

1. Mô hình mạng tế bào và vai trò của trạm thu phát gốc (BS)

Mạng tế bào là kiến trúc phân chia khu vực phủ sóng thành các ô nhỏ (cell), mỗi ô có một trạm thu phát gốc (BS - Base Station) để cung cấp dịch vụ cho các thiết bị di động. Các trạm BS được kết nối với nhau thông qua mạng lõi (core network).

Vai trò:

Quản lý truyền dữ liệu giữa thiết bị di động và mạng.

-Điều khiển tần số, quản lý tài nguyên vô tuyến.

-Hỗ trợ chuyển giao cuộc gọi (handover) giữa các cell.

-Tăng cường hiệu suất sử dụng băng thông nhờ tái sử dụng tần số.

2. Vì sao mạng tế bào dùng mô hình lục giác thay vì hình tròn hoặc vuông?

-Hình tròn không phủ kín không gian mà không bị chồng lấn.

-Hình vuông gây biến đổi khoảng cách từ tâm đến các điểm trong cell, làm suy giảm chất lượng sóng ở các góc.

-Hình lục giác tối ưu hóa vùng phủ sóng vì có biên đều nhau, dễ thiết kế tái sử dụng tần số và giảm nhiễu.

3. Ưu điểm của mạng tế bào so với hệ thống vô tuyến truyền thống

-Tăng khả năng mở rộng: Phủ sóng rộng bằng cách thêm cell mới.

-Hiệu suất sử dụng tần số cao: Tái sử dụng tần số trong các cell khác nhau.

-Hỗ trợ di động: Handover giúp duy trì kết nối khi di chuyển.

-Giảm nhiễu: Điều chỉnh công suất truyền, phân bổ tần số hiệu quả.

-Dung lượng cao: Nhiều người dùng có thể kết nối đồng thời.

4. Thành phần của hệ thống mạng tế bào và chức năng

-Mobile Station (MS): Thiết bị di động của người dùng.

-Base Station (BS): Trạm thu phát, kết nối MS với mạng lõi.

-Base Station Controller (BSC): Điều khiển nhiều BS, quản lý tài nguyên vô tuyến.

-Mobile Switching Center (MSC): Quản lý cuộc gọi, kết nối với mạng PSTN/Internet.

-Home Location Register (HLR) & Visitor Location Register (VLR): Cơ sở dữ liệu lưu thông tin thuê bao.

- Authentication Center (AuC) & Equipment Identity Register (EIR): Xác thực và quản lý thiết bị.

5. Phân biệt macrocell, microcell, picocell, femtocell

Macrocell: Phạm vi rộng (hàng chục km), công suất cao.

Microcell: Nhỏ hơn macrocell, dùng ở khu vực đô thị.

Picocell: Phạm vi rất nhỏ (vài trăm mét), dùng trong tòa nhà.

Femtocell: Dùng trong hộ gia đình, kết nối qua internet.

6. Khác nhau giữa MSC và BSC

MSC (Mobile Switching Center) và BSC (Base Station Controller) đều là những thành phần quan trọng trong hệ thống mạng di động, nhưng chúng có chức năng và vai trò khác nhau. MSC là trung tâm chuyển mạch di động, thuộc mạng lõi (Core Network), có nhiệm vụ quản lý các cuộc gọi, kết nối với các mạng bên ngoài như PSTN (mạng điện thoại cố định) hoặc Internet, đồng thời xử lý việc định tuyến cuộc gọi và quản lý thông tin thuê bao. Ngoài ra, MSC còn đóng vai trò điều phối chuyển giao cuộc gọi (handover) giữa các vùng khác nhau để đảm bảo kết nối liên tục khi người dùng di chuyển.

Trong khi đó, BSC thuộc mạng truy nhập vô tuyến (RAN – Radio Access Network), chịu trách nhiệm điều khiển nhiều trạm thu phát gốc (BS), quản lý tài nguyên vô tuyến, phân bổ tần số và điều chỉnh công suất truyền để tối ưu chất lượng dịch vụ. BSC cũng hỗ trợ handover giữa các BS trong cùng một vùng, giúp giảm tải cho MSC. Nếu một thuê bao di chuyển giữa các cell thuộc cùng một BSC, quá trình handover sẽ được xử lý nội bộ mà không cần MSC can thiệp.

Như vậy, MSC hoạt động ở cấp độ cao hơn, điều phối toàn bộ hệ thống mạng và đảm bảo kết nối với các mạng bên ngoài, trong khi BSC tập trung vào việc quản lý và tối ưu hóa tài nguyên vô tuyến của các trạm thu phát gốc.

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 các tế bào (cell) trong mạng di động được tổ chức theo mô hình lục giác, trong đó mỗi tế bào trong cụm sử dụng một tần số riêng biệt để tránh nhiễu đồng kênh (co-channel interference). Sau khi các tần số được phân bổ trong một cụm, chúng có thể được tái sử dụng ở các cụm khác, miễn là khoảng cách giữa các tế bào sử dụng cùng tần số đủ lớn để giảm nhiễu.

