### ****I. Lý thuyết****

### ****1. Mô hình mạng tế bào và vai trò của trạm thu phát gốc (BS) trong hệ thống viễn thông di động****

#### **Mô hình mạng tế bào**

Mạng tế bào là một kiến trúc được sử dụng trong hệ thống viễn thông di động, trong đó khu vực phủ sóng được chia thành nhiều vùng nhỏ gọi là **tế bào (cell)**. Mỗi tế bào được quản lý bởi một **trạm thu phát gốc (Base Station - BS)**, giúp cung cấp dịch vụ viễn thông cho các thiết bị di động trong phạm vi của nó.

##### **Cấu trúc của mạng tế bào**:

* **Tế bào (Cell)**: Khu vực phủ sóng của một trạm BS. Các tế bào thường có dạng lục giác để tối ưu hóa việc tái sử dụng tần số.
* **Trạm thu phát gốc (BS)**: Mỗi tế bào có một trạm BS, đóng vai trò thu phát tín hiệu giữa thiết bị di động và mạng viễn thông.
* **Bộ điều khiển trạm gốc (BSC - Base Station Controller)**: Quản lý nhiều BS, điều phối tài nguyên và hỗ trợ chuyển giao cuộc gọi (handover).
* **Mạng lõi (Core Network)**: Kết nối các BS và BSC với mạng viễn thông rộng lớn hơn, bao gồm tổng đài di động (MSC - Mobile Switching Center) và các máy chủ dữ liệu.

#### **Vai trò của trạm thu phát gốc (BS)**

Trạm BS có vai trò quan trọng trong hệ thống viễn thông di động, bao gồm:

1. **Kết nối thiết bị di động với mạng viễn thông**
   * BS đóng vai trò trung gian, thu tín hiệu từ thiết bị di động và truyền đến mạng lõi thông qua bộ điều khiển BSC.
   * Hỗ trợ cả thoại, tin nhắn và dữ liệu internet (3G, 4G, 5G).
2. **Quản lý tài nguyên vô tuyến**
   * Điều phối băng tần, công suất phát và mã hóa tín hiệu để tối ưu hóa chất lượng dịch vụ.
   * Giảm nhiễu và đảm bảo truyền dữ liệu ổn định trong điều kiện môi trường khác nhau.
3. **Chuyển giao cuộc gọi (handover)**
   * Khi thiết bị di động di chuyển từ vùng phủ sóng của một BS sang vùng của BS khác, quá trình handover diễn ra để đảm bảo cuộc gọi không bị gián đoạn.
4. **Hỗ trợ tái sử dụng tần số**
   * Mạng tế bào cho phép tái sử dụng tần số ở các tế bào cách xa nhau, tăng hiệu suất phổ tần và mở rộng dung lượng hệ thống.
5. **Giảm công suất phát của thiết bị di động**
   * Nhờ vào sự phân chia tế bào, khoảng cách từ thiết bị đến BS ngắn hơn, giúp thiết bị di động tiết kiệm pin và giảm nhiễu giữa các thiết bị.

**2. Tại sao mạng tế bào được thiết kế theo mô hình lục giác thay vì hình tròn hoặc hình vuông?**

Mạng tế bào được thiết kế theo mô hình lục giác thay vì hình tròn hoặc hình vuông vì:

1. Phủ kín không gian tối ưu – Hình tròn để lại khoảng trống, hình vuông có khoảng cách không đồng đều từ trung tâm đến cạnh, trong khi hình lục giác phủ kín mà không chồng lấn quá mức.
2. Tối ưu hóa khoảng cách tín hiệu – Hình lục giác giúp khoảng cách từ trung tâm đến biên đồng đều, đảm bảo tín hiệu ổn định hơn.
3. Giảm nhiễu và tối ưu tái sử dụng tần số – Khoảng cách giữa các tế bào dùng chung tần số lớn hơn, giảm nhiễu giữa các tế bào lân cận.
4. Hiệu quả triển khai hạ tầng – Giảm số trạm thu phát gốc (BS) cần thiết, tiết kiệm chi phí và tối ưu quản lý tài nguyên mạng.

