**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.

* Mạng tế bào là mô hình tổ chức mạng không dây, trong đó vùng phủ sóng được chia thành nhiều ô nhỏ (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.
* Nguyên tắc hoạt động 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
* Cấu trúc của mạng tế bào

Mạng tế bào bao gồm hai phần chính:

1. Mạng truy nhập vô tuyến (RAN - Radio Access Network)
   * Gồm các Base Station (BS) để kết nối thiết bị di động với hệ thống mạng.
2. Mạng lõi (Core Network - CN)
   * Điều phối cuộc gọi, quản lý dữ liệu và định tuyến kết nối đến các hệ thống khác như Internet hoặc PSTN.

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

* Phủ kín vùng phủ sóng: Hình lục giác không để lại khoảng trống như hình tròn và tránh chồng lấn.
* Tối ưu số lượng cell: Ít cell hơn so với hình tam giác và đảm bảo phủ sóng đồng đều hơn hình vuông.
* Tái sử dụng tần số hiệu quả: Giúp xác định khoảng cách tối ưu giữa các cell đồng kênh, giảm nhiễu.
* Cân bằng khoảng cách đến trạm gốc (BS): Khoảng cách từ tâm cell đến biên đều nhau, tối ưu truyền tín hiệu.

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

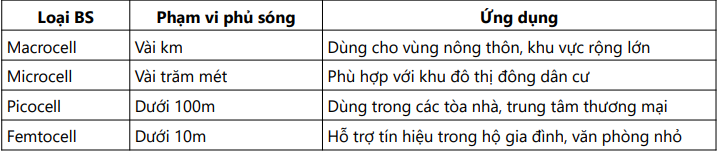
* Tăng dung lượng hệ thống: Nhờ tái sử dụng tần số, nhiều người dùng có thể hoạt động đồng thời mà không cần tăng phổ tần.
* Giảm nhiễu: Quy hoạch tần số giúp giảm nhiễu đồng kênh và nâng cao chất lượng tín hiệu.
* Mở rộng vùng phủ sóng linh hoạt: Thêm cell mới dễ dàng mà không ảnh hưởng đến toàn bộ hệ thống.
* Hỗ trợ chuyển vùng (Handover): Giúp người dùng di chuyển liên tục mà không bị mất kết nối.
* Tiết kiệm công suất phát: Sử dụng nhiều trạm nhỏ thay vì một trạm công suất lớn, giảm tiêu hao năng lượng và hạn chế nhiễu.
* Dịch vụ đa dạng: Hỗ trợ thoại, tin nhắn, Internet tốc độ cao (3G, 4G, 5G) phù hợp với nhiều nhu cầu.

**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).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Thành phần** | **Mobile Switching Center (MSC)** | **Base Station Controller (BSC)** |
| Chức năng chính | Xử lý cuộc gọi, định tuyến, kết nối với mạng viễn thông cố định (PSTN/Internet). | Quản lý và điều khiển nhiều trạm thu phát gốc (BS), phân bổ tài nguyên tần số. |
| Vị trí trong mạng | Thuộc mạng lõi (Core Network - CN). | Thuộc mạng truy nhập vô tuyến (RAN). |
| Quản lý gì? | Điều phối giữa các BSC và quản lý cuộc gọi trên toàn mạng. | Quản lý nhiều BS trong một khu vực, hỗ trợ chuyển giao cuộc gọi (handover) giữa các cell. |
| Hỗ trợ handover | Handover giữa các MSC (handover giữa các vùng khác nhau). | Handover nội vùng giữa các BS thuộc cùng một BSC. |
| Kết nối với | PSTN, Internet, VLR, HLR, BSC. | Nhiều BS trong một khu vực, kết nối lên MSC. |

**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).

* Chuyển giao cuộc gọi (Handover) là quá trình chuyển kết nối của thiết bị di động từ trạm gốc (BS) này sang trạm gốc khác khi người dùng di chuyển giữa các cell mà không bị gián đoạn dịch vụ.
* Các loại handover trong mạng GSM và LTE
* Trong mạng GSM (2G, 3G)
* Intra-BSC Handover: Chuyển giao giữa các cell thuộc cùng một BSC.
* Inter-BSC Handover: Chuyển giao giữa các cell thuộc hai BSC khác nhau nhưng cùng một MSC.
* Inter-MSC Handover: Chuyển giao giữa hai MSC khi người dùng di chuyển qua vùng MSC khác.
* Inter-System Handover: Chuyển giữa các công nghệ khác nhau (ví dụ: từ GSM sang UMTS).
* Trong mạng LTE (4G, 5G)
* Intra-LTE Handover: Chuyển giao giữa các eNB (trạm gốc) trong cùng mạng LTE.
* Inter-RAT Handover: Chuyển giao giữa LTE và các công nghệ khác (GSM, UMTS, 5G).
* X2 Handover: Chuyển giao trực tiếp giữa hai eNB trong cùng một EPC (Evolved Packet Core).
* S1 Handover: Chuyển giao thông qua mạng lõi (MME), thường áp dụng khi hai eNB không có kết nối X2.
* Phân biệt handover cứng (hard handover) và handover mềm (soft handover).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Loại Handover** | **Handover Cứng (Hard Handover)** | **Handover Mềm (Soft Handover)** |
| Nguyên tắc hoạt động | Cắt kết nối với trạm cũ trước khi kết nối với trạm mới (Break Before Make). | Giữ kết nối với cả hai trạm cùng lúc, chỉ ngắt trạm cũ khi trạm mới đã kết nối (Make Before Break). |
| Công nghệ áp dụng | GSM, LTE (4G) | UMTS (3G), CDMA |
| Chất lượng kết nối | Có thể bị gián đoạn trong thời gian ngắn. | Mượt mà, không bị mất tín hiệu. |
| Mức độ phức tạp | Đơn giản hơn, dễ triển khai. | Phức tạp hơn, yêu cầu nhiều tài nguyên. |

**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.

**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

**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.

**BÀI TẬP THỰC HÀNH (Mô phỏng)**

**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

**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.

→ Em làm trong file ipynb ạ.