Trong quản lý tần số, khái niệm cụm tế bào giúp tối ưu hóa tài nguyên phổ tần, đảm bảo rằng mỗi tần số có thể được sử dụng lại nhiều lần mà không gây nhiễu quá mức giữa các tế bào đồng kênh. Một cụm thường chứa K tế bào, trong đó K là hệ số tái sử dụng tần số, được xác định bằng công thức:

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

Trong đó, i, j là các bước di chuyển trên lưới tổ ong. Giá trị K càng lớn thì khoảng cách giữa các tế bào sử dụng cùng tần số càng xa, giúp giảm nhiễu đồng kênh nhưng cũng làm giảm số kênh khả dụng cho mỗi tế bào.

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) là số lượng tế bào (cell) trong một cụm (cell cluster) mà mỗi tế bào trong cụm đó sử dụng một tần số khác nhau. Sau khi phân bổ tần số trong một cụm, chúng có thể được tái sử dụng ở các cụm khác, miễn là khoảng cách giữa các tế bào sử dụng cùng một tần số đủ lớn để giảm nhiễu đồng kênh (co-channel interference).

Hệ số K càng lớn thì khoảng cách giữa các tế bào đồng kênh càng xa, giúp giảm nhiễu nhưng đồng thời cũng làm giảm số lượng kênh khả dụng cho mỗi tế bào, ảnh hưởng đến dung lượng hệ thống.

Hệ số tái sử dụng tần số K được xác định bằng công thức:

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

Trong đó:

- **i, j** là số bước di chuyển theo hai hướng cơ bản trên lưới tổ ong.
- Hướng di chuyển trên lưới tổ ong được xác định theo các đường chéo của hình lục giác, không phải hệ trục tọa độ vuông góc thông thường.

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 tăng hệ số tái sử dụng tần số K, tức là tăng số lượng tế bào trong một cụm, chất lượng mạng sẽ thay đổi theo hai yếu tố chính:

1. Giảm nhiễu đồng kênh (co-channel interference):
 - Do các tế bào sử dụng cùng một tần số được đặt cách xa nhau hơn, mức độ giao thoa giữa chúng giảm đi đáng kể, giúp cải thiện chất lượng tín hiệu và giảm tỷ lệ lỗi trong truyền thông.

2. Giảm dung lượng mạng:

- Khi KKK tăng, số lượng kênh tần số được phân bổ cho mỗi tế bào giảm đi, làm giảm khả năng phục vụ của từng tế bào và có thể gây ra hiện tượng nghẽn mạng trong các khu vực có lưu lượng cao.

Khoảng cách giữa các cell đồng kênh:

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

Trong đó:

- **D**: Khoảng cách giữa hai tế bào đồng kênh.
- **R**: Bán kính của một tế bào.
- **K**: Hệ số tái sử dụng tần số.

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

Áp dụng công thức:

$$C = T/K = 490/7 = 70$$

Vậy, mỗi cell sẽ có 70 kênh khả dụng để phục vụ các cuộc gọi và truyền dữ liệu.

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 di chuyển kết nối của một thuê bao từ một trạm thu phát gốc (BS – Base Station) này sang một trạm khác mà không làm gián đoạn cuộc gọi hoặc dịch vụ dữ liệu. Handover rất quan trọng để duy trì kết nối liên tục khi người dùng di chuyển giữa các vùng phủ sóng của các cell khác nhau.

Các loại handover trong mạng GSM và LTE

1. Handover trong GSM

Trong mạng GSM, handover được chia thành 4 loại chính:

- **Intra-BTS Handover**: Chuyển giao giữa các kênh trong cùng một trạm thu phát gốc (BTS – Base Transceiver Station).

- **Inter-BTS Handover (cùng BSC):** Chuyển giao giữa hai BTS khác nhau nhưng vẫn nằm dưới sự kiểm soát của cùng một bộ điều khiển trạm gốc (**BSC – Base Station Controller**).
- **Inter-BSC Handover:** Chuyển giao giữa hai BTS thuộc hai BSC khác nhau, do **MSC – Mobile Switching Center** điều phối.
- **Inter-MSC Handover:** Chuyển giao giữa hai vùng MSC khác nhau, thường xảy ra khi thuê bao di chuyển qua các khu vực địa lý rộng lớn.

2. Handover trong LTE

Trong mạng LTE, handover chủ yếu dựa trên giao thức **X2** và **S1**:

- **X2 Handover:** Chuyển giao giữa hai eNodeB trực tiếp qua giao thức X2 mà không cần đến sự tham gia của **MME – Mobility Management Entity**.
- **S1 Handover:** Chuyển giao thông qua MME và **Serving Gateway (S-GW)**, thường xảy ra khi hai eNodeB không có kết nối trực tiếp với nhau.

