1.

Mạng tế bào là mô hình truyền thông di động trong đó vùng phủ sóng được chia thành nhiều ô nhỏ gọi là tế bào (cell). Mỗi tế bào có một trạm thu phát gốc để quản lý và kết nối thiết bị di động trong phạm vi của nó. Các tế bào được bố trí liền kề nhau để tạo thành một mạng lưới phủ sóng rộng lớn.

Vai trò của trạm thu phát gốc (BS)

* Kết nối thiết bị di động: BS nhận tín hiệu từ điện thoại di động và chuyển tiếp đến mạng lõi hoặc các BS khác.
* Quản lý tài nguyên tần số: BS phân bổ và điều phối các kênh tần số nhằm giảm nhiễu và tối ưu hiệu suất.
* Chuyển giao cuộc gọi: Khi một thiết bị di động di chuyển từ tế bào này sang tế bào khác, BS đảm bảo quá trình chuyển tiếp cuộc gọi mượt mà mà không bị gián đoạn.
* Điều chỉnh công suất truyền: BS giúp điều chỉnh công suất truyền của thiết bị di động để giảm nhiễu và tiết kiệm năng lượng.

2. Mô hình tế bào trong mạng viễn thông thường sử dụng hình lục giác thay vì hình tròn hoặc hình vuông do các lý do sau:

* Tối ưu hóa vùng phủ sóng: Hình tròn có khoảng trống giữa các tế bào khi xếp cạnh nhau, gây lãng phí diện tích. Hình vuông tạo khoảng cách không đều giữa trung tâm và các điểm biên, dẫn đến hiệu suất truyền không đồng nhất. Lục giác giúp phủ sóng toàn bộ khu vực mà không có khoảng trống.
* Giảm chồng lấn tín hiệu: Hình lục giác có khả năng phân chia khu vực hợp lý hơn, giảm giao thoa giữa các tế bào lân cận so với hình tròn.
* Hiệu suất tần số tối ưu: Với mô hình lục giác, khoảng cách giữa các BS được tính toán đồng đều, giúp tái sử dụng tần số hiệu quả, giảm nhiễu giữa các kênh tần số.

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

Hệ thống mạng tế bào có nhiều ưu điểm vượt trội so với các hệ thống vô tuyến truyền thống (hệ thống phát thanh, truyền hình, thông tin vệ tinh, v.v.), bao gồm:

- Tái sử dụng tần số:

* Mỗi tế bào sử dụng một tập hợp tần số nhất định và có thể tái sử dụng ở các tế bào khác không liền kề, giúp tối ưu hóa tài nguyên tần số.

- Tăng dung lượng hệ thống:

* Do sử dụng nhiều tế bào nhỏ, hệ thống có thể hỗ trợ số lượng người dùng lớn hơn trên cùng một khu vực so với hệ thống vô tuyến truyền thống.

- Hỗ trợ chuyển vùng (Roaming):

* Người dùng có thể di chuyển liên tục giữa các tế bào mà không bị gián đoạn kết nối nhờ cơ chế handover.

- Giảm nhiễu và cải thiện chất lượng tín hiệu:

* Công suất phát được điều chỉnh phù hợp với từng tế bào, giúp giảm nhiễu và nâng cao chất lượng truyền dẫn.

- Tiết kiệm năng lượng:

* Các thiết bị di động có thể truyền tín hiệu với công suất thấp hơn, giúp kéo dài tuổi thọ pin.

- Linh hoạt và dễ mở rộng:

* Hệ thống có thể mở rộng bằng cách thêm tế bào mới mà không ảnh hưởng đến hoạt động của hệ thống hiện có.

4. Mạng tế bào (cellular network) gồm các thành phần chính như sau:

- Thiết bị đầu cuối

Là điện thoại di động, smartphone, máy tính bảng, laptop có SIM...

Chức năng: Gửi và nhận tín hiệu vô tuyến, thực hiện cuộc gọi, nhắn tin, kết nối internet.

- Trạm thu phát gốc (Base Transceiver Station - BTS hoặc NodeB/eNodeB/gNodeB tùy thế hệ mạng)

* Bao gồm ăng-ten và thiết bị vô tuyến.
* Chức năng: Kết nối vô tuyến với UE, chuyển tiếp tín hiệu từ UE đến mạng lõi và ngược lại.

- Bộ điều khiển trạm gốc (Base Station Controller - BSC) hoặc Radio Network Controller (RNC)

* (chủ yếu trong mạng 2G/3G)
* Chức năng: Quản lý nhiều BTS/NodeB, điều khiển tài nguyên vô tuyến, thực hiện chuyển giao (handover) giữa các BTS.

