

## Chương 17

### MÔ PHỎNG HỆ THỐNG VÔ TUYẾN TẾ BÀO

#### 17.1. Mở đầu

Rất nhiều hệ thống truyền thông vô tuyến được triển khai để cung cấp truy cập cơ sở hạ tầng truyền thông cho người dùng cố định hoặc di động với tính đa dạng môi trường hoạt động. Hầu hết đều dựa trên khái niệm vô tuyến tế bào. Các hệ thống truyền thông tế bào cho phép nhiều người dùng di động liên lạc đồng thời và liên tục tới các modem vô tuyến tại các trạm gốc BS, chiếm dụng phổ tần RF hữu hạn. Tín hiệu RF thu tại các BS từ mỗi MS được chuyển thành tín hiệu băng tần cơ sở, chuyển tới các trung tâm chuyển mạch di động MSC, MSC kết nối tới mạng điện thoại công cộng PSTN. Tương tự, truyền tin từ PSTN tới BS, truyền tới MS. Các hệ thống tế bào dùng các kỹ thuật: (i) đa truy cập phân chia theo tần số FDMA; (ii) đa truy cập phân chia theo thời gian TDMA; (iii) đa truy cập phân chia theo mã CDMA; (iv) đa truy cập phân chia theo không gian SDMA.

Các tuyến truyền thông vô tuyến phải chịu ảnh hưởng của các đặc tính kênh vật lý như: đa đường thay đổi theo thời gian, che chắn do các vật cản lớn trên đường truyền sóng.v.v. Hơn nữa, hiệu năng các hệ thống tế bào có xu hướng bị hạn chế bởi nhiễu từ các người dùng khác, vì thế cần phải có kỹ thuật để mô hình hóa nhiều một cách chính xác. Việc miêu tả các điều kiện kênh phức tạp này bằng mô hình giải tích đơn giản là rất khó mặc dù tồn tại một số mô hình khả giải tích khá phù hợp với dữ liệu kênh đo được. Tuy nhiên, ngay cả khi kênh được mô hình hóa theo cách phân tích, thì phần lớn các tình huống thật là khó hoặc không thể xây dựng các giải pháp phân tích cho hiệu năng tuyến nối *khi* mã hoá kiểm soát lỗi, cân bằng, phân tập, các mô hình mạng được *nhân tố hóa* vào mô hình tuyến nối. Vì vậy, khi phân tích hiệu năng các tuyến truyền thông tế bào thường cần đến giải pháp mô phỏng.

Tương tự như các tuyến nối không dây, hiệu năng của *hệ thống* vô tuyến tế bào hầu hết được mô hình hiệu quả bằng cách sử dụng mô phỏng (do sự khó khăn khi mô hình hóa số lượng lớn các sự kiện ngẫu nhiên theo thời gian và không gian). Các sự kiện ngẫu nhiên này như: (i) vị trí người dùng; (ii) số lượng người dùng đồng thời trong hệ thống; (iii) các điều kiện truyền sóng; (iv) nhiễu; (v) thiết lập mức công suất cho mỗi người dùng; (vi) nhu cầu lưu lượng của mỗi người dùng, tất cả kết hợp với nhau gây ảnh hưởng lên toàn bộ hiệu năng của một người dùng trong hệ thống tế bào. Các nhân tố trên chỉ là một minh chứng tiêu biểu của nhiều cơ chế vật lý quan trọng để công bố hiệu năng tức thời của một người dùng riêng biệt tại thời điểm nào đó trong hệ thống. Vì vậy, *thuật ngữ hệ thống vô tuyến tế bào, được xem là toàn bộ mật độ người dùng di động và trạm gốc ở khắp vùng phục vụ địa lý* (khác với tuyến kết nối đơn, kết nối một người dùng di động với một trạm gốc). Để thiết kế hiệu năng mức hệ thống,

cần phải xét tính phức tạp của nhiều người dùng đồng thời trên vùng phủ. Vì vậy, cần phải xét các ảnh hưởng nhiều người dùng lên bất kỳ một trong các tuyến cụ thể giữa BS và MS.

Hiệu năng tuyến nổi là hiện tượng phạm vi hẹp (*small-scale phenomenon*) liên quan với những những thay đổi tức thì trong kênh trên một nội vùng nhỏ, hoặc khoảng thời gian nhỏ trên đó công suất thu trung bình được coi là không đổi. Có thể cảm nhận được những giả định này khi thiết kế các mã kiểm soát lỗi, các bộ cân bằng, và các thành phần khác nhằm giảm bớt những ảnh hưởng tức thì của kênh. Tuy nhiên, để xác định toàn bộ hiệu năng hệ thống của một số lượng lớn người dùng trải khắp trên một vùng địa lý rộng, thì cần phải kết hợp chặt chẽ các ảnh hưởng phạm vi rộng (*large-scale*) như: tính cách thống kê của nhiễu; mức tín hiệu phải chịu ảnh hưởng bởi các người dùng riêng biệt trên các khoảng cách lớn (khi này bỏ qua các đặc tính kênh tức thì). Có thể coi mô phỏng mức tuyến nổi như là điều chỉnh hiệu năng của hệ thống truyền thông, và mô phỏng mức hệ thống như là một phép tính xấp xỉ sơ bộ chất lượng toàn bộ mà bất cứ người dùng nào được mong đợi tại bất kỳ thời điểm nào.

Các hệ thống tế bào đạt được dung lượng cao (đáp ứng số lượng lớn người dùng) bằng cách cho phép các MS chia sẻ, nghĩa là tái sử dụng kênh truyền thông ở các vùng khác trong vùng phục vụ. Tái sử dụng kênh dẫn đến *nhiều đồng kênh* giữa những người dùng cùng kênh, được xem là một trong những nhân tố chính làm hạn chế hiệu năng và dung lượng hệ thống tế bào. Vì vậy, cần phải hiểu rõ ảnh hưởng của nhiều đồng kênh lên dung lượng và hiệu năng khi triển khai các hệ thống tế bào, hoặc khi phân tích và thiết kế các phương pháp luận hệ thống nhằm giảm bớt các ảnh hưởng của nhiều đồng kênh. Các ảnh hưởng này phụ thuộc vào nhiều nhân tố, như số người dùng chia sẻ kênh và vị trí của họ. Các nhân tố khác liên quan tới kênh truyền sóng nhiều hơn như: (i) suy hao tuyến; (ii) pha dinh che chắn; (iii) mẫu bức xạ ăng ten vì các ảnh hưởng này cũng thay đổi theo vị trí của người dùng. *Chương này bàn về việc ứng dụng mô phỏng mức hệ thống trong phân tích hiệu năng hệ thống truyền thông tế bào dưới các ảnh hưởng của nhiều đồng kênh.* Ta sẽ phân tích một hệ thống tế bào đa người dùng gồm có các ảnh hưởng truyền sóng và ăng ten của một hệ thống điển hình. Mặc dù hệ thống được xét là đơn giản, nhưng việc phân tích có thể dễ dàng được mở rộng cho các tính năng khác của hệ thống tế bào.