**3. Nêu các ưu điểm của mạng tế bào so với các hệ thống vô tuyến truyền thống.**

 Tái sử dụng tần số – Mạng tế bào cho phép tái sử dụng tần số giữa các tế bào khác nhau, tăng hiệu suất sử dụng phổ tần.

 Tăng dung lượng hệ thống – Nhờ chia nhỏ vùng phủ sóng thành các tế bào, nhiều người dùng có thể được phục vụ đồng thời.

 Cải thiện vùng phủ sóng – Phân chia thành nhiều tế bào giúp đảm bảo tín hiệu ổn định ngay cả ở khu vực đông dân cư hoặc địa hình phức tạp.

 Hỗ trợ chuyển giao cuộc gọi (handover) – Người dùng có thể di chuyển giữa các tế bào mà không bị gián đoạn cuộc gọi hay mất kết nối.

 Giảm công suất phát – Do khoảng cách giữa thiết bị và trạm thu phát gốc (BS) ngắn hơn, thiết bị di động tiêu thụ ít năng lượng hơn, kéo dài tuổi thọ pin.

 Mở rộng linh hoạt – Khi nhu cầu tăng, hệ thống có thể mở rộng dễ dàng bằng cách thêm các tế bào mới mà không làm gián đoạn dịch vụ.

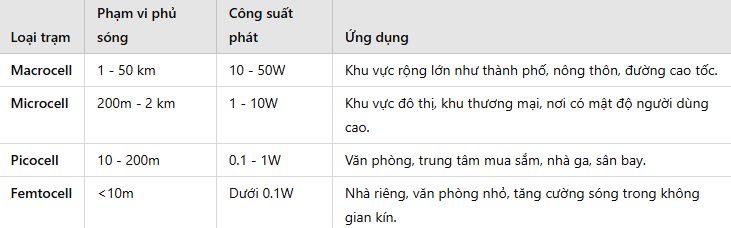
 Giảm nhiễu tín hiệu – Nhờ quy hoạch tần số và phân chia tế bào hợp lý, nhiễu giữa các kênh được giảm thiểu đáng kể.

**4. Hệ thống mạng tế bào gồm những thành phần nào? Mô tả chức năng của từng thành phần.**

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.

**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).**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tiêu chí | MSC (Mobile Switching Center) | BSC (Base Station Controller) |
| Chức năng chính | Chuyển mạch cuộc gọi, quản lý kết nối giữa mạng di động và mạng cố định. | Điều khiển và quản lý nhiều trạm thu phát gốc (BS), phân bổ tài nguyên vô tuyến. |
| Vị trí trong mạng | Thuộc **mạng lõi (Core Network)**, kết nối với PSTN và các MSC khác. | Thuộc **mạng vô tuyến (RAN - Radio Access Network)**, kết nối với nhiều BS. |
| Quản lý cuộc gọi | Xử lý định tuyến cuộc gọi, tin nhắn, đăng ký thuê bao, chuyển vùng (roaming). | Điều phối việc handover giữa các BS trong cùng khu vực. |
| Hỗ trợ dữ liệu | Xử lý thoại, SMS, dữ liệu di động (2G, 3G). | Quản lý tần số, điều chỉnh công suất phát của BS. |

**7. Giải thích khái niệm cụm tế bào (cell cluster) và vai trò của nó trong quản lý tần số.**

* Cụm tế bào (Cell Cluster) là một nhóm gồm K cell được quy hoạch sao cho không có cell nào trong cụm sử dụng cùng một tần số. Sau đó, tần số được tái sử dụng ở cụm khác để tối ưu tài nguyên phổ tần.
* Vai trò của cụm tế bào trong quản lý tần số
* Tái sử dụng tần số hiệu quả: Đảm bảo mỗi cell trong cụm dùng tần số khác nhau để tránh nhiễu, đồng thời tái sử dụng tần số ở cụm khác.
* Giảm nhiễu đồng kênh: Các cell dùng chung tần số được đặt cách xa nhau để hạn chế nhiễu.
* Tăng dung lượng mạng: Nhờ tái sử dụng tần số, nhiều người dùng có thể hoạt động đồng thời mà không cần thêm phổ tần mới.
* Cải thiện chất lượng dịch vụ (QoS): Giúp duy trì kết nối ổn định và hạn chế mất sóng do nhiễu 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?**

