

Chương 2.4 - Công nghệ Mạng Di Động

Mạng tế bào, tài nguyên tần số, fading và bảo mật

2.4. MẠNG TẾ BÀO (CELLULAR NETWORK)

2.4.1.1 Giới thiệu mạng tế bào (Cellular Networks)

- ❑ Mạng tế bào (Cellular Network) là mô hình tổ chức mạng không dây, trong đó vùng phủ sóng được chia thành nhiều ô nhỏ gọi là cell.
- ❑ Mỗi cell có một trạm thu phát gốc (Base Station - BS) đóng vai trò kết nối thiết bị di động với hệ thống mạng lõi.
 - Khái niệm mạng tế bào lần đầu tiên được đề xuất bởi Bell Labs vào năm 1971, nhằm giải quyết bài toán **tối ưu hóa dung lượng mạng di động**.
 - Mạng tế bào cho phép chia nhỏ khu vực phủ sóng thành nhiều cell nhỏ hơn thay vì sử dụng một trạm phát công suất lớn duy nhất.
- ❑ Đặc điểm quan trọng nhất của mạng tế bào là khả năng tái sử dụng tần số (Frequency Reuse), giúp tăng dung lượng mạng mà không cần mở rộng phổ tần.
- ❑ Mạng tế bào đóng vai trò hạ tầng cốt lõi trong viễn thông di động, cho phép hàng tỷ người dùng trên thế giới thực hiện cuộc gọi thoại, truyền dữ liệu và truy cập Internet một cách linh hoạt.

Đây là mô hình nền tảng của các hệ thống thông tin di động hiện đại, từ thế hệ đầu tiên (1G) đến thế hệ thứ năm (5G), và đang tiếp tục phát triển hướng tới 6G.

2.4.2.1 Giới thiệu mạng tế bào (Cellular Networks), ...

- ❑ Đặc điểm quan trọng nhất của mạng tế bào là khả năng tái sử dụng tần số (**Frequency Reuse**), cho phép nhiều cell **không liền kề** có thể sử dụng lại cùng một dải tần mà không gây nhiễu đáng kể, nhờ vào quy hoạch tần số thông minh.
- ❑ Tái sử dụng tần số giúp tối ưu hóa tài nguyên **phổ tần**, mở rộng dung lượng mạng mà không cần tăng thêm phổ tần số, một yếu tố đặc biệt quan trọng trong bối cảnh tài nguyên tần số có hạn.

Nguyên tắc cơ bản của mạng tế bào

- Sử dụng nhiều trạm gốc nhỏ thay vì một trạm gốc công suất lớn, giúp tăng hiệu quả sử dụng tần số, giảm nhiễu xuyên kênh và tối đa hóa số lượng người dùng có thể phục vụ đồng thời.
- Sử dụng cơ chế chuyển giao kết nối (**handover**) giữa các trạm gốc để cho phép thiết bị di động di chuyển liên tục giữa các cell mà vẫn duy trì kết nối

2.4.2.2. Cấu trúc của mạng tế bào

Mạng tế bào có thể được chia thành hai phần chính:

- ❑ **Mạng truy nhập vô tuyến** (Radio Access Network - RAN): Đây là lớp mạng nơi các thiết bị di động kết nối vào hệ thống thông qua các trạm thu phát gốc (**Base Station** - BS).
- ❑ **Mạng lõi** (Core Network - CN): Điều phối tất cả các hoạt động của hệ thống, bao gồm quản lý cuộc gọi, dữ liệu và định tuyến kết nối.

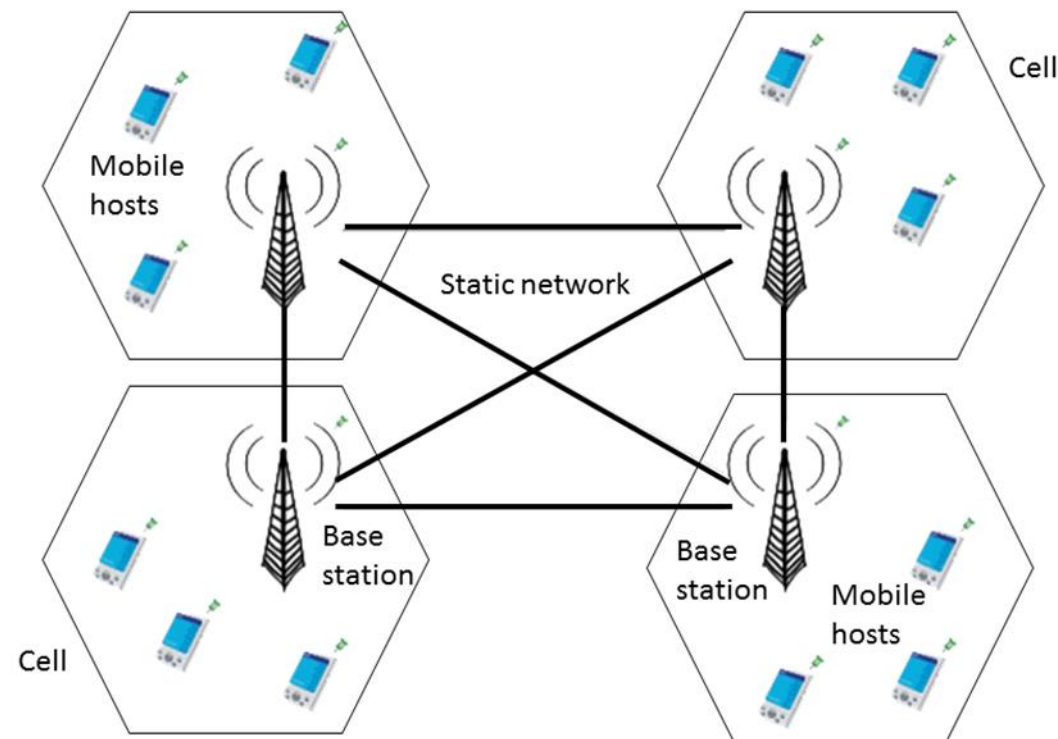
Mạng tế bào có kiến trúc phân tầng:

•**Tầng truy nhập vô tuyến (RAN - Radio Access Network):**

Gồm các Base Station kết nối với thiết bị di động.

•**Tầng mạng lõi (Core Network):** Kết nối các cell và quản lý thông tin người dùng.

Hình 2.4.2.2 minh họa mạng tế bào bao gồm trạm gốc (Base Station), thiết bị di động (Mobile Hosts), các ô tế bào (Cells), và mạng lõi (Static Network).