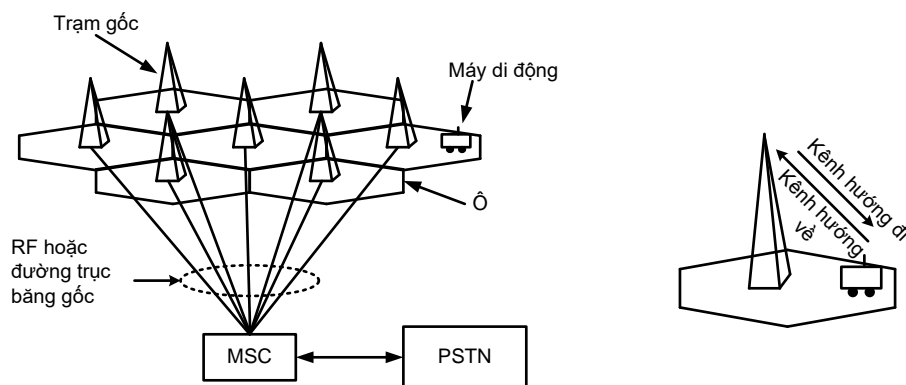
**Theo đó**, chương này sẽ trình bày cơ bản tổng quan các nhân tố quan trọng để mô phỏng hiệu năng tổng thể một hệ thống truyền tin vô tuyến. Một số tham số thiết kế như: (i) hệ số tái sử dụng tần số tế bào (kích cỡ cụm); (ii) xác suất nghẽn; (iii) tỉ số tín hiệu trên nhiễu SIR trung bình; (iv) độ rộng búp ăng ten, tất cả đều ảnh hưởng lên hiệu năng hệ thống truyền thông vô tuyến tổng thể. Hơn nữa, chúng không độc lập nhau mà quan hệ mật thiết nhau và thường được dùng để dung hòa hiệu năng hệ thống. Chẳng hạn, kích cỡ cụm tế bào nhỏ sẽ làm tăng dung lượng kênh khả dụng của hệ thống nhưng làm gia tăng mức nhiễu của mỗi người dùng. Tương tự, việc phân đoạn làm giảm nhiễu đồng kênh nhưng lại làm giảm dung lượng hệ thống. Do tính đối nghịch nên cần phải mô phỏng để tìm giải pháp dung hòa. Mức nhiễu đồng kênh do những người dùng không mong muốn thiết lập nền tạp âm hoạt động và được thấy bởi một người dùng di động tại một vị trí xác định, và chương này cũng sẽ minh họa mô hình hóa và mô phỏng hiệu quả các ảnh hưởng của các tham số thiết kế hệ thống. Chiến lược mô phỏng là

tạo ra một phân tích Monte Carlo của nhiều chớp ảnh về hiệu năng của hệ thống được nhận biết bởi nhiều người dùng di động hoạt động tại các vị trí ngẫu nhiên, tập hợp các chớp ảnh đó được dùng để tạo số liệu thống kê hiệu năng hoạt động trên các vùng phủ mong muốn. Việc mô phỏng hệ thống đòi hỏi phải mô hình hóa cẩn thận các hiệu ứng không gian của người dùng, các mẫu bức xạ ăng ten cụ thể, việc cấp phát các kênh vô tuyến trên không gian và các mức nhiễu phạm vi rộng trên không gian đó. Chương cũng sẽ trình bày một số ví dụ và phương pháp luận để làm sáng tỏ các vấn đề quan trọng này nhằm thiết kế và mô phỏng các hệ thống truyền thông vô tuyến.

## 17.2. Hệ thống vô tuyến tế bào

### 17.2.1. Mô tả mức hệ thống

Các hệ thống tế bào tạo ra vùng phủ sóng khắp vùng phục vụ địa lý bằng cách chia vùng địa lý thành các phần được gọi là các tế bào như được cho ở hình 17.1. Phổ tần khả dụng cũng được chia thành các nhóm kênh để phân bổ cho ô. Các trạm gốc được định vị trong mỗi ô, được trang bị các modem vô tuyến để liên lạc với người dùng di động. Các kênh tần số vô tuyến RF được dùng ở hướng từ BS đến MS được gọi là các *kênh hướng đi* (đường xuống), ngược lại là các *kênh hướng về* (đường lên). Các kênh đường lên và đường xuống cùng nhau nhận biết một kênh tế bào song công. Khi dùng song công phân chia theo tần số FDD, thì các kênh đường lên và đường xuống được phân tách tần số. Khi sử dụng song công phân chia theo thời gian TDD, thì các kênh đường lên và đường xuống sử dụng cùng tần số nhưng dùng các khe thời gian khác nhau để truyền.



Hình 17.1: Kiến trúc cơ bản của một hệ thống truyền thông tế bào

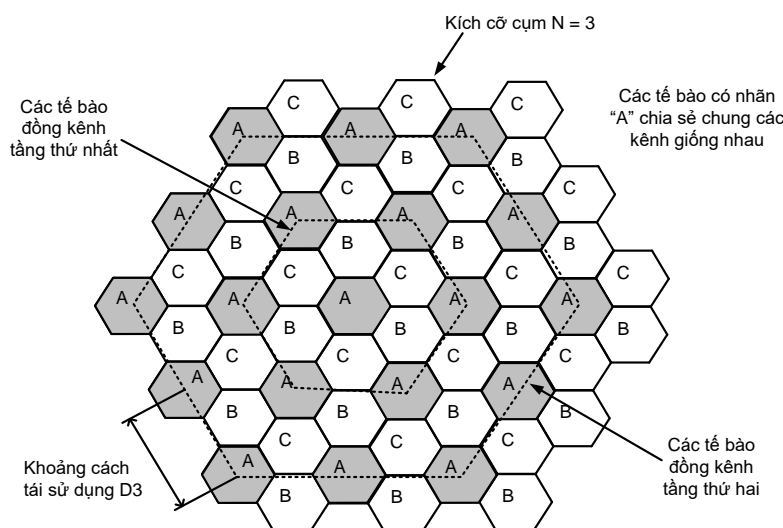
Các hệ thống tế bào dung lượng lớn tận dụng khả năng tái sử dụng tần số giữa các ô. Dẫn đến các tế bào đồng kênh (các tế bào chia sẻ cùng tần số) phải đủ xa nhau để giảm thiểu nhiễu đồng kênh. Tái sử dụng kênh bằng cách bao phủ vùng phục vụ bằng các cụm  $N$  ô, như được thấy ở hình 17.2, trong đó  $N$  là kích cỡ cụm.

Phổ tần RF khả dụng cho vùng phục vụ địa lý được phân bổ cho mỗi cụm sao cho các tế bào trong một cụm không chia sẻ bất cứ kênh nào. Nếu: (i)  $M$  kênh hợp lại thành toàn bộ phổ tần khả dụng cho vùng phục vụ; (ii) sự phân bố các người dùng là đồng đều trên vùng phục vụ, thì mỗi tế bào được ấn định  $M/N$  kênh. Khi các cụm được tái tạo trên vùng phục vụ, thì việc tái

sử dụng kênh dẫn đến xếp tầng các tế bào đồng kênh, và nhiều đồng kênh sẽ sinh ra từ truyền lan năng lượng RF giữa các trạm gốc đồng kênh và các người dùng di động. Ví dụ, xảy ra nhiều đồng kênh trong một hệ thống tế bào khi MS đồng thời thu được các tín hiệu từ trạm gốc trong tế bào của nó, cũng như từ các trạm gốc đồng kênh các tế bào từ các tầng lân cận. Trong ví dụ này, một tuyến kết nối đường xuống đồng kênh (BS đến MS) là tín hiệu mong muốn, và các tín hiệu đồng kênh khác được thu bởi MS tạo thành nhiễu đồng kênh tổng tại máy thu. Mức công suất nhiễu đồng kênh liên quan mật thiết với khoảng cách phân tách giữa các tế bào đồng kênh. Nếu mô hình hóa các tế bào bằng hình lục giác (6 cạnh) như trong hình 17.2, thì khoảng cách nhỏ nhất giữa tâm của hai tế bào đồng kênh được gọi là *khoảng cách tái sử dụng*  $D_N$  là:

$$D_N = \sqrt{3NR} \quad (17.1)$$

Trong đó  $R$  là bán kính cực đại của tế bào (hình 6 cạnh được vẽ nội tiếp trong vòng tròn bán kính). Vì vậy, thấy rõ từ hình 17.2 khi kích cỡ cụm giảm (khoảng cách tái sử dụng  $D_N$  giảm), thì nhiễu giữa các tế bào đồng kênh tăng.