- Trung tâm chuyển mạch di động (Mobile Switching Center - MSC)

* + Thành phần trong mạng lõi (core network).
  + Chức năng: Thực hiện chức năng chuyển mạch cho các cuộc gọi thoại, SMS, quản lý đăng ký thuê bao, định tuyến cuộc gọi giữa các mạng.

- GGSN/SGSN (trong mạng 2.5G/3G) hoặc EPC (trong 4G)

* GGSN (Gateway GPRS Support Node) và SGSN (Serving GPRS Support Node): Chịu trách nhiệm cho dịch vụ dữ liệu trong mạng 2.5G/3G.
* Evolved Packet Core (EPC): Quản lý dữ liệu IP trong mạng LTE (4G).

- HLR (Home Location Register) / HSS (Home Subscriber Server)

* Chức năng: Lưu trữ thông tin thuê bao (SIM), vị trí hiện tại của thuê bao, trạng thái của UE.

- Các thành phần khác: như EIR (Equipment Identity Register), VLR (Visitor Location Register), SMSC (Short Message Service Center)..

5. Phân biệt các loại trạm thu phát gốc

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Loại trạm | Phạm vi phủ sóng | Công suất phát | Ứng dụng/ Vị trí lắp đặt |
| Macrocell | 1 - 30 km | 20 - 40W | Dùng cho khu vực rộng như ngoại ô, nông thôn, thành phố lớn (tầng cao). |
| Microcell | 500m - 2km | ~1 - 5W | Phủ sóng các khu vực nhỏ hơn như khu thương mại, khu phố đông đúc. |
| Picocell | Dưới 500m | ~100 - 250mW | Trong tòa nhà, trung tâm thương mại, văn phòng lớn. |
| Femtocell | Vài chục mét (10-50m) | <100mW | Nhà riêng, căn hộ, văn phòng nhỏ, kết nối qua internet băng rộng. |

* Macrocell: Phủ sóng lớn nhất.
* Microcell: Dùng cho khu vực nhỏ hơn, trong thành phố.
* Picocell: Phủ sóng trong nhà, cho nhóm nhỏ người dùng.
* Femtocell: Phủ sóng cho cá nhân, hộ gia đình.

6. Sự khác nhau giữa MSC và BSC

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tiêu chí | MSC (Mobile Switching Center) | BSC (Base Station Controller) |
| Chức năng chính | - Chuyển mạch cuộc gọi, SMS, quản lý thuê bao. | - Điều khiển, quản lý tài nguyên vô tuyến cho các BTS. |
| Vị trí mạng | Nằm trong mạng lõi (core network). | Nằm trong mạng truy nhập vô tuyến(radio network). |
| Quản lý thành phần | Quản lý BSC và kết nối đến mạng PSTN, GMSC, HLR... | Quản lý các BTS/NodeB và điều phối handover nội vùng. |
| Loại dữ liệu | Xử lý dữ liệu chuyển mạch (circuit switched), điều khiển logic mạng lõi. | Xử lý dữ liệu vô tuyến (radio resource control). |

7. Cụm tế bào (Cell Cluster) là một nhóm các ô (cells) liền kề nhau trong mạng tế bào, được thiết kế sao cho mỗi ô trong cụm sử dụng một tập tần số khác nhau (không trùng lặp) để tránh hiện tượng giao thoa (interference) giữa các ô lân cận.

Cấu trúc cụm tế bào:

* Một cụm thường gồm N ô (cells), trong đó N là số cụm tối thiểu sao cho các ô trong cùng cụm không sử dụng trùng tần số.
* Các cụm này sau đó sẽ được lặp lại trên toàn mạng, tạo thành một mô hình tái sử dụng tần số (frequency reuse pattern).

Ví dụ:

* Nếu N = 7, thì cụm sẽ có 7 ô, mỗi ô sử dụng 1 bộ tần số riêng biệt.