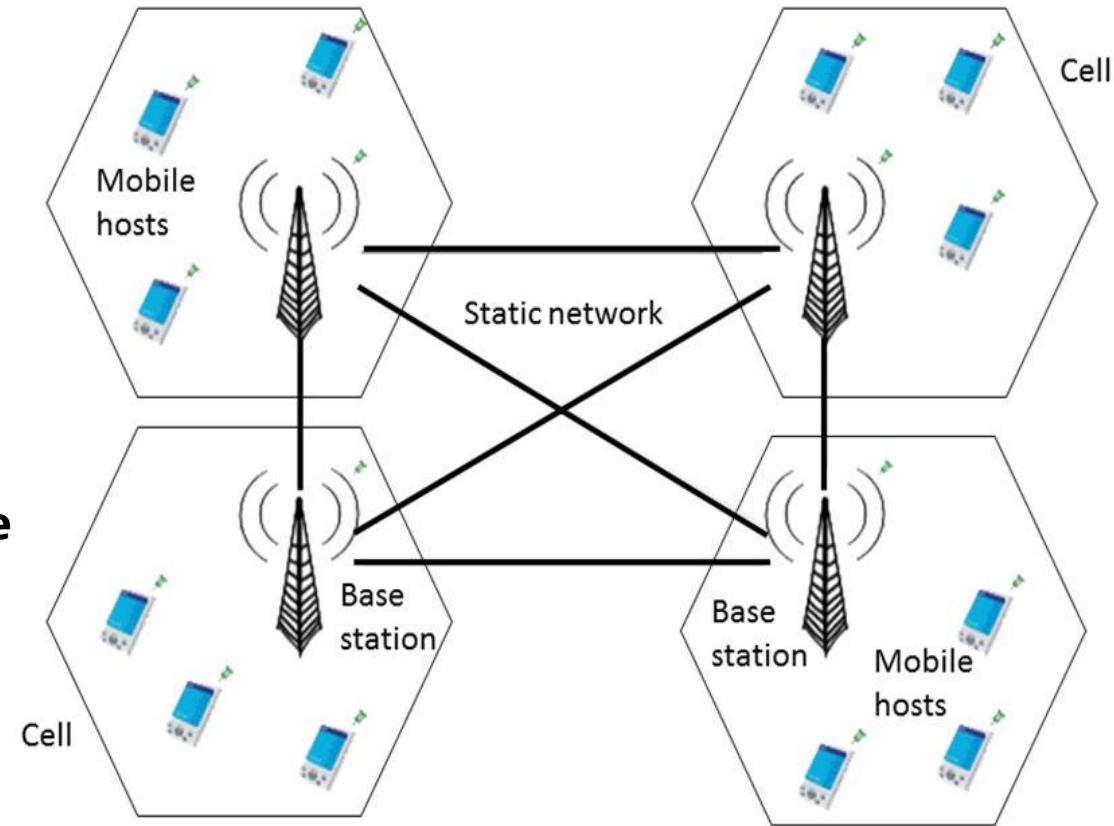
2.4.2.2. Cấu trúc của mạng tế bào,...

❑ Ô tế bào (Cell)

- Hình lục giác đại diện cho **một cell trong mạng di động**, là vùng phủ sóng do một trạm gốc cung cấp.
- Mỗi cell có một **trạm thu phát gốc (Base Station - BS)** đóng vai trò kết nối các thiết bị di động trong khu vực với mạng lõi.

❑ Trạm thu phát gốc (Base Station - BS)

- Biểu tượng cột ăng-ten đại diện cho **trạm thu phát gốc (Base Station - BS)**.
- **Nhiệm vụ của BS:**
 - Kết nối với các thiết bị di động trong cell.
 - Quản lý truyền dữ liệu giữa thiết bị di động và mạng lõi.
 - Định tuyến dữ liệu đến các trạm BS khác hoặc mạng lõi.



2.4.2.2. Cấu trúc của mạng tế bào, ...

❑ Thiết bị di động (Mobile Hosts)

• Các biểu tượng điện thoại màu xanh thể hiện **thiết bị di động (Mobile Hosts)** trong từng cell.

• Chức năng:

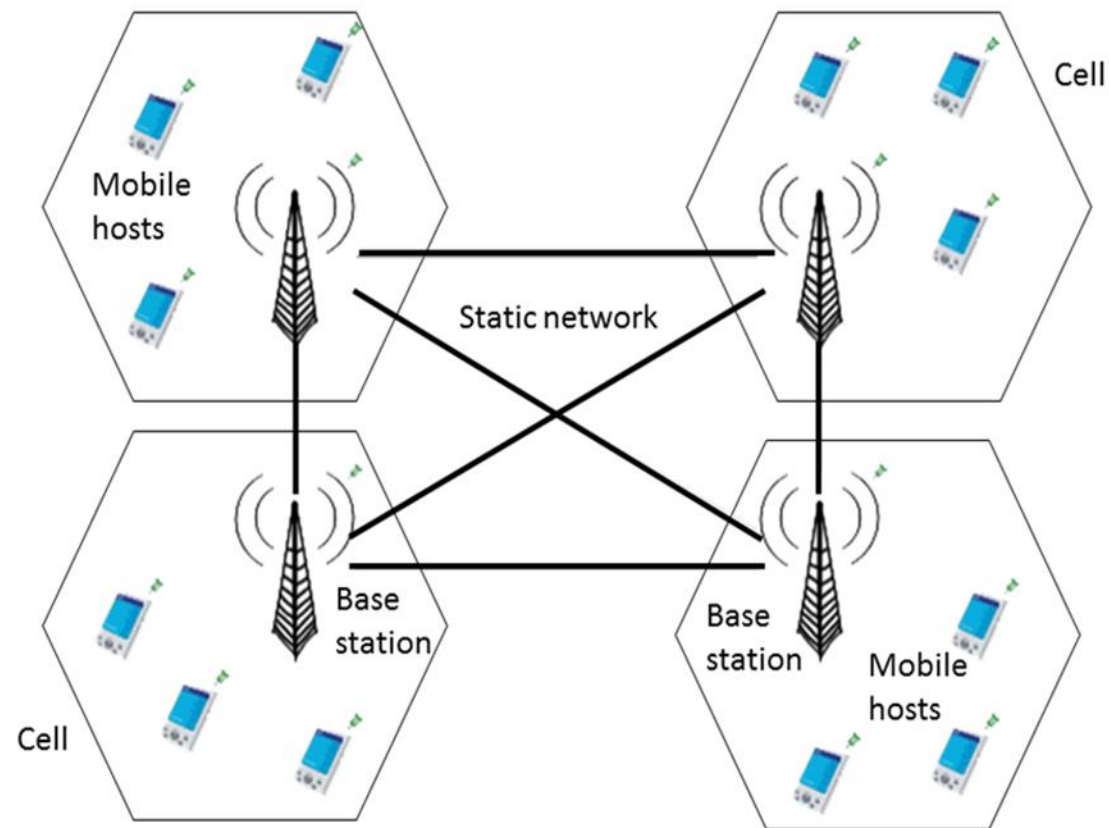
- Kết nối với BS để thực hiện cuộc gọi, gửi/nhận dữ liệu.
- Chuyển vùng (handover) khi di chuyển từ cell này sang cell khác.

❑ Mạng lõi (Static Network)

• Các đường kết nối giữa **Base Stations** thể hiện **mạng lõi cố định (Static Network)**.

• Vai trò của mạng lõi:

- Chuyển tiếp dữ liệu giữa các cell.
- Quản lý cuộc gọi và điều phối tài nguyên mạng.
- Kết nối mạng di động với mạng diện rộng như **Internet hoặc mạng viễn thông khác**.



2.4.2.2. Cấu trúc của mạng tế bào, ...

❑ **Khi một thiết bị di động (Mobile Host) muốn thực hiện cuộc gọi hoặc truy cập Internet:**