Ngoài ra, LTE còn hỗ trợ **Handover giữa LTE và các mạng khác (Inter-RAT Handover)** khi người dùng di chuyển từ LTE sang 3G hoặc 2G

Phân biệt handover cứng (hard handover) và handover mềm (soft handover)

Handover cứng (Hard Handover) và handover mềm (Soft Handover) là hai cơ chế chuyển giao cuộc gọi trong mạng tế bào, mỗi loại có đặc điểm và ứng dụng riêng. Handover cứng là quá trình trong đó thiết bị di động phải ngắt kết nối hoàn toàn với trạm gốc (BTS/eNodeB) hiện tại trước khi kết nối với trạm gốc mới. Do đó, trong một khoảng thời gian ngắn, kết nối có thể bị gián đoạn, dẫn đến nguy cơ rớt cuộc gọi nếu quá trình chuyển giao không diễn ra thành công. Loại handover này thường được sử dụng trong GSM và LTE (FDD-LTE) vì nó giúp tối ưu hóa tài nguyên tần số và đơn giản hóa quản lý mạng. Tuy nhiên, do đặc tính ngắt kết nối trước khi thiết lập liên kết mới, handover cứng có thể gây mất tín hiệu tạm thời.

Ngược lại, handover mềm cho phép thiết bị di động duy trì kết nối đồng thời với cả trạm gốc cũ và mới trong một khoảng thời gian, giúp đảm bảo liên lạc liên tục và giảm tỷ lệ rớt cuộc gọi. Cơ chế này đặc biệt quan trọng trong các hệ thống như CDMA và UMTS (WCDMA), nơi tín hiệu từ nhiều trạm có thể được kết hợp để tăng chất lượng truyền dẫn. Mặc dù handover mềm giúp cải thiện độ ổn định của kết nối, nhưng nó đòi hỏi nhiều tài nguyên hơn vì thiết bị phải duy trì liên lạc với nhiều trạm cùng lúc, làm tăng độ phức tạp của hệ thống mạng.

Tóm lại, handover cứng đơn giản hơn và tiết kiệm tài nguyên nhưng có thể gây mất tín hiệu tạm thời, trong khi handover mềm đảm bảo kết nối liên tục nhưng phức tạp hơn trong triển khai. Việc lựa chọn loại handover phù hợp phụ thuộc vào công nghệ mạng và yêu cầu về chất lượng dịch vụ.

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

Nhiễu đồng kênh (Co-Channel Interference - CCI) là hiện tượng nhiễu xảy ra khi nhiều cell khác nhau trong mạng tế bào sử dụng cùng một tần số để truyền tín hiệu. Vì phổ tần số vô tuyến có giới hạn, các hệ thống di động phải sử dụng lại tần số (frequency reuse) để tối ưu hóa dung lượng mạng. Tuy nhiên, khi các cell sử dụng cùng một tần số đặt quá gần nhau, tín hiệu từ một cell có thể gây nhiễu cho các cell khác, làm giảm chất lượng cuộc gọi và tốc độ dữ liệu. Nhiễu đồng kênh là một trong những nguyên nhân chính ảnh hưởng đến hiệu suất của mạng di động, đặc biệt trong các khu vực có mật độ cao.

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

Có nhiều cách để giảm nhiễu đồng kênh trong mạng tế bào, bao gồm:

1. Tăng hệ số tái sử dụng tần số KKK:
 - Khi hệ số KKK (số cell trong một cụm tái sử dụng tần số) tăng, khoảng cách giữa các cell đồng kênh cũng tăng, làm giảm mức độ nhiễu.
2. Tối ưu hóa kích thước cell và điều chỉnh công suất truyền:
 - Giảm công suất truyền của các trạm gốc giúp hạn chế vùng phủ sóng của một cell, từ đó giảm ảnh hưởng của nó lên các cell đồng kênh lân cận.
3. Điều chỉnh hướng của anten và sử dụng anten thông minh:
 - Sử dụng anten định hướng hoặc anten thông minh giúp tập trung tín hiệu vào khu vực cần phủ sóng, giảm nhiễu đến các cell không mong muốn.
4. Sử dụng kỹ thuật điều chế và mã hóa tiên tiến:
 - Các kỹ thuật điều chế như QAM (Quadrature Amplitude Modulation) và mã hóa kênh giúp tăng khả năng chịu đựng của tín hiệu đối với nhiễu đồng kênh.
5. Triển khai các công nghệ chống nhiễu như MIMO (Multiple Input Multiple Output):
 - Công nghệ MIMO giúp tăng cường khả năng truyền tín hiệu đa đường, giảm ảnh hưởng của nhiễu đồng kênh bằng cách sử dụng nhiều anten thu phát.

Hệ số tái sử dụng tần số K có ảnh hưởng trực tiếp đến mức độ nhiễu đồng kênh trong mạng di động.

- Khi K tăng, khoảng cách giữa các cell sử dụng cùng một tần số cũng tăng, giúp giảm mức độ nhiễu đồng kênh. Tuy nhiên, điều này cũng làm giảm số lượng kênh khả dụng trên mỗi cell, ảnh hưởng đến dung lượng của mạng.
- Khi K giảm, số lượng kênh khả dụng trên mỗi cell tăng lên, giúp nâng cao dung lượng mạng, nhưng các cell đồng kênh sẽ gần nhau hơn, dẫn đến mức độ nhiễu cao hơn.