Vai trò của cụm tế bào trong quản lý tần số:

* Tái sử dụng tần số hiệu quả:
* Giúp sử dụng lại cùng một tập tần số ở các cụm khác cách xa nhau, tiết kiệm tài nguyên tần số.
* Giảm giao thoa:
* Việc phân chia tần số giữa các ô trong cùng một cụm đảm bảo rằng hai ô liền kề không dùng cùng một tần số, từ đó giảm nhiễu giữa các sóng vô tuyến.
* Tối ưu hóa vùng phủ sóng:
* Thiết kế cụm tế bào hợp lý giúp phủ sóng rộng khắp mà vẫn đảm bảo chất lượng tín hiệu.
* Dễ dàng trong quản lý và quy hoạch:
* Việc phân cụm giúp các nhà mạng dễ quy hoạch và mở rộng hệ thống khi cần thiết (ví dụ mở thêm trạm BTS mới nhưng vẫn đảm bảo không bị trùng tần số với các ô lân cận).

8. Hệ số tái sử dụng tần số (K) là số lượng ô (cells) trong một cụm tế bào (cell cluster) mà các ô này sử dụng các bộ tần số khác nhau, không trùng lặp trong cùng cụm. Sau khi cụm được xác định, các cụm này sẽ được lặp lại trên toàn mạngđể sử dụng lại tần số.

Ý nghĩa của K:

* K càng nhỏ → tần số được tái sử dụng nhiều hơn → hiệu suất phổ tần cao hơn nhưng dễ gây giao thoa (interference).
* K càng lớn → ít giao thoa hơn nhưng cần nhiều phổ tần hơn.

Công thức xác định K dựa trên các bước di chuyển (i, j) trên lưới tổ ong:

Mô hình mạng tế bào thường được thiết kế theo mạng lục giác (hình tổ ong).

* Khi di chuyển từ một ô gốc, nếu đi i bước theo một hướng (ví dụ hướng ngang phải), sau đó đi j bước theo hướng lệch 60 độ (lưới lục giác), ta sẽ đến ô gần nhất mà có thể dùng lại cùng tần số (ô trùng tần số đầu tiên).

Công thức xác định K như sau:

K =

Trong đó:

* i, j là số bước di chuyển trên lưới tổ ong (i ≥ 0, j ≥ 0 và i + j > 0).
* K luôn là số nguyên dương và chỉ ra số ô trong 1 cụm.

Ví dụ minh họa:

* Nếu i = 1, j = 2:

K=+(1)(2)+=1+2+4=7⇒K=7

→ Cụm có 7 ô (cụm 7 cells thường gặp nhất trong thực tế).

* Nếu i = 2, j = 2:

K=+(2)(2)+=4+4+4=12⇒K=12

### 9. K tăng lên → số ô trong cụm tăng → khoảng cách giữa các ô đồng kênh (co-channel cells) cũng tăng theo.

Hệ quả:

1. Giảm nhiễu đồng kênh (co-channel interference):  
   Các ô sử dụng cùng một tần số cách xa nhau hơn → ít bị giao thoa tín hiệu hơn.
2. Cải thiện chất lượng mạng:  
   Giảm nhiễu giúp tăng SIR (Signal to Interference Ratio) → cải thiện chất lượng thoại, dữ liệu, giảm rớt cuộc gọi.
3. Giảm hiệu suất sử dụng phổ tần:  
   Khi K tăng, cần nhiều tài nguyên tần số hơn cho cùng một khu vực → hiệu suất phổ tần thấp hơn.

 Như vậy:

* K nhỏ → tái sử dụng tần số nhiều hơn nhưng dễ nhiễu.
* K lớn → chất lượng mạng cao hơn nhưng tốn băng thông hơn.

Công thức tính khoảng cách giữa các cell đồng kênh (Co-channel Distance - D):

D=R⋅

Trong đó:

* D = khoảng cách giữa hai cell sử dụng cùng tần số (co-channel cells).
* R = bán kính của một ô (cell radius).
* K = hệ số tái sử dụng tần số.

Nhận xét:

* Khi K tăng → D tăng → các ô đồng kênh xa nhau hơn, giảm nhiễu.
* Đây là lý do vì sao các nhà mạng thường chọn K = 7 hoặc K = 12 để cân bằng giữa chất lượng mạng và hiệu quả sử dụng phổ tần.

### 10.

* Tổng số kênh tần số khả dụng của mạng T = 490.
* Hệ số tái sử dụng tần số K = 7.

Công thức:

Số kênh khả dụng cho mỗi cell (B) được tính như sau:

B= ​

Áp dụng số liệu:

B =

Kết luận:

Mỗi cell sẽ có 70 kênh khả dụng.

11. Handover (chuyển giao) là quá trình duy trì kết nối liên tục cho người dùng khi họ di chuyển từ vùng phủ sóng của một trạm gốc (cell) sang vùng phủ sóng của trạm gốc khác mà không bị rớt cuộc gọi hay gián đoạn dịch vụ.