* 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.
* Công thức xác định hệ số tái sử dụng K:



Trong đó:

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

**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?**

* khi K lớn giúp giảm nhiễu nhưng cũng làm giảm số lượng kênh cho mỗi cell.
* Khoảng cách giữa các cell đồng kênh được tính theo công thức:



Trong đó:

* R là bán kính của cell.
* D là khoảng cách giữa các cell đồng kênh

**10. Nếu một mạng GSM có 𝑇=490 kênh và sử dụng K=7, mỗi cell sẽ có bao nhiêu kênh khả dụng?**

N = T/K = 490/7​ = 70/cell

**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).**

Handover là quá trình chuyển kết nối của một thiết bị di động từ trạm thu phát gốc (BS) này sang BS khác mà không làm gián đoạn cuộc gọi hoặc phiên dữ liệu.

### **Các loại handover trong mạng GSM và LTE**

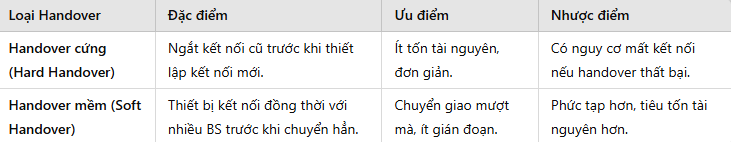
#### **Trong GSM (2G, 3G)**

1. **Intra-BSC Handover** – Chuyển giao giữa các tế bào do cùng một BSC quản lý.
2. **Inter-BSC Handover** – Chuyển giao giữa các BSC khác nhau trong cùng một MSC.
3. **Inter-MSC Handover** – Chuyển giao giữa hai MSC khác nhau.

#### **Trong LTE (4G, 5G)**

1. **Intra-LTE Handover** – Chuyển giao giữa các eNodeB trong cùng mạng LTE.
2. **Inter-RAT Handover** – Chuyển giao giữa LTE và mạng khác (GSM, UMTS, 5G).
3. **X2 Handover** – Chuyển giao trực tiếp giữa các eNodeB qua giao diện X2.
4. **S1 Handover** – Chuyển giao qua mạng lõi EPC khi X2 không khả dụng.

### **Phân biệt handover cứng và handover mềm**



**12. Nhiễu đồng kênh (co-channel interference) là gì?**

Nhiễu đồng kênh (CCI) là hiện tượng nhiễu gây ra bởi các cell sử dụng cùng một tần số trong mạng tế bào. Vì phổ tần số có hạn, các cell không liền kề phải tái sử dụng tần số, nhưng nếu khoảng cách giữa chúng không đủ lớn, tín hiệu từ các cell này có thể gây nhiễu lẫn nhau.

**13. Làm thế nào để giảm nhiễu này? Hệ số K ảnh hưởng như thế nào đến nhiễu đồng kênh?**

Để giảm nhiễu đồng kênh, có thể áp dụng các biện pháp sau:

* Tăng hệ số tái sử dụng tần số KKK
* Khi K tăng, khoảng cách giữa các cell đồng kênh cũng tăng, giúp giảm mức nhiễu.
* Quy hoạch tần số hợp lý
* Phân bổ tần số sao cho các cell sử dụng cùng tần số không quá gần nhau.
* Điều chỉnh công suất phát của trạm gốc (BS)
* Giảm công suất phát để tín hiệu không lan quá xa, hạn chế ảnh hưởng đến cell đồng kênh.
* Sử dụng ăng-ten định hướng
* Giúp tập trung tín hiệu vào khu vực mong muốn, tránh gây nhiễu cho cell đồng kênh khác.
* Triển khai kỹ thuật MIMO và Beamforming
* Tăng khả năng điều hướng sóng, giúp giảm tác động của nhiễu đồng kênh.

Hệ số K ảnh hưởng đến nhiễu đồng kênh:

* K nhỏ → Nhiễu đồng kênh cao vì các cell đồng kênh gần nhau hơn.
* K lớn → Giảm nhiễu nhưng mỗi cell có ít kênh hơn, làm giảm dung lượng mạng.