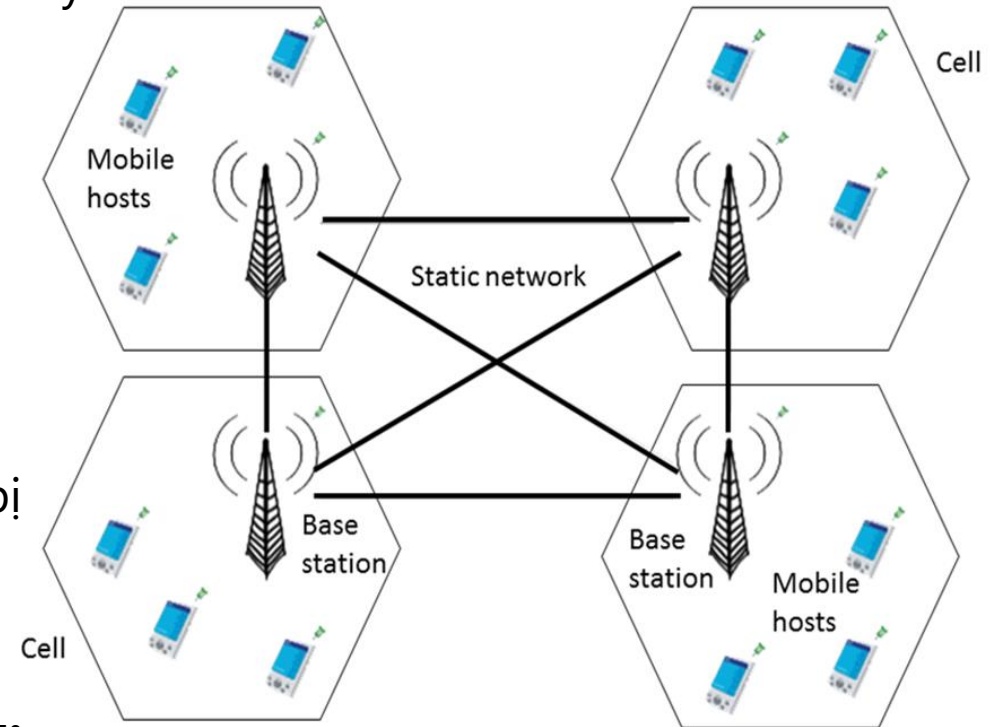
- Thiết bị gửi tín hiệu đến **Base Station** trong cell của nó.
- Base Station truyền tín hiệu đến **mạng lõi (Static Network)** để xử lý.

❑ **Nếu thiết bị di động di chuyển từ cell này sang cell khác (Handover):**

- Base Station hiện tại sẽ chuyển giao kết nối của thiết bị sang Base Station của cell mới.
- Quá trình này được điều phối bởi **mạng lõi** để đảm bảo không bị gián đoạn kết nối.

❑ **Giao tiếp giữa các thiết bị di động trong các cell khác nhau:**

- Nếu hai thiết bị di động ở hai cell khác nhau muốn liên lạc, tín hiệu sẽ được truyền qua **Base Station của mỗi cell** và đi qua mạng lõi để kết nối hai thuê bao.

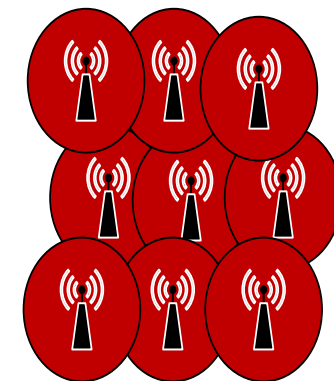


i. Ô tế bào (Cell)

Mạng tế bào được tổ chức thành các ô (cell), mỗi ô được phục vụ bởi một trạm thu phát gốc (**Base Station** - BS).

1. Propagation models represent cell as a circular area

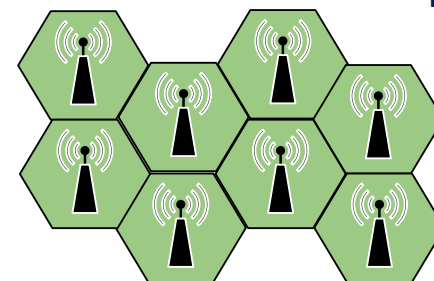
- Mô hình lan truyền tín hiệu thường giả định cell có dạng hình tròn.
- Nhưng trên thực tế, hình tròn không tối ưu khi xếp chồng các cell lên nhau.



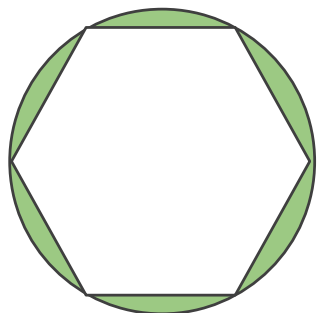
Theoretical Propagation Pattern
Mô hình lan truyền lý thuyết

2. Cellular Grid Design mô hình lục giác giúp dễ dàng phân tích và quy hoạch mạng.

- Các cell lục giác giúp tránh chồng lấn vùng phủ sóng và tối ưu hóa việc sử dụng phổ tần.



Cellular Grid Design
Thiết kế mạng ô lục giác



3. Actual Cellular Grid Layout – Lưới tế bào thực tế

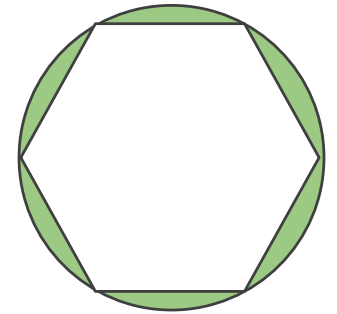
- Trong thực tế, hình dạng của cell không phải lúc nào cũng là hình lục giác hoàn hảo.
- Do ảnh hưởng của địa hình (núi, tòa nhà, vật cản, môi trường đô thị hoặc nông thôn), các cell có thể có hình dạng không đều nhau.



Actual Cellular Grid Layout
Lưới tế bào thực tế

i. Ô tế bào (Cell),...

- Mỗi ô cell được phân bổ một phần phổ tần riêng biệt, giúp giảm nhiễu và tối ưu hóa sử dụng tài nguyên tần số.
- Khi người dùng di chuyển, hệ thống sẽ tự động chuyển vùng giữa các ô (**handover**) mà không làm gián đoạn dịch vụ.



Nhận xét có thể thấy chức năng và vai trò của cell là định danh kiểm soát quyền truy cập vô tuyến (MAC) chức năng tầng Data Link và điều chế tín hiệu vô tuyến giữa thiết bị di động và các trạm BS (chức năng tầng vật lý).

ii. Trạm gốc (Base Station - BS)

- ❑ Trạm thu phát gốc (BS) là thành phần chính quan trọng nhất trong mỗi ô tế bào, chịu trách nhiệm thu và phát tín hiệu vô tuyến với thiết bị di động trong khu vực.
- ❑ BS có thể chia thành các loại khác nhau tùy thuộc vào phạm vi phủ sóng.

Bảng 2.4.2.2. Phân loại các trạm BS

| Loại BS | Phạm vi phủ sóng | Ứng dụng |
|-----------|------------------|--|
| Macrocell | Vài km | Dùng cho vùng nông thôn, khu vực rộng lớn |
| Microcell | Vài trăm mét | Phù hợp với khu đô thị đông dân cư |
| Picocell | Dưới 100m | Dùng trong các tòa nhà, trung tâm thương mại |
| Femtocell | Dưới 10m | Hỗ trợ tín hiệu trong hộ gia đình, văn phòng nhỏ |

Trạm BS hoạt động ở tầng vật lý (Truyền sóng vô tuyến đến thiết bị di động), và tầng liên kết dữ liệu (Quản lý kết nối MAC giữa thiết bị người dùng và các trạm BS).

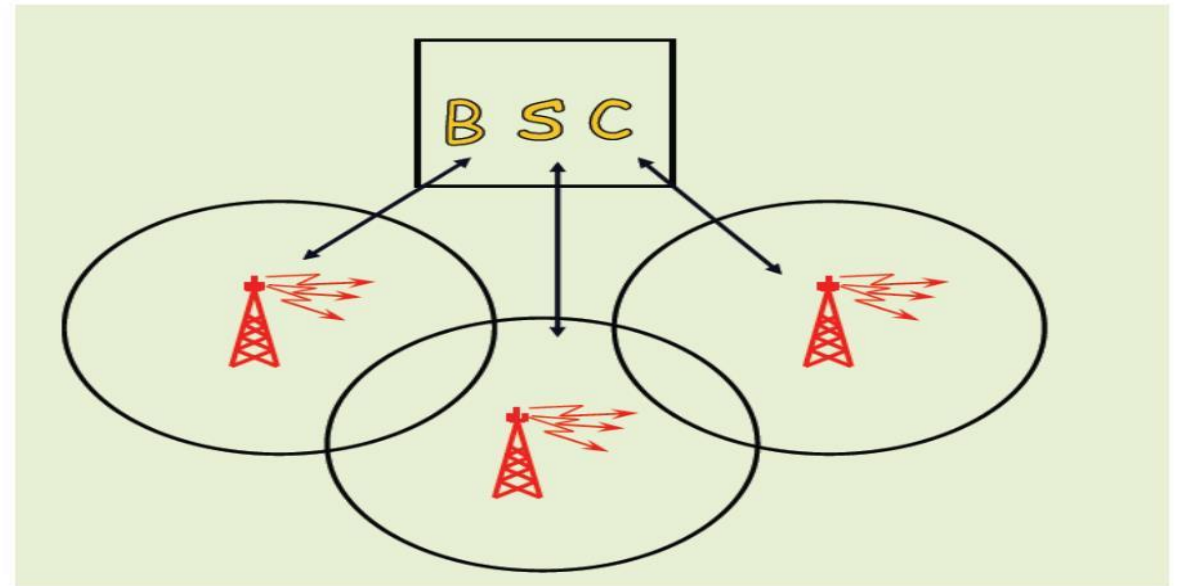
iii. Bộ điều khiển trạm gốc (Base Station Controller - BSC)