Các loại handover:

Trong mạng GSM:

1. Intra-BTS Handover (chuyển giao trong cùng BTS):
   * Di chuyển giữa các kênh trong cùng một BTS.
2. Inter-BTS, Intra-BSC Handover:
   * Chuyển giao giữa các BTS khác nhau nhưng cùng dưới quyền quản lý của một BSC.
3. Inter-BSC Handover:
   * Chuyển giao giữa các BTS thuộc các BSC khác nhau.
4. Inter-MSC Handover:
   * Chuyển giao giữa các BTS thuộc các MSC khác nhau (giữa các vùng mạng khác nhau).

Trong mạng LTE:

* LTE chỉ hỗ trợ hard handover, không còn soft handover như mạng 3G.

1. Intra-LTE Handover (X2 handover):
   * Chuyển giao giữa các eNodeB trong cùng mạng LTE, sử dụng giao thức X2.
2. Inter-LTE Handover (S1 handover):
   * Chuyển giao giữa các eNodeB qua giao thức S1 khi không có kết nối X2.
3. Inter-RAT Handover:
   * Chuyển giao giữa LTE và các mạng khác như GSM, UMTS (3G) hoặc 5G.

Phân biệt hard handover và soft handover

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tiêu chí | Hard Handover | Soft Handover |
| Đặc điểm | "Break before make" (ngắt rồi mới nối) | "Make before break" (nối trước rồi mới ngắt) |
| Kết nối | Chỉ kết nối với 1 cell tại một thời điểm | Có thể kết nối đa cell cùng lúc |
| Tần số | Chuyển giữa các cell dùng cùng hoặc khác tần số | Thường chỉ áp dụng với cell cùng tần số |
| Mạng sử dụng | GSM, LTE | Chủ yếu dùng trong mạng 3G (UMTS) |
| Ưu điểm | Đơn giản, ít tốn tài nguyên vô tuyến | Giảm rớt cuộc gọi, tăng chất lượng cuộc gọi |
| Nhược điểm | Có thể gây rớt cuộc gọi khi di chuyển nhanh | Tốn nhiều tài nguyên vô tuyến hơn |

12. Là hiện tượng nhiễu xảy ra giữa các ô (cells) sử dụng cùng tần số trong một mạng tế bào.

* Nguyên nhân: Do việc tái sử dụng tần số (frequency reuse) trong các cell cách xa nhau nhưng vẫn gây ảnh hưởng do giao thoa sóng vô tuyến.

Hậu quả:

* Giảm SIR (Signal to Interference Ratio).
* Làm giảm chất lượng cuộc gọi và dữ liệu, gây mất tiếng, rớt cuộc gọi hoặc giảm tốc độ data.

13.

Một số giải pháp chính:

1. Tăng hệ số K:
   * Khi K tăng, khoảng cách giữa các cell đồng kênh D = R√(3K) cũng tăng → giảm nhiễu đồng kênh.
2. Tối ưu hướng anten (downtilt, điều chỉnh góc phát sóng):
   * Điều chỉnh anten hướng sóng tập trung đúng vùng phủ sóng, hạn chế tràn sóng sang cell đồng kênh.
3. Giảm công suất phát của BTS:
   * Hạn chế vùng phủ sóng quá rộng gây chồng lấn tín hiệu.
4. Sử dụng kỹ thuật tái sử dụng tần số phân đoạn (Fractional Frequency Reuse - FFR):
   * Phân chia vùng cell thành vùng trung tâm và vùng biên, mỗi vùng dùng tần số khác nhau.
5. Triển khai thêm Microcell/Picocell/Femtocell:
   * Phân tầng phủ sóng (hierarchical cells) để quản lý tốt hơn việc phân bổ tần số và giảm nhiễu.

K ảnh hưởng thế nào đến nhiễu đồng kênh?

* K nhỏ → các cell đồng kênh gần nhau hơn → nhiễu đồng kênh cao.
* K lớn → khoảng cách D xa hơn → giảm đáng kể nhiễu đồng kênh.

Tuy nhiên, K lớn quá sẽ làm giảm hiệu quả sử dụng phổ tần (băng thông không được tái sử dụng tối đa).

