Chương 2.4: Mạng tế bào

Phần 1: 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.

* Mô hình mạng tế bào: Mạng tế bào là một mô hình tổ chức mạng không dây, trong đó vùng phủ sóng được chia thành nhiều ô nhỏ gọi là "cell". Mỗi cell được phục vụ bởi một trạm thu phát gốc (Base Station - BS), kết nối các thiết bị di động trong khu vực đó với mạng lõi (Core Network). Đặc điểm chính 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.
* Vai trò của BS:
  + Kết nối trực tiếp với các thiết bị di động trong cell qua sóng vô tuyến.
  + Quản lý truyền dữ liệu (thoại, tin nhắn, Internet) giữa thiết bị di động và mạng lõi.
  + Định tuyến dữ liệu đến các BS khác hoặc mạng lõi khi cần.
  + Hỗ trợ quá trình chuyển giao kết nối (handover) khi thiết bị di động di chuyển giữa các cell.

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

Mạng tế bào sử dụng mô hình lục giác thay vì hình tròn hoặc hình vuông vì những lý do sau:

* Hạn chế của mô hình hình tròn
  + Hình tròn là dạng tối ưu cho phạm vi phủ sóng của một trạm phát sóng. Tuy nhiên, nếu xếp nhiều hình tròn cạnh nhau để phủ kín một khu vực, sẽ xuất hiện khoảng trống hoặc chồng lấn giữa các cell.
  + Điều này gây ra vùng mất sóng (coverage gap) hoặc nhiễu tín hiệu (interference) do sự chồng lấn.
* Hạn chế của mô hình hình vuông
  + Hình vuông có thể xếp khít nhau, nhưng khoảng cách từ tâm cell đến các cell lân cận không đồng nhất.
  + Góc của ô vuông xa hơn so với cạnh bên, khiến tín hiệu không phân bố đồng đều, dẫn đến suy hao tín hiệu không cân bằng.
* Ưu điểm của mô hình lục giác
  + Hình lục giác giúp tối ưu hóa vùng phủ sóng với số lượng cell ít nhất.
  + Khoảng cách từ tâm của một ô đến bất kỳ điểm nào trên biên đều như nhau, giúp tín hiệu phủ sóng đồng đều.
  + Cho phép tái sử dụng tần số hiệu quả hơn mà không gây nhiễu đồng kênh quá mức.
* Kết luận: Hình lục giác là lựa chọn tối ưu vì vừa phủ kín vùng không gian mà không có khoảng trống, vừa đảm bảo khoảng cách tín hiệu đồng nhất và giảm thiểu nhiễu.

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

Mạng tế bào có nhiều ưu điểm nổi bật giúp cải thiện hiệu suất và tối ưu hóa tài nguyên so với các hệ thống vô tuyến truyền thống:

* Tái sử dụng tần số hiệu quả (Frequency Reuse)
  + Mạng tế bào chia khu vực phủ sóng thành nhiều ô (cell) nhỏ, mỗi ô sử dụng một tập hợp tần số nhất định.
  + Các cell không liền kề có thể sử dụng lại cùng tần số mà không gây nhiễu đáng kể.
  + Điều này giúp tăng dung lượng hệ thống mà không cần thêm băng thông.
* Tăng dung lượng mạng
  + Nhờ mô hình cell nhỏ hơn và khả năng tái sử dụng tần số, mạng tế bào có thể phục vụ nhiều người dùng hơn so với hệ thống truyền thống.
  + Dung lượng có thể mở rộng dễ dàng bằng cách thêm nhiều cell hoặc giảm kích thước cell (microcell, picocell, femtocell).
* Hỗ trợ di động và chuyển giao kết nối (Handover)
  + Khi người dùng di chuyển từ cell này sang cell khác, mạng tế bào tự động chuyển giao kết nối (handover) mà không gián đoạn cuộc gọi.
  + Điều này khác biệt với hệ thống vô tuyến truyền thống, nơi kết nối có thể bị mất khi di chuyển ra khỏi vùng phủ sóng.
* Giảm nhiễu đồng kênh (Co-Channel Interference Control)
  + Mạng tế bào sử dụng quy hoạch tần số thông minh để đảm bảo rằng các cell liền kề không dùng chung tần số, giúp giảm nhiễu.
  + Các kỹ thuật như beamforming và MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) trong 4G/5G giúp tối ưu hóa tín hiệu và giảm nhiễu hơn nữa.
* Mở rộng linh hoạt và tối ưu hóa vùng phủ sóng
  + Mạng tế bào có thể dễ dàng mở rộng bằng cách thêm các cell mới mà không ảnh hưởng đến hệ thống hiện có.
  + Với các loại cell khác nhau (macrocell, microcell, picocell, femtocell), mạng có thể được tối ưu hóa cho cả khu vực thành phố lẫn vùng nông thôn.
* Hiệu suất sử dụng phổ tần cao
  + So với hệ thống vô tuyến truyền thống sử dụng một trạm phát sóng công suất lớn, mạng tế bào chia nhỏ khu vực phủ sóng để tối đa hóa hiệu suất sử dụng phổ tần.
  + Điều này giúp cung cấp tốc độ dữ liệu cao hơn và chất lượng dịch vụ tốt hơn.
* Khả năng tích hợp với công nghệ hiện đại
  + Mạng tế bào dễ dàng tích hợp với các công nghệ như 5G, IoT (Internet of Things), trí tuệ nhân tạo (AI) và các ứng dụng hiện đại khác.
  + Cho phép triển khai các dịch vụ tiên tiến như ô tô tự lái, thành phố thông minh, thực tế ảo (VR), và truyền phát video 4K/8K.