Bộ điều khiển trạm gốc BSC là thành phần trung gian giữa BS(Base Station) và mạng lõi (Core Network), chịu trách nhiệm quản lý nhiều trạm gốc trong một khu vực.

Chức năng của BSC:

- Điều phối phân bổ tài nguyên vô tuyến cho các BS.
- Xử lý quá trình handover nội vùng giữa các BS.
- Giảm tải cho tổng đài di động (MSC - Mobile Switching Center).

Base Station Controller



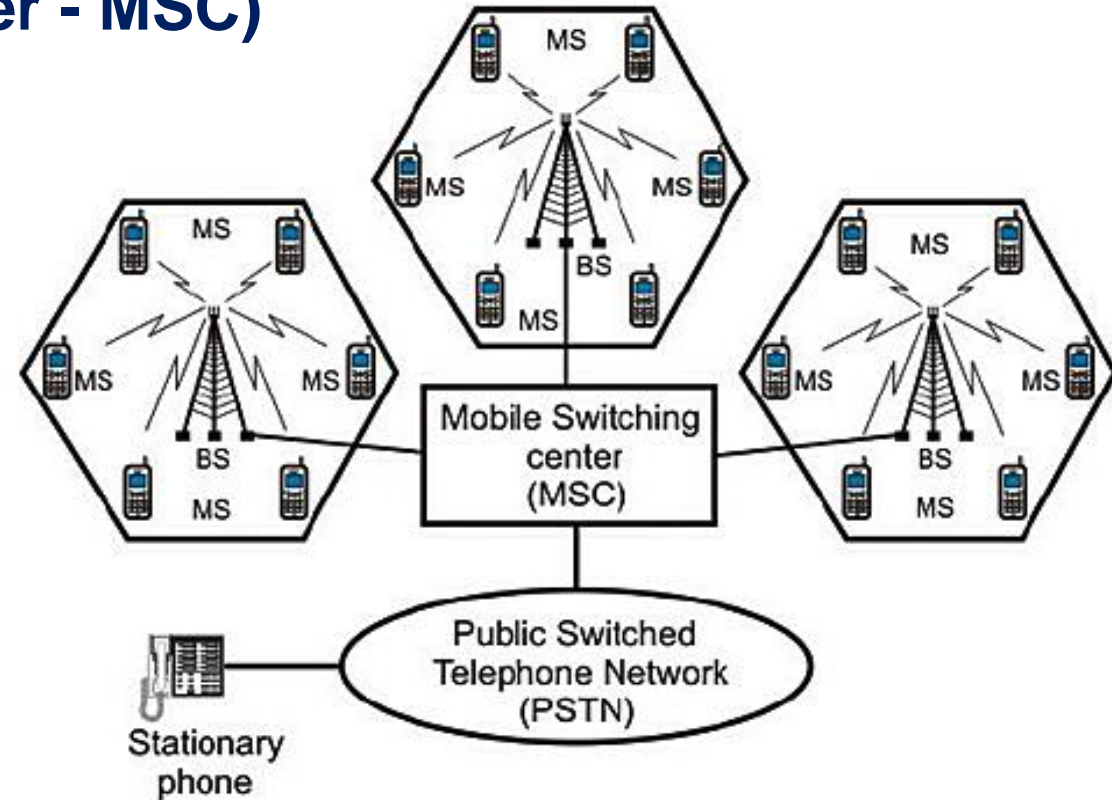
BSC hoạt động ở tầng liên kết dữ liệu (Kiểm soát kênh dữ liệu giữa BS và thiết bị di động) và tầng mạng (xử lý thông tin điều khiển của mạng tế bào).

iv. Tổng đài di động (Mobile Switching Center - MSC)

- ❑ MSC đóng vai trò như **trung tâm điều phối chính của mạng lõi**, chịu trách nhiệm xử lý cuộc gọi kết nối giữa các thuê bao di động và kết nối mạng di động với mạng viễn thông cố định.
- ❑ Thực hiện các chức năng như xác thực thuê bao, chuyển vùng (roaming) và quản lý dữ liệu người dùng.

Chức năng chính của MSC:

- Kết nối mạng di động với mạng viễn thông cố định (PSTN/ISDN).
- Thực hiện xác thực thuê bao, định tuyến cuộc gọi.
- Hỗ trợ chuyển vùng (roaming), cho phép người dùng di chuyển giữa các vùng khác nhau.
- Quản lý dữ liệu cuộc gọi, bao gồm ghi nhận cước phí và kiểm soát dịch vụ.



Lưu ý: MSC có vai trò quan trọng trong mạng GSM (2G) và UMTS (3G), nhưng bị loại bỏ trong LTE (4G) và 5G.

v. Mạng lõi (Core Network)

❑ Mạng lõi là trung tâm điều phối toàn bộ hoạt động của hệ thống mạng tế bào, bao gồm các thành phần quan trọng như:

- HLR (Home Location Register): Cơ sở dữ liệu lưu trữ thông tin đăng ký của thuê bao.
- VLR (Visitor Location Register): Lưu trữ tạm thời thông tin thuê bao khi họ di chuyển vào vùng phủ sóng mới.
- GGSN (Gateway GPRS Support Node) & SGSN (Serving GPRS Support Node): Hỗ trợ kết nối dữ liệu Internet và dịch vụ GPRS/4G/5G.
- MME (Mobility Management Entity): Điều phối quản lý di động trong mạng 4G/5G

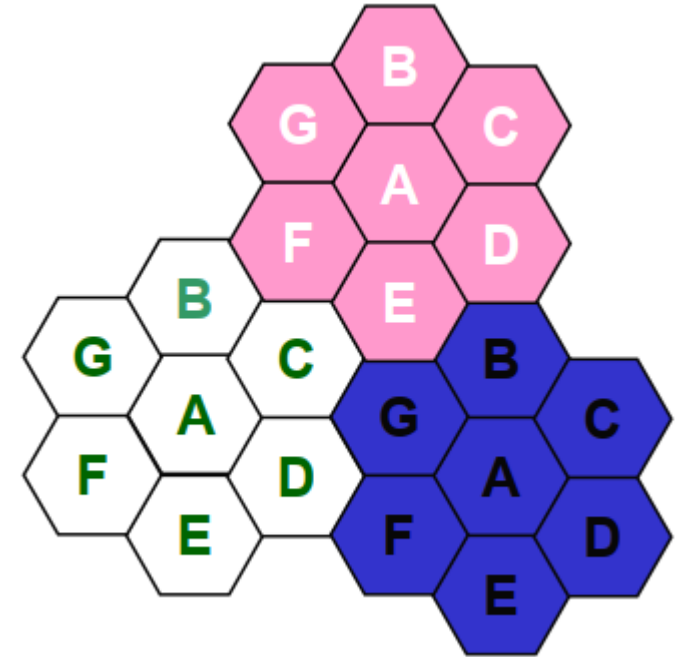
Các thành phần mạng lõi hoạt động ở tầng vận chuyển (Transport Layer) : Quản lý dữ liệu thoại và dữ liệu IP, đồng thời cung cấp dịch vụ cho người dùng cuối : hoạt động ở tầng ứng dụng (Application layer).

vi. Nhóm các tế bào (Cluster)

❑ **Cluster**: (nhóm các ô tế bào) là tập hợp một số cell sử dụng các tần số khác nhau, nhằm giảm thiểu nhiễu và tối ưu hóa tài nguyên **phổ tần**.