Hình 17.2 Cụm hóa các tế bào: Mô tả mẫu tái sử dụng ba ô

Tại một thời điểm bất kỳ, mức nhiễu đồng kênh phụ thuộc vào số các tế bào đồng kênh. Như đã đề cập, các tế bào đồng kênh được nhóm thành các *tầng*. Số các tế bào đồng kênh trong một tầng phụ thuộc vào bậc tầng và dạng hình học được chọn để trình bày tế bào (ví dụ, vùng phủ của một trạm gốc cụ thể). Với dạng lục giác, các tế bào đồng kênh gần nhau nhất được định vị trong tầng thứ nhất và có 6 tế bào đồng kênh. Tầng thứ hai gồm 12 tế bào đồng kênh, tầng thứ ba có 18 tế bào và cứ tiếp tục như thế. Theo đó nhiễu đồng kênh tổng là tổng các tín hiệu nhiễu đồng kênh từ tất cả các tế bào đồng kênh của tất cả các tầng. Tuy nhiên, các tế bào đồng kênh thuộc tầng thứ nhất có ảnh hưởng mạnh hơn, vì chúng gần với tế bào nơi mà nhiễu được đo.

Nhiều đồng kênh được coi là một trong các nhân tố chính làm hạn chế chất lượng tuyến nối và dung lượng hệ thống, và có vai trò quan trọng trong việc dung hòa giữa dung lượng hệ thống (vấn đề phạm vi rộng) và chất lượng tuyến nối (vấn đề phạm vi hẹp). Chẳng hạn, giải pháp để đạt được dung lượng lớn mà không tăng phổ tần RF được cấp phát là giảm khoảng cách tái sử dụng kênh bằng cách giảm kích cỡ cụm  $N$ . Tuy nhiên, giảm kích cỡ cụm sẽ tăng nhiều đồng kênh và làm giảm chất lượng kết nối.

Mức nhiễu tại thời điểm nào đó là ngẫu nhiên, và phải được mô phỏng bằng cách mô hình hóa cho: (i) môi trường truyền sóng RF giữa các ô; (ii) định vị vị trí của những người dùng di động. Ngoài ra, tính cách thống kê lưu lượng của mỗi người dùng và kiểu phân bố kênh tại trạm gốc sẽ xác định mức nhiễu tức thời và dung lượng của hệ thống.

Ta có thể ước tính ảnh hưởng của nhiễu đồng kênh bằng *tỉ số tín hiệu trên nhiễu SIR* của tuyến truyền thông, được định nghĩa là tỉ số giữa công suất tín hiệu mong muốn  $S$  trên công suất nhiễu tổng  $I$ . Vì  $S$  và  $I$  đều là các biến ngẫu nhiên (do ảnh hưởng truyền lan sóng RF, tính di động của người dùng và tính thay đổi lưu lượng), nên  $SIR$  cũng là biến ngẫu nhiên. Cho nên, mức độ ảnh hưởng nghiêm trọng của nhiễu đồng kênh lên hiệu năng hệ thống thường được phân tích ở dạng xác suất ngừng hoạt động hệ thống, trong trường hợp cụ thể này được định nghĩa là xác suất mà  $SIR$  nhỏ hơn mức ngưỡng  $SIR_0$  cho trước, nghĩa là:

$$P_{\text{ngừng hoạt động}} = \Pr[SIR < SIR_0] = \int_0^{SIR_0} p_{SIR}(x) dx \quad (17.2)$$

Trong đó  $p_{SIR}(x)$  là hàm mật độ xác suất pdf của  $SIR$ . Lưu ý rằng, sự khác biệt giữa định nghĩa *xác suất ngừng tuyến nối* (nhằm phân loại ngừng hoạt động dựa vào giá trị BER cụ thể hoặc ngưỡng  $E_b/N_0$  đối với hiệu năng tiếng chấp nhận được), và *xác suất ngừng hoạt động hệ thống* (xét ngưỡng  $SIR$  cụ thể để hiệu năng di động của một người dùng có thể chấp nhận được).

Các giải pháp giải tích để ước tính xác suất ngừng hoạt động trong hệ thống tế bào như đã được đề cập ở chương 11, cần có các mô hình có thể xử lý theo cách giải tích cho các ảnh hưởng truyền sóng RF, sự di động của người dùng và sự thay đổi lưu lượng, nhằm có được biểu thức  $p_{SIR}(x)$ . Đáng tiếc, thật khó sử dụng các mô hình giải tích cho các ảnh hưởng này (do các quan hệ phức tạp của chúng với mức tín hiệu thu). Vì vậy, ước tính xác suất ngừng hoạt động trong hệ thống tế bào thường dựa vào mô phỏng (tạo ra tính mềm dẻo trong ước tính). Chương này sẽ trình bày một mô phỏng để minh họa hệ thống truyền thông tế bào đơn giản nhằm nhấn mạnh các khía cạnh mang tính hệ thống của hệ thống truyền tin bao gồm hiệu năng đa người dùng, thiết kế lưu lượng và tái sử dụng kênh. Để xây dựng mô phỏng mức hệ thống, số lượng các khía cạnh của các kết nối thông tin riêng biệt phải được xem xét gồm mô hình kênh, mẫu phát xạ ăng ten và quan hệ giữa  $E_b/N_0$  (chẳng hạn  $SIR$ ) và hiệu năng khả chấp nhận.

Để mô phỏng một hệ thống tế bào, ta phải lập mô hình toán học các thành phần hệ thống. Phần sau, ta sẽ trình bày việc lập mô hình các thành phần hệ thống.

### 17.2.2. Mô hình hóa hệ thống vô tuyến tế bào

Ta xét vài khía cạnh hệ thống truyền thông tế bào, chúng sẽ rất hữu hiệu khi triển khai mô hình mô phỏng để nghiên cứu chi tiết hệ thống.

#### Trung kế và cấp dịch vụ

Ta bắt đầu việc đề cập một số vấn đề dung lượng hệ thống vô tuyến tế bào. Giống như các hệ thống điện thoại cố định, các hệ thống vô tuyến tế bào dựa vào *khái niệm trung kế* để cung cấp dịch vụ truyền thông cho một số lượng lớn người dùng, chiếm một tài nguyên hữu hạn, cụ thể với trường hợp truyền thông tế bào là phổ RF hoặc số lượng các kênh khả dụng. Sở dĩ sử dụng các kỹ thuật trung kế là do đặc tính thống kê của người dùng, được mô tả chủ yếu bằng hai khía cạnh sau:

1. Một người dùng truy cập vào hệ thống nghĩa là *yêu cầu một cuộc gọi*, trên cơ sở ngẫu nhiên trong suốt một khoảng thời gian và khoảng thời gian  $\tau$  giữa hai yêu cầu gọi liên tiếp từ một người dùng, tuân theo phân bố hàm số mũ. Do vậy, pdf cơ bản là:

$$p_{\tau}(\tau) = \lambda_u e^{-\lambda_u \tau} \quad (17.3)$$

Trong đó  $\lambda_u$  là số yêu cầu cuộc gọi trung bình trên một đơn vị thời gian (các cuộc gọi trên thời gian) của một người dùng. Nếu ta xét mật độ  $U$  người dùng, thì sự phân bố của khoảng thời gian giữa hai yêu cầu cuộc gọi liên tiếp được tạo ra bởi hai người dùng bất kỳ cũng theo luật số mũ. Số các yêu cầu cuộc gọi trung bình là  $\lambda = U \cdot \lambda_u$ .