5. Phân biệt các loại trạm thu phát gốc (macrocell, microcell, picocell, femtocell).

| Loại BS | Phạm vi phủ sóng | Ứng dụng |
| --- | --- | --- |
| Macrocell | Vài km | Vùng nông thôn, khu vực rộng lớn, thành phố lớn. |
| Microcell | Vài trăm mét | Khu đô thị đông dân cư, trục đường chính, ga tàu. |
| Picocell | Dưới 200 m | Tòa nhà văn phòng, trung tâm thương mại, sân bay. |
| Femtocell | Dưới 100 m | Hộ gia đình, văn phòng nhỏ, không gian kín. |

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) |
| --- | --- | --- |
| Vai trò | Trung tâm điều phối chính của mạng lõi di động. | Quản lý nhóm trạm gốc (BS) trong một khu vực địa lý. |
| Chức năng chính | - Xử lý thiết lập cuộc gọi - Xác thực thuê bao - Hỗ trợ roaming quốc tế - Kết nối mạng PSTN/ISDN | - Phân bổ kênh vô tuyến - Điều khiển công suất phát - Xử lý handover nội vùng |
| Vị trí trong mạng | Thuộc mạng lõi (Core Network). | Thuộc mạng truy nhập vô tuyến (RAN). |
| Phạm vi quản lý | Kết nối giữa: - Mạng di động - Mạng cố định (PSTN) - Các MSC khác | Kết nối giữa: - Nhóm BTS/NodeB - MSC |
| Xử lý Handover | Quản lý handover liên vùng (giữa các BSC/MSC khác). | Quản lý handover nội vùng (giữa các BTS cùng BSC). |
| Tầng mô hình OSI | Hoạt động ở tầng mạng (Layer 3). | Hoạt động ở tầng liên kết dữ liệu (Layer 2). |
| Ví dụ thực tế | Định tuyến cuộc gọi từ mạng Vinaphone sang Viettel. | Chuyển giao cuộc gọi từ cell A sang cell B trong cùng khu vực. |

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

* Cụm tế bào (Cluster): Là tập hợp các cell sử dụng các tần số khác nhau để giảm nhiễu, sau đó tần số được tái sử dụng ở cụm khác cách xa đủ để tránh nhiễu.
* Vai trò trong quản lý tần số:
  + Đảm bảo các cell trong một cluster không trùng tần số, giảm nhiễu đồng kênh (CCI).
  + Tái sử dụng tần số giữa các cluster giúp tối ưu hóa tài nguyên phổ tần hạn chế.
  + Hệ số tái sử dụng tần số (K) xác định số cell trong một cluster.

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 K: Là số lượng cell trong một cluster trước khi tần số được tái sử dụng. Nó phản ánh mức độ phân bổ tần số để tránh nhiễu.
* Công thức: 
* **i, j**: Là các số nguyên không âm (i ≥ 0, j ≥ 0), biểu thị số bước di chuyển từ cell trung tâm đến cell lân cận theo 2 hướng của lưới lục giác.
* **Điều kiện**: i và j không đồng thời bằng 0.

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?

* Chất lượng mạng khi tăng K:
  + Ưu điểm: Giảm nhiễu đồng kênh vì các cell dùng cùng tần số cách xa nhau hơn.
  + Nhược điểm: Dung lượng mỗi cell giảm (số kênh mỗi cell = T/KT/KT/K), dẫn đến phục vụ ít thuê bao hơn.
* Khoảng cách giữa các cell đồng kênh (D): 

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

* Số kênh mỗi cell:

A number with black text

AI-generated content may be incorrect.

* Kết quả: Mỗi cell có 70 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).

* Handover: Là quá trình chuyển giao kết nối từ một BS sang BS khác khi thiết bị di động di chuyển giữa các cell, đảm bảo không gián đoạn dịch vụ.
* Các loại handover:
  + GSM: Hard handover (chỉ kết nối với một BS tại một thời điểm).
  + LTE: Hard handover (tương tự GSM, ngắt kết nối cũ trước khi nối mới).
  + UMTS (3G): Soft handover (kết nối đồng thời với nhiều BS).
* Phân biệt:
  + Hard handover: Ngắt kết nối với BS cũ trước khi kết nối BS mới, nhanh nhưng có thể gián đoạn ngắn.
  + Soft handover: Kết nối đồng thời với nhiều BS, mượt mà hơn nhưng phức tạp và tốn tài nguyên.

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

* Nhiễu đồng kênh (CCI): Là nhiễu xảy ra khi hai cell sử dụng cùng tần số nằm quá gần nhau, gây chồng lấn tín hiệu và giảm chất lượng dịch vụ.

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

* Giảm nhiễu đồng kênh:
  + Tăng hệ số K để tăng khoảng cách giữa các cell đồng kênh.
  + Quy hoạch tần số thông minh (các cell liền kề dùng tần số khác nhau).
  + Sử dụng công nghệ như beamforming hoặc Massive MIMO để định hướng tín hiệu.
* Ảnh hưởng của K:
  + K lớn → khoảng cách ​ tăng → nhiễu giảm, nhưng dung lượng mỗi cell giảm.
  + K nhỏ → nhiễu tăng, nhưng dung lượng mỗi cell cao hơn.