Mỗi cluster thường được quy hoạch để các tần số trong một cluster không bị trùng lặp, và các tần số này sẽ được tái sử dụng ở một cụm **cluster** khác cách xa đủ xa để không gây nhiễu.

- Các cell trong cùng một cluster có tần số khác nhau để tránh nhiễu tín hiệu.
- Các cluster lặp lại theo một mô hình hình học nhất định để tận dụng tối đa tài nguyên phổ.
- Hệ số tái sử dụng tần số (**Frequency Reuse Factor, K**) cho biết số lượng cell trong một **cluster** trước khi tần số được sử dụng lại



Hình 2.4.1.3. Minh họa cluster với K=7

Hệ số tái sử dụng K trong mạng tế bào

Trong mạng tế bào, **phổ tần số vô tuyến** là tài nguyên có hạn, cần được phân bổ hiệu quả để tối đa hóa dung lượng mạng và giảm nhiễu. **Hệ số tái sử dụng K** là một tham số quan trọng giúp xác định cách tổ chức các cell sao cho một tần số có thể được sử dụng lại mà vẫn đảm bảo chất lượng dịch vụ.

Định nghĩa: Hệ số tái sử dụng tần số K được định nghĩa là **số lượng cell trong một cụm (cluster) trước khi tần số có thể được tái sử dụng.**

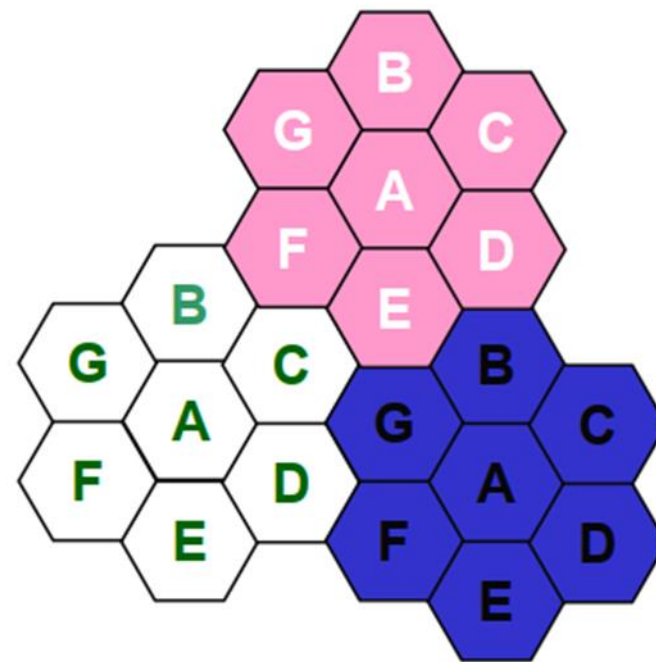
Ví dụ: Nếu $K=7$, nghĩa là một cụm gồm **7 cell** sẽ sử dụng toàn bộ phổ tần được cấp phát trước khi các tần số này có thể được sử dụng lại ở cụm tiếp theo.

Công thức xác định hệ số tái sử dụng K

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

trong đó:

- i, j là các số nguyên không âm.
- K là số cell trong một cụm tái sử dụng tần số.



Ý nghĩa của công thức $K = i^2 + ij + j^2$

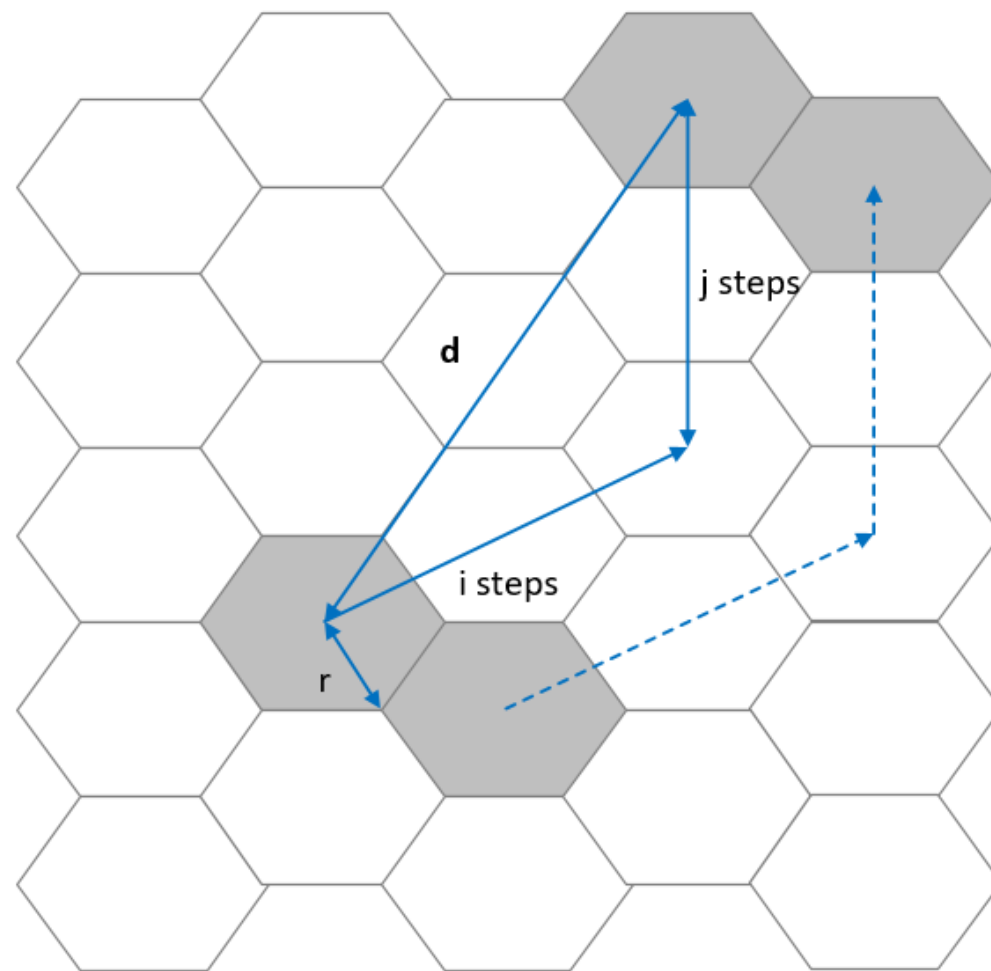
Công thức này giúp xác định số lượng cell trong một cụm trước khi tần số có thể được tái sử dụng.

- **i và j** là số bước di chuyển theo hai hướng khác nhau trên lưới tổ ong.
- **K** là số cell trong một cụm.

Cách xác định vị trí các cell đồng kênh

(co-channel cells) trong mạng tế bào hình lục giác bằng cách sử dụng hai bước di chuyển **i** và **j**.