2. Khoảng thời gian cuộc gọi cũng là một biến ngẫu nhiên tuân theo phân bố hàm mũ sao cho các cuộc gọi ngắn có khả năng xuất hiện nhiều hơn các cuộc gọi dài. Nếu ký hiệu khoảng thời gian cuộc gọi là  $s$ , thì hàm mật độ xác suất pdf của  $s$  là:

$$f_s(s) = \mu e^{-\mu s} \quad (17.4)$$

Trong đó  $\frac{1}{\mu} = H$  là khoảng thời gian gọi trung bình (các đơn vị thời gian)

Dựa vào tính cách thống kê này, rất nhiều người dùng có thể cùng chia sẻ một số lượng nhỏ các kênh trong một nhóm các kênh. Với mỗi BS trong hệ thống tế bào tạo ra một nhóm  $C$  kênh trung kế khả dụng cho mọi người dùng trong vùng phủ của trạm gốc BS. Do nhu cầu một người dùng không truy cập vào hệ thống tại mọi thời điểm, nên ta có thể cấp phát các kênh cho các người dùng. Khi cuộc gọi được kết thúc, thì kênh trở về nhóm các kênh khả dụng. Tuy nhiên, do thiếu kênh vô tuyến khả dụng ở trạm gốc, nên không phải lúc nào một người dùng cũng được phép thiết lập tuyến nối vô tuyến với các BS phục vụ. Khi này, tất cả các kênh bận phục vụ người dùng khác, và yêu cầu cuộc gọi đó bị *ngheñ*. Dựa vào tính cách thống kê của các người dùng, số lượng kênh khả dụng trong nhóm, và các đặc tính chính xác của hệ thống trung kế, ta có thể xác định xác suất một người dùng có nhu cầu gọi bị ngheñ (do thiếu kênh rồi). Xác suất này thường được gọi là xác suất ngheñ, là số đo “*cấp phục vụ*” của một hệ thống trung kế. Tính cách thống kê của một người dùng có thể được tổng kết bằng lưu lượng  $A_u$  được tạo ra bởi người dùng này, có đơn vị là Erlang và được xác định là:

$$A_u = \lambda_u H \quad (17.5)$$

Đối với một hệ thống gồm  $U$  người dùng, thì lưu lượng cung cấp tổng (đơn vị Erlang) là:

$$A = UA_u = \lambda H \quad (17.6)$$

Đặc tính quan trọng của hệ thống trung kế là công bố chất lượng dịch vụ cho người dùng biết hệ thống xử lý cuộc gọi bị nghẽn như thế nào. Tồn tại hai chiến lược cơ bản: (i) Các yêu cầu cuộc gọi không tìm được các kênh rỗi khả dụng bị nghẽn và được xoá. Khi này hệ thống trung kế được xem là *xóa các cuộc gọi nghẽn*. (ii) Các cuộc gọi nghẽn được giữ trong một hàng đợi và được phục vụ ngay khi kênh trở nên khả dụng. Khi này các hệ thống trung kế được gọi là *trễ các cuộc gọi nghẽn*. Ta sẽ tập trung vào hệ thống trung kế *xóa cuộc gọi nghẽn* vì hệ thống này thường gặp trong thực tế.

Vì vậy, ta giả sử rằng các cuộc gọi nghẽn được xoá. Ngoài ra, có các giả thiết sau đây:

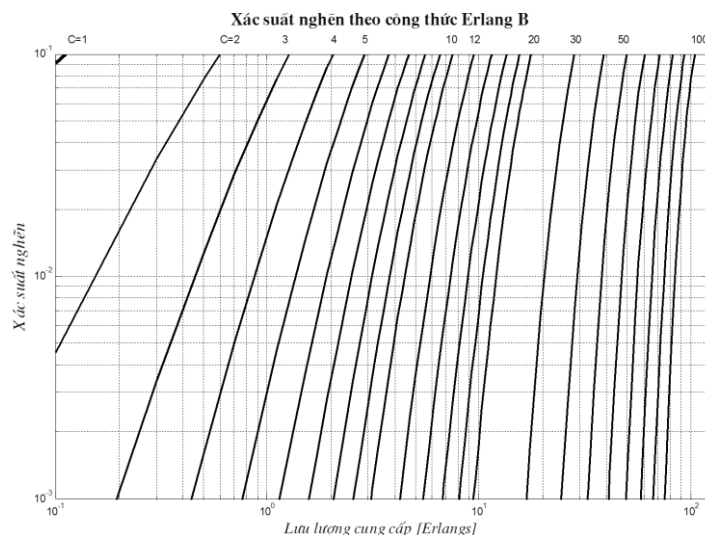
- Cuộc gọi đến là không nhớ. Nói cách khác, người dùng bất kỳ (kể cả các người dùng có các cuộc gọi trước bị nghẽn) đều có thể yêu cầu một cuộc gọi tại bất cứ thời điểm nào.
- Có một số vô hạn người dùng.
- Có  $C$  kênh trung kế khả dụng trong nhóm.

Dưới các điều kiện này *xác suất một cuộc gọi bị nghẽn*  $P_B$  được cho bởi công thức Erlang B. Công thức Erlang B quan hệ hóa giữa số lượng kênh trung kế  $C$ , xác suất nghẽn  $P_B$  và lưu lượng  $A$ , có thể hoặc là *lưu lượng cung cấp* hoặc *lưu lượng mang*. Trường lưu lượng cung cấp,  $P_B$  là xác suất nghẽn phải chịu bởi mật độ người dùng tạo ra lưu lượng  $A$ , *cung cấp* cho hệ thống trung kế với  $C$  kênh. Trường lưu lượng mang,  $A$  là lưu lượng mang tối đa bởi hệ thống trung kế chứa  $C$  kênh tại xác suất nghẽn  $P_B$ . Lưu lượng mang bởi hệ thống trung kế cũng là một phép đo dung lượng của hệ thống. Công thức Erlang B là:

$$P_B = \frac{A^C / C!}{\sum_{k=0}^C A^k / k!} \quad (17.7)$$

Khi cho trước lưu lượng cung cấp và số các kênh trung kế, thì xác suất nghẽn được tính toán bởi mã chương trình Matlab **NVD17\_erlang\_b.m** trong Phụ lục 17A.

Đồ thị Erlang B với số lượng kênh trung kế làm tham số được cho ở hình 17.3, khi này số lượng kênh trung kế  $C$  được thấy dọc bên trên đồ thị. Mỗi khi chạy chương trình **NVD17\_erlangb.m** chương trình này sẽ gọi hàm **NVD17\_erlang\_b(A,c)**. Cho trước công thức Erlang B, thì các ảnh hưởng của kích cỡ cụm lên dung lượng hệ thống ở dạng số lượng người dùng được ước lượng.



Hình 17.3: Xác suất nghẽn được cho bởi công thức Erlang B với số trung kế làm tham số

**Ví dụ 17.1:** Xét một hệ thống tế bào trong đó 400 cặp kênh đường lên và đường xuống khả dụng cho toàn bộ hệ thống. Mỗi tế bào có bán kính 5 km, và các trạm gốc được trang bị các ăng ten vô hướng được định vị tại tâm của mỗi ô. Các giả định gồm: (i) mỗi người dùng tạo ra lưu lượng 0,02 Erlang và kích cỡ cụm  $N = 7$ ; (ii) người dùng được phân bố đồng đều khắp vùng phục vụ, mỗi tế bào được cấp phát  $N_C = 400/7 \approx 57$  kênh. Ngoài ra, nếu coi các cuộc gọi nghẽn được xóa và xác suất nghẽn  $P_B = 0,02$  là chấp nhận được, thì lưu lượng tối đa  $A_C$  được mang bởi mỗi tế bào được cho bởi công thức Erlang B. Kết quả là:

$$A_C = 46,8 \text{ Erlang/tế bào}$$

Dễ dàng tính được số lượng người dùng trên mỗi tế bào. Vì  $A_u = 0,02$  Erlang trên mỗi người dùng, nên số lượng người dùng trên mỗi tế bào là:

$$U = \frac{A_C}{A_u} = 2340 \text{ người dùng/tế bào}$$

Tại đây giảm kích cỡ cụm  $N = 3$  không thay đổi vùng phủ của mỗi tế bào, theo đó mỗi tế bào được cấp  $N_C = 400/3 = 133$  kênh tại  $P_B = 0,02$ . Cho ta:

$$A_C = 120,1 \text{ Erlangs tế bào}$$

Đối với lưu lượng mang tối đa trên mỗi tế bào. Cho ta:

$$U = \frac{A_C}{A_u} = \frac{120,1}{0,02} = 6005 \text{ người dùng/tế bào}$$

Ta thấy rằng, bằng cách giảm kích cỡ cụm ta đạt được dung lượng cao hơn (do tăng cường tái sử dụng và hiệu quả trung kế). Tuy nhiên, các tế bào đồng kênh trong kích cỡ cụm  $N = 3$  gần nhau hơn so với trường hợp kích cỡ cụm  $N = 7$ . Sử dụng (17.1) ta có:

$$D_3 = 15 \text{ km} \quad \text{với } N = 3$$



$$D_7 = 22,9 \text{ km với } N = 7.$$

Thấy rõ, mức nhiễu sẽ lớn hơn khi kích cỡ cụm  $N = 3$  so với kích cỡ cụm  $N = 7$ . Vì vậy, kích cỡ cụm  $N = 3$  thể hiện chất lượng kết nối thấp hơn.

### Mô hình kênh

Khi phân tích hiệu năng hệ thống tế bào, cần phải mô hình hóa chính xác các ảnh hưởng truyền lan sóng vô tuyến lên tín hiệu thu, chúng là những nhân tố chính làm suy thoái hiệu năng hệ thống. Như được trình bày trong chương 14, việc đặc tính hóa thống kê các tín hiệu thu (tín hiệu mong muốn và nhiễu) liên quan đến hai ảnh hưởng truyền lan sóng cơ bản: (i) phading phạm vi hẹp do đa đường trong một nội vùng; (ii) che chắn (pha đỉnh phạm vi rộng) gây ra bởi các suy hao ngẫu nhiên của tín hiệu trung bình cục bộ như cây cối, công trình xây dựng, địa hình. Các kết quả đo cho thấy, mức tín hiệu trung bình cục bộ có thể được mô hình hóa khá chính xác như một biến ngẫu nhiên loga chuẩn. Khi biểu diễn theo đơn vị dB, mức tín hiệu trung bình cục bộ theo sự biến thiên chuẩn hóa, và được đặc tính hóa bởi một giá trị trung bình vùng và độ lệch chuẩn theo đơn vị dB. Giá trị trung bình vùng là một hàm của: (i) khoảng cách phát thu (T-R); (ii) mức công suất phát; (iii) độ lợi ăng ten, trong khi đó độ lệch chuẩn che chắn phụ thuộc vào môi trường vật lý. Khi thiết kế hệ thống hoặc mô phỏng tổng quát, cần phải xét các ảnh hưởng của pha đỉnh phạm vi hẹp và che chắn, mặc dù trong nhiều trường hợp che chắn tín hiệu mong muốn và nhiễu là nguyên nhân chính gây suy thoái hiệu năng. Chẳng hạn, các kỹ thuật phân tập không gian, trải phổ, đan xen, mã hoá kênh được triển khai rộng rãi để đối phó các ảnh hưởng của pha đỉnh phạm vi hẹp, vì vậy tín hiệu thu chủ yếu phụ thuộc vào sự thay đổi kênh phạm vi rộng. Ở đây, để đơn giản coi rằng, các ảnh hưởng pha đỉnh phạm vi hẹp được lấy trung bình và chỉ có che chắn và tổn hao đường truyền được xem xét. Tuy nhiên, các ảnh hưởng pha đỉnh phạm vi hẹp có thể dễ dàng được kết hợp trong phân tích.

Giả sử các ảnh hưởng pha đỉnh phạm vi hẹp được lấy trung bình, mức công suất trung bình cục bộ của tín hiệu mong muốn hoặc tín hiệu nhiễu ở đây được ký hiệu là  $\rho$ , phải chịu biến thiên chuẩn *lognormal*. Mức công suất trung bình cục bộ được mô hình hóa là:

$$X = 10 \log_{10} \rho = m_X + \chi \quad \text{dBW} \quad (17.8)$$

Trong đó  $m_X$  là mức công suất trung bình vùng dBW (hoặc tổn hao đường truyền sóng phạm vi rộng trung bình dB),  $\chi$  là một biến ngẫu nhiên phân bố Gauss trung bình không dB có độ lệch chuẩn  $\sigma_X$  dB do che chắn gây ra bởi chướng ngại vật lớn. Công suất trung bình vùng  $m_X$  thường được mô hình là hàm của: (i) khoảng cách phát thu (T-R)  $d$ ; (ii) số mũ suy hao đường truyền sóng  $\gamma$ ; (iii) công suất phát  $P_T$  dBW; (iv) độ lợi đại ăng ten phát và thu  $G_R, G_T$  đơn vị dB. Cụ thể:

$$m_X = P_T + G_T(\theta_T, \phi_T) + G_R(\theta_R, \phi_R) - 10K\gamma \log_{10} d \quad \text{dBW} \quad (17.9)$$

Hằng số  $K$  trong (17.9) bao gồm tất cả các số hạng không thay đổi trong mô hình. Các góc  $\theta_T$  và  $\phi_T$  là góc ngẩng và góc phương vị của tín hiệu phát hướng đến máy thu trong khi

đó  $\theta_R$  và  $\phi_R$  là góc ngẩng và góc phương vị của các tín hiệu đến ăng ten thu. Các góc  $\theta_T$ ,  $\phi_T$ ,  $\theta_R$  và  $\phi_R$  phụ thuộc vào các vị trí tương đối của trạm gốc và các ăng ten di động.

*Ví dụ 17.2:* Xét một trạm MS đang thu tín hiệu từ một BS như được minh họa ở hình 17.4(a). Các giả thiết cơ bản: (i) khoảng cách phát thu  $d = 1200\text{ m}$ ; (ii) tuyến truyền thông giữa BS và MS là nhìn thẳng LOS; (iii) các hệ tọa độ được cho trong hình. Xác định các góc phương vị và góc ngẩng tại MS và BS:

### Góc phương vị

Từ hình vẽ ta xác định được góc phương vị của tín hiệu được phát bởi BS (xem hình 17.4(b)) là:

$$\phi_T = \cos\left(\frac{663,3}{1200}\right) = 56,4^\circ$$

Tương tự, góc phương vị của tín hiệu đến tại ăng ten MS là:

$$\phi_R = 236,4^\circ$$

### Góc ngẩng

Coi rằng ăng ten trạm BS cao  $30\text{ m}$  và người dùng giữ điện thoại di động cách mặt đất là  $1,5\text{ m}$  như được cho ở hình 17.4(a). Từ hình vẽ, góc ngẩng của tín hiệu phát bởi BS hướng đến MS là:

$$\theta_T = 180^\circ - \tan\left(\frac{1200}{30-1,5}\right) = 91,6^\circ$$

Tương tự cho góc ngẩng của tín hiệu đến tại ăng ten MS, ta có:

$$\theta_R \approx 88,4^\circ$$

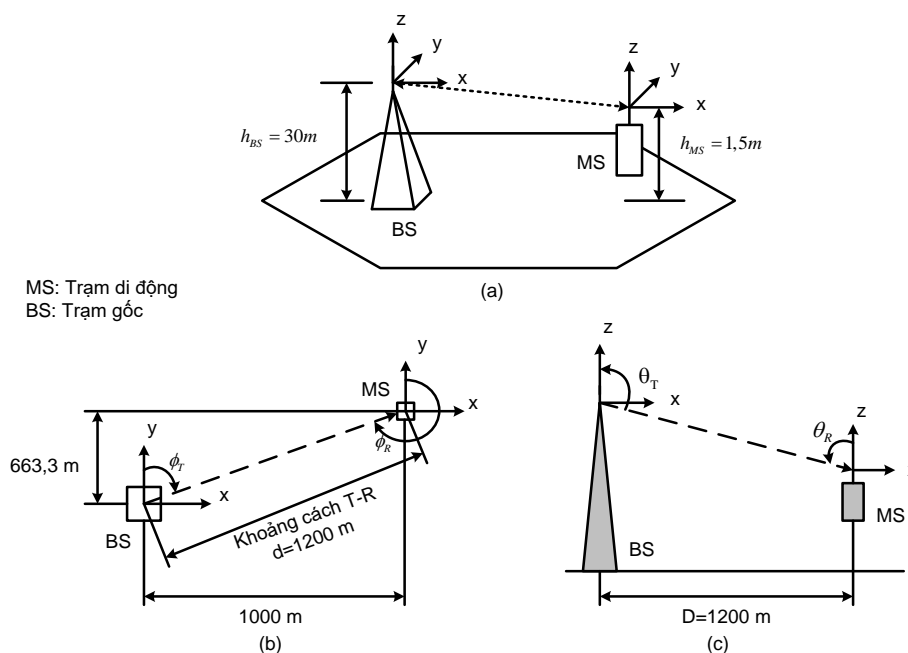
Cho thấy, các góc ngẩng và phương vị phụ thuộc vào các vị trí tương đối của các ăng ten thu phát, cũng như hệ tọa độ được sử dụng. Khi mô phỏng hệ thống tế bào, các hệ tọa độ định rõ các góc và các khoảng cách phải được xác định cẩn thận.

Một kết luận quan trọng nữa từ ví dụ trên là: với các hệ thống tế bào lớn (*macro-cellular*) ở đó bán kính tế bào lớn hơn  $1\text{ km}$ , các khoảng cách phát thu  $d$  lớn hơn nhiều so với hiệu số chiều cao của các ăng ten BS và ăng ten di động thì ta có thể coi rằng:

$$\theta_T \approx \theta_R \approx 90^\circ \quad (17.10)$$

Và bỏ qua  $\theta_T$  và  $\theta_R$  trong (17.9). Ta có :

$$\begin{aligned} G_T(\theta_T, \phi_T) &\Rightarrow G_T(\phi_T) \\ G_R(\theta_R, \phi_R) &\Rightarrow G_R(\phi_R) \end{aligned} \quad (17.11)$$

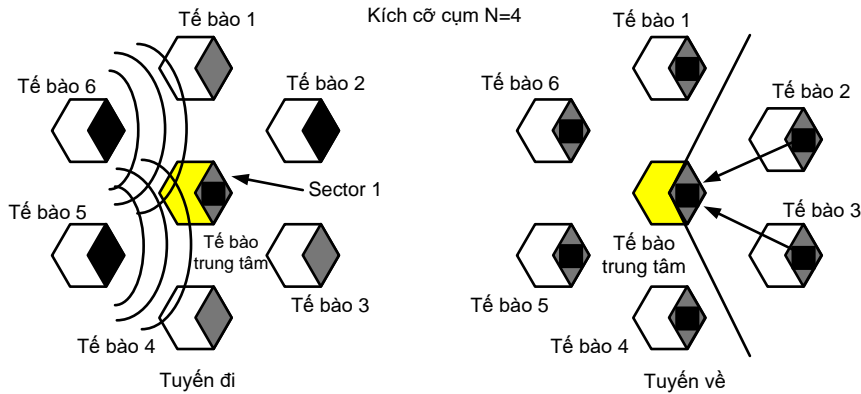


Hình 17.4 : Các góc khởi hành và góc đến

### Phân đoạn tế bào

Để giảm nhiễu đồng kênh, các hệ thống truyền thông tế bào thường sử dụng ăng ten phân đoạn tại trạm gốc. Mỗi ăng ten phân đoạn phát xạ bên trong một sector cụ thể của tế bào, và mỗi sector được cấp phát một tập con các kênh khả dụng. Vì vậy, nhờ tính hướng của các ăng ten BS giảm được nhiễu đồng kênh tổng tại ăng ten thu (tại trạm gốc hoặc di động), được sáng tỏ trong ví dụ dưới đây.

**Ví dụ 17.3:** Xét một hệ thống tế bào với các trạm gốc được trang bị các ăng ten phân đoạn trên cả hai tuyến. Giả sử độ rộng búp sóng  $BW = 120^\circ$  và tỉ số trước-sau của ăng ten phân đoạn là vô cùng sao cho không có công suất được phát xạ bên ngoài độ rộng búp sóng. Cũng coi rằng, dùng kích cỡ cụm  $N = 4$ . Trên tuyến đi (đường xuống), số các trạm gốc gây nhiễu trong tầng thứ nhất giảm từ 06 xuống 02 (các BS tại các tế bào 5 và 6) như được thấy ở hình 17.5 là nhờ tính hướng của các ăng ten trạm BS. Trên tuyến về (đường lên), số MS đồng kênh trong tầng thứ nhất gây nhiễu BS tại tế bào trung tâm cũng giảm từ 06 xuống 02 (MS tại các tế bào 2 và 3). Vì vậy, việc phân đoạn là cách giảm nhiễu đồng kênh hiệu quả. Thấy rõ, mức độ giảm nhiễu đồng kênh phụ thuộc vào độ rộng búp sóng ăng ten phân đoạn và kích cỡ cụm được sử dụng.



Hình 17.5: Các ăng ten phân đoạn trên cả tuyến đi và tuyến về

Các ăng ten phân đoạn được sử dụng trong thực tế có *tỉ số trước sau hữu hạn*. Kết quả là, số lượng tín hiệu nhiễu đồng kênh từ các tế bào đồng kênh trong tầng thứ nhất vẫn là 06, nhưng một số trong chúng rất yếu, do chúng bị suy hao bởi *tỉ số trước sau*. Hơn nữa, các ăng ten phân đoạn thường được thấy trong thực tế có các độ rộng búp là  $120^\circ$  (3 sector), hoặc  $60^\circ$  (6 sector).

### Nhiều đồng kênh tổng

Dựa vào giả thiết, các tín hiệu nhiễu thu riêng biệt chỉ bị ảnh hưởng bởi che chắn và tổn hao truyền sóng, nên nhiễu đồng kênh tổng được mô hình hóa là sự hợp thành của các tín hiệu nhiễu, các mức công suất trung bình cục bộ của nó theo sự biến thiên *lognormal*. Thường giả thiết rằng, dịch pha trong mỗi tín hiệu nhiễu riêng biệt thay đổi đáng kể do tán xạ, vì thế có thể coi rằng các pha là ngẫu nhiên. Do vậy, nhiễu đồng kênh tổng  $I$  tại vị trí cho trước được mô hình hóa là *tổng* các tín hiệu phân bố *lognormal*. Theo đó:

$$I = \sum_{i=1}^k I_i, \quad (17.12)$$

Trong đó  $I_i$  khi biểu diễn theo đơn vị dB, được mô hình hóa như trong (17.8).

Thừa nhận rằng phân bố của tổng các biến ngẫu nhiên *lognormal* được xấp xỉ bởi phân bố *lognormal* khác, và một vài phương pháp đã được đề xuất để tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn theo đơn vị dB. Hai kỹ thuật thông dụng nhất là phương pháp của Wilkinson và phương pháp của Schwartz và Yeh. Một khi biết phân bố tín hiệu nhiễu đồng kênh thành phần  $I_i$ , (nói cách khác các giá trị trung bình  $m_{I_i}$  và độ lệch chuẩn  $\sigma_{I_i}$  của nhiễu  $I_i$ ), ta có thể tính giá trị trung bình  $m_I$  và độ lệch chuẩn  $\sigma_I$  của nhiễu tổng  $I$  bằng phương pháp của Wilkinson hoặc phương pháp của Schwartz và Yeh.