Bài tập

Bài tập 1:

T = 600, K = 7, M = 10 cụm cell

a) Số kênh tần số mà mỗi cell có thể sử dụng:

B==≈85.71

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

* Mỗi cụm có K = 7 cell có:

Số cell = M×K = 10×7=70

Dung lượng hệ thống là:

Tổng dung lượng = Số cell x B = 70×85= 5950 Kênh

Bài tập 2:

K = 12, R = 2 km

Khoảng cách giữa các cell đồng kênh:

D=R×=2×=2×=2×6=12 km

Bài tập 3:

K = 19, R = 1.5 km

D=R×=1.5×=1.5×≈1.5×7.55=11.33km

Bài tập 4:

10 thuê bao hoạt động đồng thời, mỗi cuộc gọi chiếm 2 kênh, tổng số kênh = 5000, K = 7

a) Số cụm cell cần thiết:

* Tổng số kênh cần cho 10 thuê bao:

Số Kênh cần =10×2=20  kênh

* Mỗi cell có:

B = = ≈ 714 kênh/cell

* 1 cell đã thừa sức phục vụ 20 kênh, nhưng để tìm số cụm cell cần thiết cho toàn hệ thống (5000 kênh):

Số cụm cell là:

= ≈ 1

Nhưng thực ra 5000 kênh / 714 ≈ 7 cells, vậy cần:

= 1 cụm cell

b) Tổng dung lượng hệ thống:

Tổng dung lượng = Số cell ×B = 7×714=4998≈5000

Bài tập (Tình huống thực tế)

1. Quy hoạch mạng di động

1) Bạn sẽ chọn K = 7, K = 10 hay K = 12?

→  chọn K = 7

2) Lý do lựa chọn K = 7 dựa trên các yếu tố:

* Mật độ dân số và nhu cầu lưu lượng cao: Thành phố mới thường sẽ có nhiều khu vực tập trung đông dân cư (urban). K = 7 sẽ cho phép tái sử dụng tần số nhanh hơn, tăng dung lượng mạng cho mỗi cell, phục vụ nhu cầu cao hơn.
* Hiệu suất phổ tần: K = 7 tối ưu hóa việc sử dụng băng tần, giúp cung cấp nhiều kênh hơn cho từng cell so với K = 10 hoặc K = 12.
* Chi phí triển khai: K nhỏ giúp giảm số lượng cụm cell cần thiết, từ đó giảm chi phí xây dựng và vận hành.
* Môi trường triển khai: Với khu vực đô thị, nhiễu đồng kênh dễ kiểm soát hơn nhờ các kỹ thuật hiện đại (chống nhiễu, tối ưu cell), nên có thể chọn K nhỏ.

Nếu là khu vực nông thôn hoặc địa hình phức tạp, có thể cân nhắc K = 10 hoặc K = 12 để giảm nhiễu đồng kênh.

2. Giảm nhiễu đồng kênh

Giải pháp đề xuất:

1. Tăng hệ số tái sử dụng K: Ví dụ, tăng từ K = 7 lên K = 12 để tăng khoảng cách giữa các cell đồng kênh, từ đó giảm nhiễu đồng kênh.
2. Tối ưu hướng phát sóng và công suất ăng-ten:
   * Sử dụng ăng-ten định hướng và điều chỉnh công suất phát sóng hợp lý để giảm rò rỉ tín hiệu sang cell lân cận.
   * Tối ưu hóa các tham số như tilt góc nghiêng của ăng-ten.
3. Triển khai thêm microcell hoặc picocell:
   * Tái cấu trúc mạng bằng cách phủ sóng bổ sung bằng các trạm microcell/picocell để giảm tải cho macrocellvà giúp giảm can nhiễu trong khu vực mật độ cao.

Ngoài ra: Có thể ứng dụng công nghệ ICIC (Inter-Cell Interference Coordination) trong các mạng LTE hiện đại.

3. Có, K = 3 là phù hợp trong mạng LTE ở vùng nông thôn. Vì:

* Vùng nông thôn thường có mật độ thuê bao thấp, nên không cần quá nhiều cell lặp lại tần số để phục vụ lưu lượng cao.
* Khoảng cách giữa các cell tự nhiên lớn do bán kính phủ sóng của các macrocell có thể lên tới 20 - 30 km, vì vậy nhiễu đồng kênh sẽ ít hơn, cho phép dùng K nhỏ như K = 3 để tiết kiệm tài nguyên tần số.
* Chi phí đầu tư: K = 3 giúp giảm số lượng trạm BTS cần triển khai, tối ưu chi phí cho nhà mạng.

-> Như vậy, với vùng nông thôn, K nhỏ giúp giảm chi phí, tối ưu tần số, trong khi vấn đề nhiễu đồng kênh không nghiêm trọng nhờ bán kính cell lớn.