Ví dụ: Nếu $K=12$, $i=2$, $j=2$



Hệ số tái sử dụng K trong mạng tế bào

Ví dụ tính toán:

Nếu $i=2, j=1$, ta có:

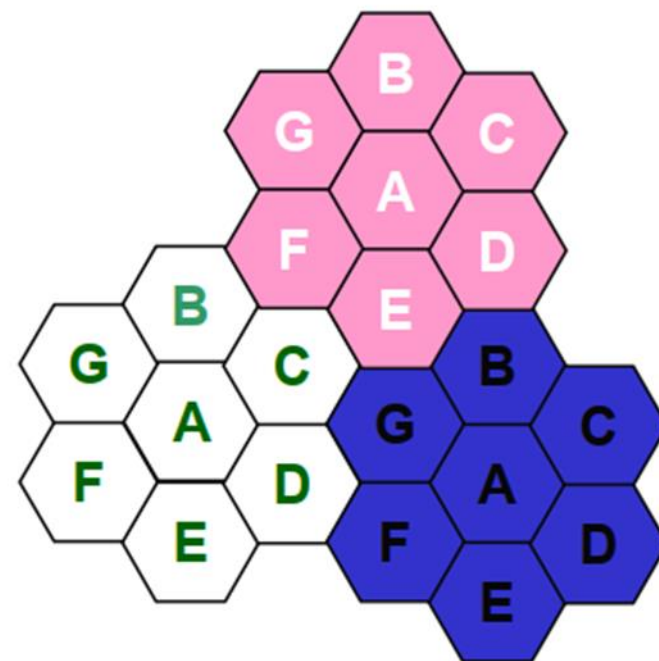
$$K = 2^2 + (2 \times 1) + 1^2 = 4 + 2 + 1 = 7$$

→ Cụm có 7 cell.

Nếu $i=3, j=2$, ta có:

$$K = 3^2 + (3 \times 2) + 2^2 = 9 + 6 + 4 = 19$$

→ Cụm có 19 cell.



Mối quan hệ giữa K và dung lượng mạng

Mỗi mạng di động có tổng số kênh tần số khả dụng là **T**. Khi chia số kênh này cho **K** cell trong một cụm, mỗi cell chỉ nhận được một phần của tổng số kênh:

$$N = \frac{T}{K}$$

trong đó:

- N là số kênh mỗi cell được cấp phát.
- K càng lớn thì mỗi cell có càng ít kênh hơn, \rightarrow giảm dung lượng phục vụ thuê bao.

Ví dụ: Nếu $T=490$ kênh và $K=7$, ta có:

$$N = \frac{490}{7} = 70 \text{ kênh/cell}$$

Nếu $K=19$, mỗi cell chỉ có:

$$N = \frac{490}{19} \approx 26 \text{ kênh/cell}$$

Như vậy: khi K lớn giúp giảm nhiễu nhưng cũng làm giảm số lượng kênh cho mỗi cell.

Ảnh hưởng của hệ số K đến hiệu suất mạng?

| Hệ số tái sử dụng K | Kênh tần số mỗi cell N | Khoảng cách giữa cell dùng lại tần số D | Ưu điểm | Nhược điểm |
|---------------------|------------------------|---|------------------------|---------------------------|
| K=3 | T/3 | Ngắn hơn | Dung lượng cao | Nhiều đồng kênh cao |
| K=7 | T/7 | Xa hơn | Glảm nhiễu | Dung lượng mỗi cell thấp |
| K=12 | T/12 | Rất xa | Ít nhiễu đồng kênh | Ít kênh trên mỗi cell |
| K=19 | T/19 | Rất rất xa | Gần như không có nhiễu | Hiệu suất sử dụng phổ kém |

Hệ số tái sử dụng K ảnh hưởng trực tiếp đến dung lượng mạng:

- ✓ K nhỏ → Nhiều cao hơn nhưng dung lượng mỗi cell lớn hơn.
- ✓ K lớn → Ít nhiễu hơn nhưng dung lượng mỗi cell nhỏ hơn.

Mối quan hệ giữa K và khoảng cách tái sử dụng tần số

Khoảng cách tối thiểu D giữa hai cell sử dụng lại cùng một tần số được tính theo công thức:

$$D = R \times \sqrt{3K}$$

trong đó:

- R là bán kính của cell.
- D là khoảng cách giữa các cell đồng kênh (**co-channel cells**).

Ví dụ với $K=7$ và $R=1$ km:

Áp dụng công thức $D = 1 \times \sqrt{3 \times 7} = 1 \times \sqrt{21} \approx 4.58 \text{ km}$

→ Tức là hai cell có cùng tần số phải cách nhau ít nhất 4.58 km để tránh nhiễu đồng kênh.

Tái sử dụng tần số trong Mạng Tế Bào

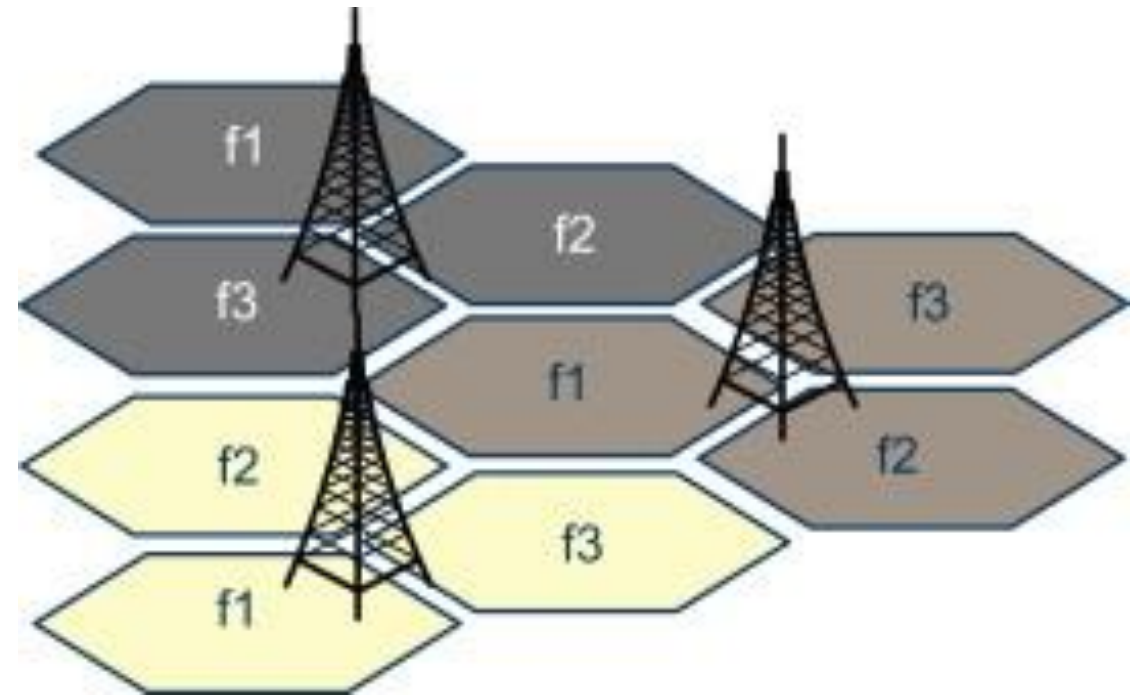
Hình ảnh 4.3.2.3 minh họa cách tái sử dụng tần số trong mạng tế bào nhằm tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên **phổ tần số** và tránh **nh nhiễu đồng kênh** (Co-Channel Interference - CCI).

Các cell trong hình được gán các tần số khác nhau (F1, F2, F3). Mỗi cell chỉ sử dụng một tập tần số cụ thể (F1, F2, F3).

Quy tắc : Hai ô liền kề không được sử dụng cùng một tần số để tránh nhiễu đồng kênh.

- Các cell sử dụng cùng một tần số phải cách nhau một khoảng đủ lớn để tránh nhiễu đồng kênh (**Co-Channel Interference - CCI**).
- Tập hợp các cell không dùng chung tần số tạo thành một cụm (**Cluster**).
- Khi một cụm được lặp lại trên toàn bộ mạng, các tần số có thể tái sử dụng mà không gây nhiễu đáng kể.