II.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:

N = T/K = 600/7​ ≈ 85.71 ≈ 86/cell

b) Tổng dung lượng hệ thống nếu có M= 10 cụm cell.

Tổng số cell trong hệ thống là:

Số cell = M×K= 10×7 =70

Tổng dung lượng hệ thống là tổng số kênh tần số có thể sử dụng trên toàn hệ thống:

Dung lượng hệ thống = Số cell x N = 70 x 86 = 6020 kênh

**2. Giả sử một mạng di động sử dụng hệ số tái sử dụng K=12, với bán kính cell là R= 2km. Hãy tính khoảng cách tối thiểu D giữa các cell đồng kênh.**

D = sqrt(3 × K) × R = sqrt(3 x 12 ) × 2 = 12 km

**3. Một hệ thống viễn thông có K=19 và R=1.5 km. Hãy tính khoảng cách tối thiểu giữa hai cell đồng kênh.**

D = sqrt(3 × K) × R = sqrt(3 x 19 ) × 1.5 = 11.325 km

**4. Một hệ thống di động có 106 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.

Số kênh mà mỗi cell có thể sử dụng:

N = T/K = 5000/7​ ≈ 714.29 ≈ 714/cell

Số kênh cần để phục vụ 106 thuê bao:

S cần = 106 x 2 = 212 kênh

Số cell cần để phục vụ tất cả thuê bao:

Số cell = S cần / N = 212/714 ≈ 0.3

–> Vì số cell phải là số nguyên, nên ít nhất 1 cell là đủ để phục vụ 106 thuê bao.

Số cụm cell cần thiết:

Số cụm = Số cell / K = 1/7 ≈ 0.14

-> Vì số cụm cũng phải là số nguyên, vậy 1 cụm cell là đủ.

b) Tổng dung lượng của hệ thống

Dung lượng của hệ thống chính là số cuộc gọi có thể được phục vụ đồng thời. Vì mỗi cuộc gọi chiếm 2 kênh, nên:

Dung lượng = T/2​ = 5000/2 ​= 2500 cuộc gọi

III. 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.**

a) Bạn sẽ chọn K=7, K=12 hay K=10?

* K = 7 → Cân bằng giữa dung lượng và nhiễu, phù hợp cho thành phố vừa và lớn.
* K = 10K → Ít nhiễu hơn nhưng dung lượng giảm, phù hợp với khu đô thị đông dân.
* K = 12K → Giảm nhiễu tốt nhất nhưng dung lượng thấp, thích hợp cho khu vực có yêu cầu chất lượng sóng cao như sân bay, bệnh viện.

→ Nếu cần cân bằng dung lượng và chất lượng dịch vụ, K = 7 là tối ưu.

b) Lựa chọn của Anh/Chị dựa trên những yếu tố nào?

* Mật độ thuê bao: K nhỏ (như 7) phù hợp với khu vực đông dân, K lớn (10-12) phù hợp với vùng ít thuê bao.
* Nhiễu đồng kênh: Nếu nhiễu cao, nên chọn K lớn hơn để giảm nhiễu.
* Tài nguyên tần số: Nếu phổ tần số hạn chế, cần chọn K nhỏ để tối ưu dung lượng.
* Địa hình: Khu vực đô thị có nhiều vật cản, dễ nhiễu → cần K lớn hơn.

**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.**

* Tăng hệ số tái sử dụng tần số KKK: Giúp các cell đồng kênh cách xa nhau hơn.
* Điều chỉnh công suất phát của BS: Hạn chế tín hiệu lan quá xa, giảm nhiễu chồng lấn.
* Dùng ăng-ten định hướng & Beamforming: Tập trung sóng về khu vực cần thiết, giảm nhiễu từ các cell khác.

**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?**

Không nên, vì:

* Nhiễu đồng kênh cao → Các cell đồng kênh gần nhau, dễ gây nhiễu.
* Chất lượng sóng không ổn định → Khoảng cách giữa các trạm xa hơn, dễ bị mất sóng.
* Giải pháp thay thế: Chọn K = 7 để giảm nhiễu và giữ dung lượng hợp lý, đồng thời dùng trạm Macrocell để phủ sóng xa hơn.