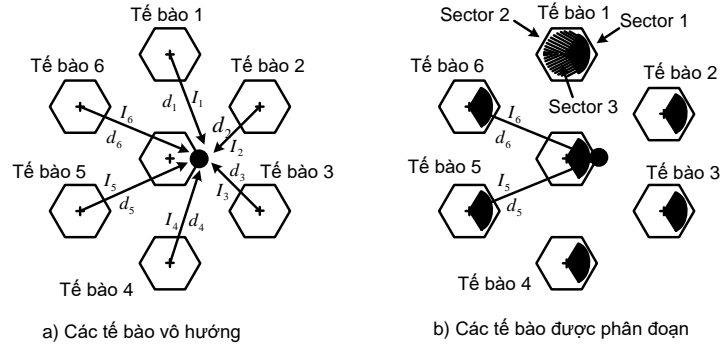
### Ảnh hưởng của phân đoạn

Tại đây, ta đã có được cách tính nhiễu đồng kênh, ta phân tích hơn nữa các ảnh hưởng của phân đoạn lên dung lượng và chất lượng kết nối của hệ thống tế bào. Ta biết rằng, việc phân đoạn tế bào làm giảm nhiễu đồng kênh, nhưng cũng làm giảm hiệu suất trung kế, giảm

lưu lượng tổng được mang bởi ô. Mỗi sector của tế bào sẽ được cấp phát một tập con các kênh thuộc tập kênh được cấp phát cho ô. Theo lý thuyết lưu lượng, khi chia kênh thành tập con kênh, thì tổng lưu lượng tối đa được mang bởi các tập con luôn luôn nhỏ hơn lưu lượng tối đa được mang bởi toàn bộ kênh.

**Ví dụ 17.4:** Xét hệ thống tế bào AMPS (hệ thống điện thoại di động tiên tiến) sử dụng kích cỡ cụm  $N = 4$ . Ngoài ra, coi rằng sẵn có 395 cặp kênh lưu lượng đường lên và đường xuống. Trong ví dụ này ta ước tính lưu lượng tối đa được mang bởi mỗi tế bào và nhiều đồng kênh. Ta xét hai trường hợp sau: (a) ăng ten vô hướng tại BS; (b) ăng ten phân đoạn tại BS. Ta chỉ phân tích tuyến kết nối hướng đi.

a) Trường hợp ăng ten vô hướng, các trạm gốc sẽ phát xạ mọi hướng với cùng cường độ. Chúng sẽ giao thoa nhau và thu nhiều từ tất cả các tế bào đồng kênh. Nếu chỉ xét tầng thứ nhất của các tế bào đồng kênh, thì nhiều đồng kênh tổng tại MS là tổng của tất cả các tín hiệu nhiều đồng kênh như được thấy ở hình 17.6 (a). Từ hình này, ta có thể tính  $SIR$  trung bình vùng tại MS được định vị tại biên giới của ô. Đây là trường hợp tồi nhất và được cho bởi:



Hình 17.6: Hệ thống tế bào dùng các ăng ten trạm gốc phân đoạn và vô hướng

$$SIR_{trung\ bình} = m_s - m_l \quad dB \quad (17.13)$$

Trong đó  $m_s$  là công suất trung bình vùng của tín hiệu mong muốn và  $m_l$  là công suất trung bình vùng của nhiễu tổng (lưu ý rằng cả hai đều được biểu diễn theo dB).

Ta sử dụng (17.9) và (17.12) để tính  $m_s$  và  $m_l$ , để đơn giản ta giả sử rằng ăng ten trạm MS là vô hướng ( $G_R(\theta_R, \phi_R) = 0\text{ dB}$ ),  $K = 1$  và tất cả các BS phát cùng mức công suất  $P_T = 0\text{ dBW}$ . Do đó:

$$m_s = -10 \log_{10} R \quad (17.14)$$

$$m_l = 10 \log_{10} \left( \sum_{i=1}^6 10^{(-10\gamma \log_{10} d_i)/10} \right) \quad (17.15)$$

Trong đó  $R$  là bán kính tế bào,  $\gamma$  là số mũ suy hao đường truyền sóng,  $d_i$ ,  $i = 1, \dots, 6$ , là khoảng cách phát thu. Sử dụng kích cỡ cụm  $N = 4$ , giả sử rằng  $R = 1000$  và  $\gamma = 4$ , ta có thể chỉ ra rằng:

$$d_l = d_4 = 3605,55 \text{ m} \quad (17.16)$$

$$d_2 = d_3 = 2645,75 \text{ m} \quad (17.17)$$

$$d_5 = d_6 = 4358,90 \text{ m} \quad (17.18)$$

Do vậy:

$$m_s = -120,0 \text{ dBW} \quad (17.19)$$

$$m_l = -132,35 \text{ dBW} \quad (17.20)$$

Dẫn đến kết quả:

$$SIR_{\text{trung bình}}^{\text{vô hướng}} = 12,35 \text{ dB} \quad (17.21)$$

Để phân tích lưu lượng, ta lại giả sử rằng  $N = 4$  và người dùng được phân bố đồng đều khắp diện tích tế bào. Mỗi tế bào được cấp phát  $N_C = 395/4 \cong 98$  kênh. Giả sử rằng các cuộc gọi bị nghẽn được xóa và xác suất nghẽn  $P_B = 0,02$  thì lưu lượng tối đa được mang trên mỗi tế bào (theo công thức Erlang B) là:

$$A_C^{\text{vô hướng}} = 86,0 \text{ Erlang/tế bào} \quad (17.22)$$

Nếu một người dùng tạo ra lưu lượng 0,02 Erlang, thì tế bào vô hướng có thể hỗ trợ tới  $86,0/0,02 \cong 4300$  người dùng tại xác suất nghẽn  $P_B = 0,02$ .

b) Tại đây ta giả sử rằng sử dụng phân đoạn  $120^\circ$  (3 sector trên tế bào) như được thấy ở hình 17.6(b). Để phân tích nhiều đồng kênh sử dụng cùng giải pháp ở phần a. Ta giả sử rằng ten lý tưởng có tỉ số trước sau vô hạn sao cho chỉ có các tế bào 5 và 6 gây nhiễu lên tế bào trung tâm. Vì vậy, số lượng tế bào nhiễu đồng kênh trong ví dụ lý tưởng này giảm từ sáu (tất cả các tế bào đồng kênh trong tầng thứ nhất) xuống chỉ còn 2, và:

$$m_l = 10 \log_{10} \left( 10^{(-10 \gamma \log_{10} d_s)/10} + 10^{(-10 \gamma \log_{10} d_6)/10} \right) = -142,57 \text{ dBW} \quad (17.23)$$

$$m_s = -120,0 \text{ dBW} \quad (17.24)$$

Cuối cùng:

$$SIR_{\text{trung bình}}^{\text{phân đoạn}} = 22,6 \text{ dB} \quad (17.25)$$

Để phân tích lưu lượng dung lượng, thừa nhận rằng mỗi sector được cấp phát  $N_S = 395/(4 \times 3) \cong 33$  kênh. Lưu lượng tối đa được mang bởi mỗi sector (giả sử xác suất nghẽn  $P_B = 0,02$ ) được cho bởi:

$$A_S^{\text{phân đoạn}} = 23,7 \text{ Erlang/Sector} \quad (17.26)$$

Đối với tế bào 3 sector, con số này được nhân với 3. Do vậy:

$$A_C^{\text{phân đoạn}} = 23,7 \times 3 = 71,1 \text{ Erlang/tế bào} \quad (17.27)$$

Lại giả sử rằng mỗi người dùng tạo ra lưu lượng 0,02 Erlang, thì tế bào được phân đoạn thành 3 sector có thể hỗ trợ tới  $71,1/0,02 \cong 3550$  người dùng tại xác suất nghẽn  $P_B = 0,02$ .

