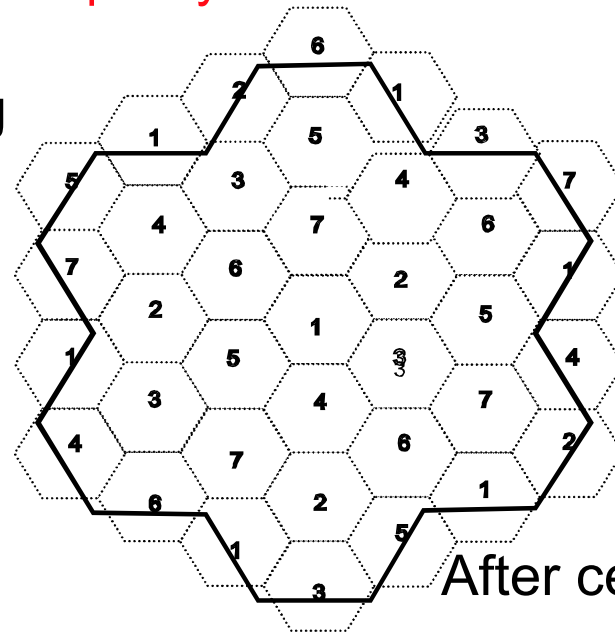
cells are divided into a number of wedge-shaped sectors, each with their own set of channels
- **Microcells (100 m – 1 km in diameter)**
 - compared to the standard cell size of 2-20 km in diameter
 - antennas move to buildings, hills, and lamp posts
- **Smart antennas**

Cell Splitting

- Consider the number of voice circuits per given service area.
 - If a base station can support X number of voice circuits, then cell splitting can be used to increase capacity



Before cell splitting

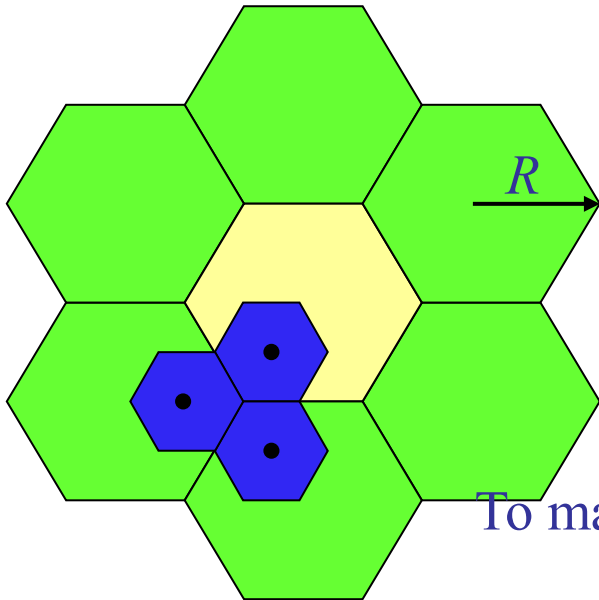


After cell splitting

- As shown above a rough calculation shows a factor of 4 increase.
- This is the reason for using more base stations in a given area

Cell Splitting

- This increase does not hold indefinitely for several reasons:
 - Eventually the BSs become so close together that line-of-sight conditions prevail and path loss exponent becomes less (e.g., 2 versus 4)
 - Obtaining real estate for increased number of base stations is difficult
 - As cell sizes become smaller, number of handoffs increases; eventually speed of handoff becomes a limiting factor
- Mini cells will have their own Tx and Rx antennas



Power at the boundary
of un-split cell:

$$P_u = P_{tu} R^{-n}$$

Power at the boundary
of a new mini cell:

$$P_{ms} = P_{tms} (R/2)^{-n}$$

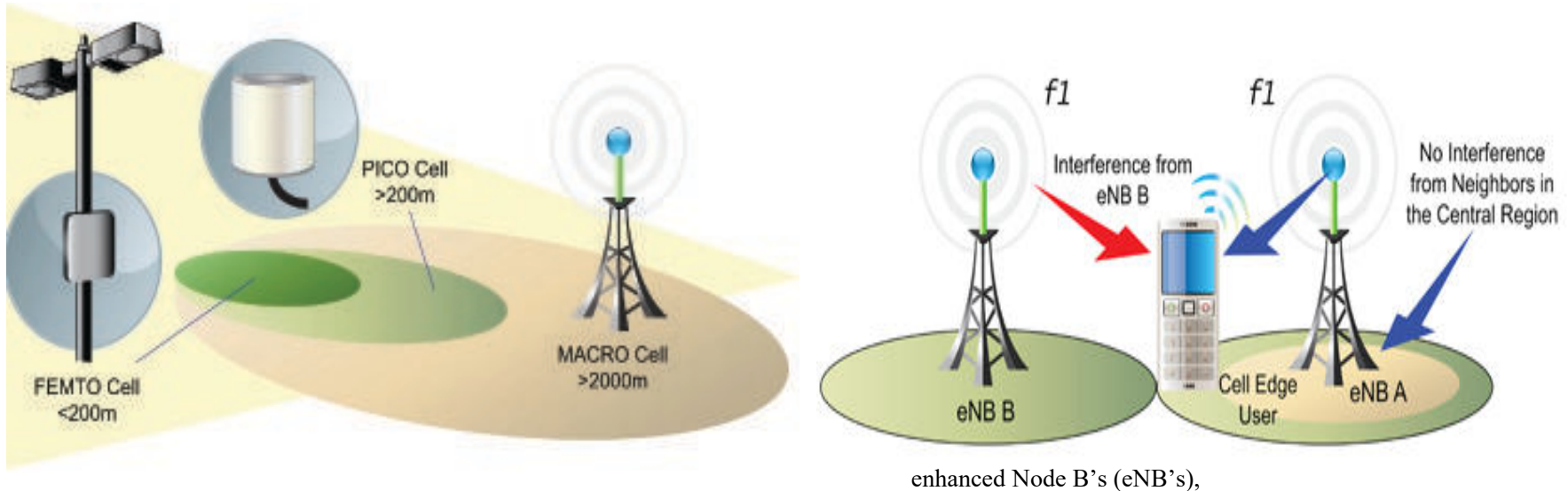
Where P_{tu} = transmitted power un-split cell

P_{tms} = transmitted power from mini cell

To maintain the same CCI performance $P_u = P_{ms}$

$$P_{tms} = P_{tu} / 2^n$$

Cell Splitting – Micro and Femto-Cells



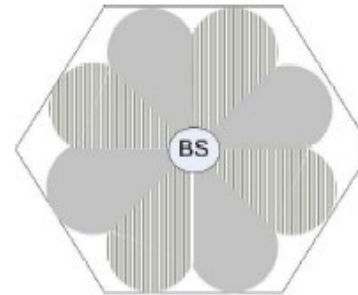
Microcells and femtocells are deployed by most major carriers as a way to allow their customers, both businesses as well as individuals, to deploy their own network(s) anywhere there is an Internet connection.

The sheer number of cells (large and small area), the inability for the carriers to control the position and use of them, and the handover between these ad hoc cells and the overall network create significant challenges in spectrum and interference management.

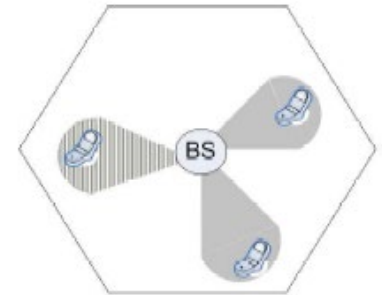
Smart Antennas

- BSs transmits the signal to the desired MU
 - With a maximum gain
 - Minimized transmitted power to other MUs.
- Overcomes the delay spread and multipath fading.
- Two types:

- Switched-beam antenna
 - Cell sectorisation: where a physical channel, such as a frequency, a time slot, a code or combination of them, can be reused in different minisectors if the CCI is tolerable.



(a) Switched beam system



(b) Adaptive beamforming system

- Adaptive beam-forming antenna
 - BS can form multiple independent narrow beams to serve the MUs (i.e. two or more MUs which are not close to each other geometrically can be served by different beams. Therefore, the same physical channel can be assigned to two or more MUs in the same cell if the CCI among them is tolerable.