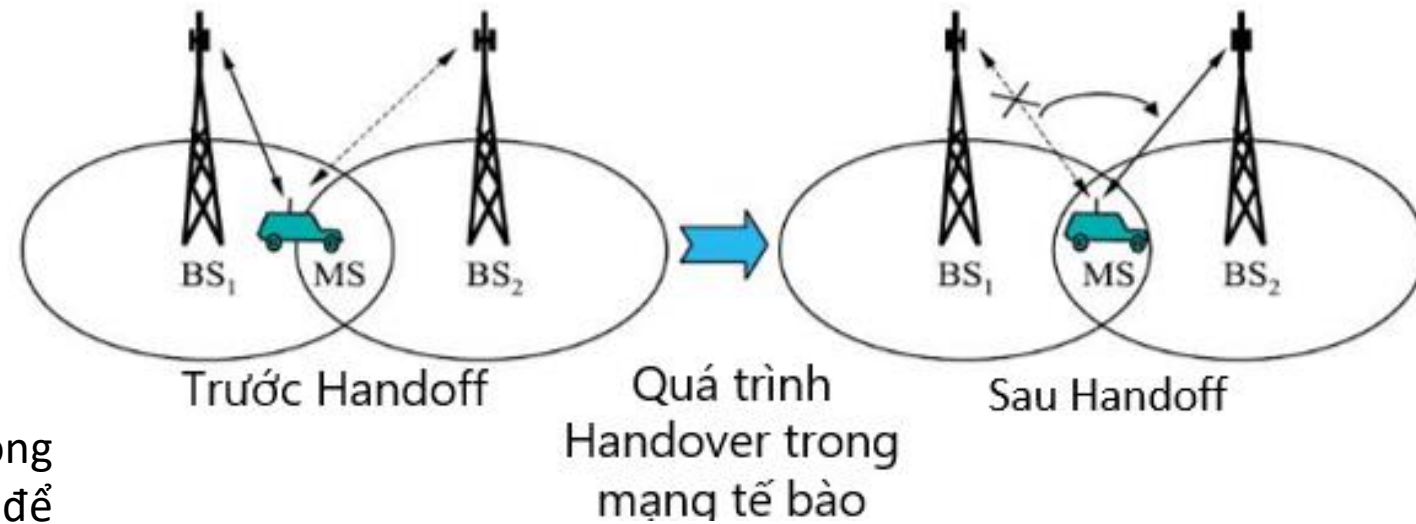
trong hình: Ô màu sáng sử dụng F1, ô màu xám sử dụng F2, ô màu nâu sử dụng F3.



Các ô sử dụng cùng một tần số không liền kề nhau → Đảm bảo quy tắc tránh nhiễu.

Chuyển giao (Handover) trong Mạng Tế Bào

- ✓ MS(Mobile Station) đang di chuyển ra khỏi vùng phủ sóng của BS₁. Tín hiệu của BS₁ dần yếu đi (dấu mũi tên chéo). MS bắt đầu nhận tín hiệu từ BS₂, nhưng vẫn duy trì kết nối với BS₁.
- ✓ MS(Mobile Station) đã đi sâu vào vùng phủ sóng của BS₂, tín hiệu từ BS₁ không còn đủ mạnh để duy trì kết nối. Kết nối được chuyển hoàn toàn từ BS₁ sang BS₂. BS₁ ngắt kết nối với MS, đảm bảo rằng tín hiệu không bị trùng lặp hoặc gây nhiễu.



Khi một thiết bị di động (Mobile Station) di chuyển từ vùng phủ sóng của BS₁ sang BS₂, cần phải có handover để đảm bảo cuộc gọi hoặc kết nối dữ liệu không bị gián đoạn.

2.4.1.4. Các thế hệ mạng tế bào (1G - 5G)

Mạng tế bào đã trải qua nhiều cải tiến đáng kể về mặt kỹ thuật và kiến trúc nhằm đáp ứng nhu cầu ngày càng cao về truyền thông di động.

Bên cạnh sự phát triển của các thế hệ mạng di động (1G, 2G, 3G, 4G, 5G), cấu trúc mạng tế bào cũng có những thay đổi quan trọng về mô hình tổ chức ô, kỹ thuật quản lý tài nguyên tần số và kiến trúc mạng lõi.

1. Sự tiến hóa của cấu trúc mạng tế bào

a. Từ macrocell đến microcell, picocell và femtocell

Trong giai đoạn đầu của mạng tế bào (1G, 2G), các ô tế bào (cell) có kích thước rất lớn và thường được phục vụ bởi các trạm thu phát gốc (Base Station - BS) có công suất cao.

Mô hình này giúp tối ưu hóa chi phí triển khai mạng nhưng lại gặp phải nhiều vấn đề như:

- ❑ Giới hạn dung lượng: Số lượng thuê bao có thể phục vụ trong mỗi ô bị hạn chế.
- ❑ Nhiễu tín hiệu: Các trạm phát sóng công suất lớn có thể gây nhiễu lẫn nhau khi tái sử dụng tần số.

Để khắc phục vấn đề này, các thế hệ mạng sau đã dần chuyển sang sử dụng các ô nhỏ hơn như microcell, picocell và femtocell.

a. Từ macrocell đến microcell, picocell và femtocell

- Microcell: Có bán kính từ vài trăm mét đến 2 km, thường được triển khai trong khu vực thành phố đông dân cư.
- Picocell: Có bán kính từ 100 – 200 m, chủ yếu được sử dụng trong các tòa nhà, trung tâm thương mại để tăng cường vùng phủ sóng trong nhà.
- Femtocell: Phạm vi chỉ từ 10 – 50 m, thường được sử dụng trong hộ gia đình hoặc văn phòng nhỏ để cung cấp kết nối di động chất lượng cao.

Việc sử dụng các ô nhỏ giúp tăng dung lượng hệ thống, giảm nhiễu và cải thiện hiệu suất mạng, đặc biệt là trong các hệ thống 4G LTE và 5G.

b. Mạng tế bào lai (Hybrid Cellular Network)

Sự xuất hiện của Wi-Fi, mạng Mesh và công nghệ IoT đã thúc đẩy sự hình thành của các mô hình mạng tế bào lai, nơi các thiết bị di động có thể chuyển đổi linh hoạt giữa mạng di động (4G, 5G) và mạng Wi-Fi để tối ưu hóa tốc độ và giảm tải cho hệ thống viễn thông.

Trong mạng 5G, các trạm gốc nhỏ (small cell) được triển khai dày đặc kết hợp với Wi-Fi và các công nghệ khác để đảm bảo vùng phủ sóng rộng hơn và cải thiện chất lượng dịch vụ.

2. Mô hình tài nguyên tần số và vùng phủ sóng

a. Tái sử dụng tần số (Frequency Reuse)

Do phổ tần số vô tuyến là một tài nguyên có giới hạn, mạng tế bào áp dụng nguyên tắc tái sử dụng tần số, trong đó cùng một tần số có thể được sử dụng lại ở các ô khác nhau miễn là chúng không nằm quá gần nhau để gây nhiễu lẫn nhau.

Công nghệ OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) trong 4G LTE và mmWave (millimeter wave) trong 5G đã giúp tối ưu hóa hiệu quả sử dụng tần số bằng cách chia băng thông thành nhiều kênh nhỏ hơn, giúp phục vụ đồng thời nhiều thiết bị hơn với tốc độ cao hơn.

b. Quản lý nhiễu và điều chỉnh vùng phủ sóng

Trong các mạng tế bào hiện đại, các phương pháp như beamforming (tạo chùm sóng) và Massive MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) giúp cải thiện vùng phủ sóng và giảm nhiễu giữa các trạm gốc.

Beamforming: Hướng tín hiệu vô tuyến theo từng hướng cụ thể thay vì phát tán toàn bộ không gian, giúp tập trung năng lượng và tăng hiệu suất truyền tải.

Massive MIMO: Sử dụng nhiều ăng-ten tại trạm gốc để phục vụ đồng thời nhiều thiết bị, tối ưu hóa dung lượng mạng và tăng cường độ tin cậy.

3. Sự thay đổi trong kiến trúc mạng lõi

a. Chuyển từ mạng phân cấp sang mạng phẳng

Trong các thế hệ đầu tiên (1G, 2G, 3G), mạng lõi di động sử dụng mô hình phân cấp với nhiều thành phần trung gian như MSC (Mobile Switching Center), BSC (Base Station Controller), gây ra độ trễ cao trong quá trình xử lý dữ liệu.

Trong 4G LTE, kiến trúc mạng đã được chuyển sang mạng phẳng (flat architecture), loại bỏ các trung gian không cần thiết và giúp giảm độ trễ. Điều này cho phép tốc độ dữ liệu cao hơn và khả năng đáp ứng nhanh hơn.

b. Kiến trúc mạng 5G và Network Slicing

Mạng 5G giới thiệu kiến trúc Service-Based Architecture (SBA), trong đó tất cả các dịch vụ mạng có thể được triển khai theo yêu cầu, giúp tối ưu hóa hiệu suất cho từng loại ứng dụng cụ thể.

Sử dụng công nghệ Network Slicing cho phép chia một mạng vật lý thành nhiều mạng ảo độc lập, mỗi mạng phục vụ một mục đích khác nhau.

Ví dụ:

- Một lát mạng có thể được tối ưu hóa cho dịch vụ video độ phân giải cao (Ultra-HD streaming).
- Một lát khác có thể phục vụ ứng dụng IoT với độ trễ cực thấp.
- Một lát khác có thể cung cấp dịch vụ kết nối xe tự lái với độ tin cậy cao.

Tần số & Phổ tần trong Mạng Tế Bào

- Nội dung sẽ trình bày chi tiết về tần số & phổ tần trong mạng tế bào

2.4.2 Hệ thống tài nguyên tần số

- Nội dung sẽ trình bày chi tiết về 2.4.2 hệ thống tài nguyên tần số

2.4.3 Fading trong Mạng Không Dây

- Nội dung sẽ trình bày chi tiết về 2.4.3 fading trong mạng không dây

Rayleigh Fading và ứng dụng

- Nội dung sẽ trình bày chi tiết về rayleigh fading và ứng dụng

Rician Fading và ứng dụng

- Nội dung sẽ trình bày chi tiết về rician fading và ứng dụng

Mô phỏng fading bằng Python

- Nội dung sẽ trình bày chi tiết về mô phỏng fading bằng python

2.4.4 Bảo mật trong Mạng Tế Bào

Các mối đe dọa bảo mật trong Mạng Tế Bào

- Nội dung sẽ trình bày chi tiết về các mối đe dọa bảo mật trong mạng tế bào

Tấn công giả mạo trạm gốc (IMSI Catcher)

- Nội dung sẽ trình bày chi tiết về tấn công giả mạo trạm gốc (imsi catcher)

Cơ chế bảo mật trong 4G & 5G

- Nội dung sẽ trình bày chi tiết về cơ chế bảo mật trong 4g & 5g

Tổng kết Chương 2.4

- Nội dung sẽ trình bày chi tiết về tổng kết chương 2.4

Câu hỏi lý thuyết

1. Trình bày mô hình mạng tế bào và vai trò của trạm thu phát gốc (BS) trong hệ thống viễn thông di động.
2. Tại sao mạng tế bào được thiết kế theo mô hình lục giác thay vì hình tròn hoặc hình vuông?
3. Nêu các ưu điểm của mạng tế bào so với các hệ thống vô tuyến truyền thống.
4. Hệ thống mạng tế bào gồm những thành phần nào? Mô tả chức năng của từng thành phần.
5. Phân biệt các loại trạm thu phát gốc (macrocell, microcell, picocell, femtocell).
6. Giải thích sự khác nhau giữa MSC (Mobile Switching Center) và BSC (Base Station Controller).
7. Giải thích khái niệm cụm tế bào (cell cluster) và vai trò của nó trong quản lý tần số.
8. Hệ số tái sử dụng tần số K là gì? Công thức xác định K dựa trên các bước di chuyển i, j trên lưới tổ ong?
9. Khi tăng hệ số K , chất lượng mạng thay đổi như thế nào? Khoảng cách giữa các cell đồng kênh được tính như thế nào?
10. Nếu một mạng GSM có $T=490$ kênh và sử dụng $K=7$, mỗi cell sẽ có bao nhiêu kênh khả dụng?

11. Chuyển giao cuộc gọi (handover) trong mạng tế bào là gì?Nêu các loại handover trong mạng GSM và LTE.Phân biệt handover cứng (hard handover) và handover mềm (soft handover).
12. Nhiễu đồng kênh (co-channel interference) là gì?
13. Làm thế nào để giảm nhiễu này? Hệ số K ảnh hưởng như thế nào đến nhiễu đồng kênh?

Bài tập

1. Một hệ thống GSM có tổng số $T=600$ kênh tần số. Nếu sử dụng sơ đồ tái sử dụng tần số với $K=7$, hãy tính:
 - a) Số kênh tần số mà mỗi cell có thể sử dụng.
 - b) Tổng dung lượng hệ thống nếu có $M= 10$ cụm cell.
2. Giả sử một mạng di động sử dụng hệ số tái sử dụng $K=12$, với bán kính cell là $R=2\text{km}$. Hãy tính khoảng cách tối thiểu D giữa các cell đồng kênh.
3. Một hệ thống viễn thông có $K=19$ và $R=1.5\text{ km}$. Hãy tính khoảng cách tối thiểu giữa hai cell đồng kênh.
4. Một hệ thống di động có 10^6 thuê bao hoạt động đồng thời. Giả sử mỗi cuộc gọi chiếm 2 kênh và tổng số kênh trong hệ thống là 5000, hãy tính:
 - a) Số cụm cell cần thiết để phục vụ toàn bộ hệ thống nếu $K=7$.
 - b) Tổng dung lượng của hệ thống.

Bài tập (Tình huống thực tế)

1.Quy hoạch mạng di động:

Anh là một kỹ sư tư vấn di động cho một thành phố mới. Anh/Chị được giao nhiệm vụ lựa chọn hệ số K phù hợp.

1. Bạn sẽ chọn $K=7$, $K=12$ hay $K=10$?
2. Lựa chọn của Anh/Chị dựa trên những yếu tố nào?

2.Giảm nhiễu đồng kênh:

Một thành phố đang gặp vấn đề về nhiễu đồng kênh nghiêm trọng trong mạng GSM hiện tại. Hãy đề xuất 3 giải pháp giúp cải thiện vấn đề này.

3.Mạng LTE ở vùng nông thôn:

Mạng LTE được triển khai ở một vùng nông thôn rộng lớn. Bạn có nghĩ rằng hệ số $K=3$ là phù hợp không? Tại sao?

Bài tập thực hành (Mô phỏng)

Các bài tập thực hành có thể được triển khai bằng Python hoặc phần mềm mô phỏng mạng.

1. Mô phỏng quy hoạch tần số

- Viết chương trình Python để hiển thị sơ đồ cell với các giá trị $K=3, 7, 12$.
- Mô phỏng cách xác định vị trí của các cell đồng kênh bằng cách sử dụng công thức

$$K = i^2 + ij + j^2.$$

2 Tính toán nhiễu đồng kênh bằng Python

- Viết một chương trình để tính toán mức nhiễu đồng kênh dựa trên khoảng cách tái sử dụng D .
- So sánh nhiễu giữa các giá trị $K=7, K=12$.