Từ các kết quả này cho thấy, bằng cách phân đoạn tế bào, ta cải thiện được chất lượng kết nối xấp xỉ 10 dB ( $\Delta SIR = 22,56 - 12,35 = 10,21$  dB) so với trường hợp vô hướng. Tuy nhiên, việc cải thiện chất lượng kết nối đạt được tại mức độ chi phí hiệu suất trung kế, vì vậy

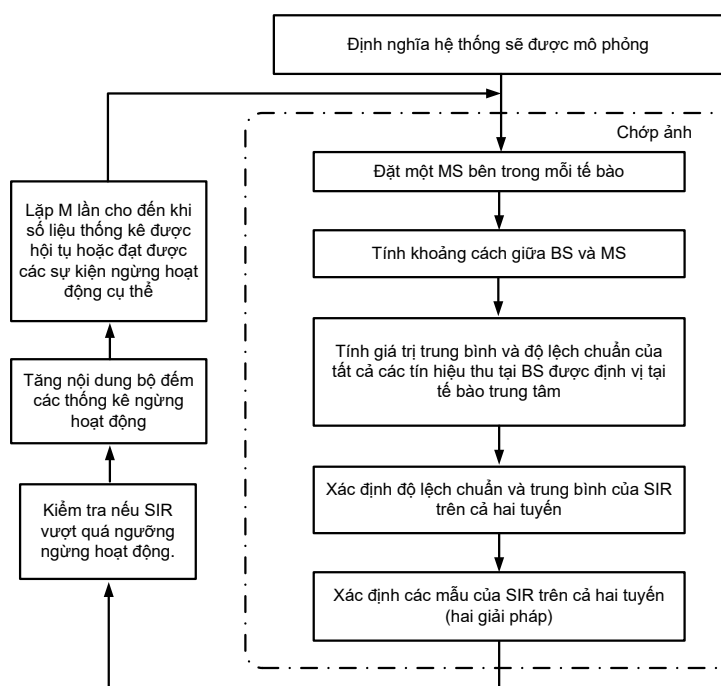
lưu lượng tổng được mang trên mỗi tế bào giảm từ 86,0 Erlang/tế bào với ăng ten vô hướng xuống 71,1 Erlang/tế bào với phân đoạn. Sau khi phân đoạn có thể giảm  $N$  nếu muốn.

Trong ví dụ trên, ta tính  $SIR$  cho trường hợp tồi nhất vì giả thiết MS được định vị tại biên giới ô. Rõ ràng rằng tại các vị trí gần trạm gốc phục vụ,  $SIR$  sẽ lớn hơn. Hạn chế khác ở ví dụ trên là bỏ qua các ảnh hưởng của che chắn. Khi xét đến phân bố không gian của các MS và ảnh hưởng của che chắn, thì  $SIR$  trở thành biến ngẫu nhiên. Hiệu năng hệ thống tế bào phải được đánh giá bằng xác suất ngừng hoạt động, được định nghĩa trong (17.2) là xác suất mà  $SIR$  thấp hơn mức tối thiểu có thể chấp nhận được  $SIR_0$ .

Tiếp theo sẽ trình bày phương pháp luận để mô phỏng hệ thống tế bào đơn giản, xét đến *phân bố không gian* của người dùng và *ảnh hưởng che chắn* lên tín hiệu thu. Các kết quả mô phỏng là  $SIR$ , cho ta ước tính hiệu năng hệ thống. Mặc dù tính đơn giản của mô phỏng nhưng phương pháp luận có thể được xem là cốt lõi cho các mô phỏng phức tạp hơn, như được mô tả bởi Cardieri và Rappaport.

### 17.3. Phương pháp luận mô phỏng

Quy trình mô phỏng bao gồm việc mô hình hóa *chớp ảnh* vị trí MS. Tại mỗi chớp ảnh, ta tính toán các số liệu thống kê (trung bình và phương sai) của  $SIR$  tại BS (*tuyến về*) và tại MS (*tuyến đi*), ta cũng xét vị trí người dùng và các điều kiện truyền sóng. Mô phỏng một vài chớp ảnh để tạo ra tập mẫu đủ lớn sao cho đạt được các kết quả thống kê hợp lý. Tiến trình mô phỏng được cho ở hình 17.7. Dưới đây ta mô tả một số khía cạnh mô phỏng.



Hình 17.7: Tiến trình ước tính  $SIR$  và trạng thái ngừng hoạt động trong hệ thống tế bào sử dụng mô phỏng Monte Carlo

#### 17.3.1. Mô phỏng

Ta chỉ xét tầng thứ nhất của các tế bào đồng kênh. Số sector trong mỗi tế bào là một tham số mô phỏng được chọn là: (i) một, tức là ăng ten vô hướng; (ii) ba, tức là phân đoạn  $120^\circ$ ; (iii) sáu, tức là phân đoạn  $60^\circ$ . Ta coi rằng, độ lợi đại ăng ten phân đoạn là không đổi bên trong sector và bằng 0 dB, như được thấy ở hình 17.8. Các ăng ten phân đoạn có tỉ số trước-sau bằng B dB, là một tham số mô phỏng.

**Khi** phân đoạn  $120^\circ$ , thì các mẫu phát xạ của các ăng ten phân đoạn cho sector 1 được mô hình hóa là:

$$G_T^{(l)}(\phi) = G_R^{(l)}(\phi) = \begin{cases} 0 \text{ dB}, & -\pi/3 < \phi \leq \pi/3 \\ B \text{ dB}, & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (17.28)$$

Mẫu phát xạ cho sector 2 và 3 tìm được bằng cách lần lượt quay  $G_T^{(1)}(\phi)$  và  $G_R^{(1)}(\phi)$  đi  $120^\circ$  và  $240^\circ$  tương ứng.

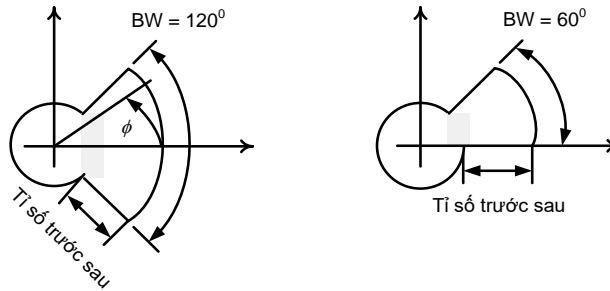
Khi phân đoạn  $60^\circ$ , ta có:

$$G_T^{(l)}(\phi) = G_R^{(l)}(\phi) = \begin{cases} 0 \text{ dB}, & 0 < \phi \leq \pi/3 \\ B \text{ dB}, & \text{nếu khác} \end{cases} \quad (17.29)$$

Mẫu phát xạ cho các sector 2 đến 6 đạt được bằng cách quay  $G_T^{(1)}(\phi)$  và  $G_R^{(1)}(\phi)$  đi  $60^\circ$ . Giả sử cả hai ăng ten trạm gốc đường lên và đường xuống là đồng nhất. Các ăng ten di động được coi là ăng ten vô hướng cho cả đường lên và đường xuống.

Mô hình kênh gồm suy hao đường truyền sóng và che chắn lognormal. Số mũ suy hao truyền sóng và độ lệch chuẩn của che chắn lognormal là các tham số mô phỏng. Mô phỏng bao gồm hai bước cơ bản sau đây:

- Định nghĩa hệ thống đích sẽ được mô phỏng
- Tạo các chớp ảnh của các vị trí di động và tính toán SIR



Hình 17.8: Mô hình đối với ăng ten phân tế bào khi phân đoạn  $120^\circ$  và  $60^\circ$

#### a) Định nghĩa hệ thống đích sẽ được mô phỏng

Tại đây ta định nghĩa các đặc tính truyền sóng (các tham số kênh) và vị trí các tế bào đồng kênh.

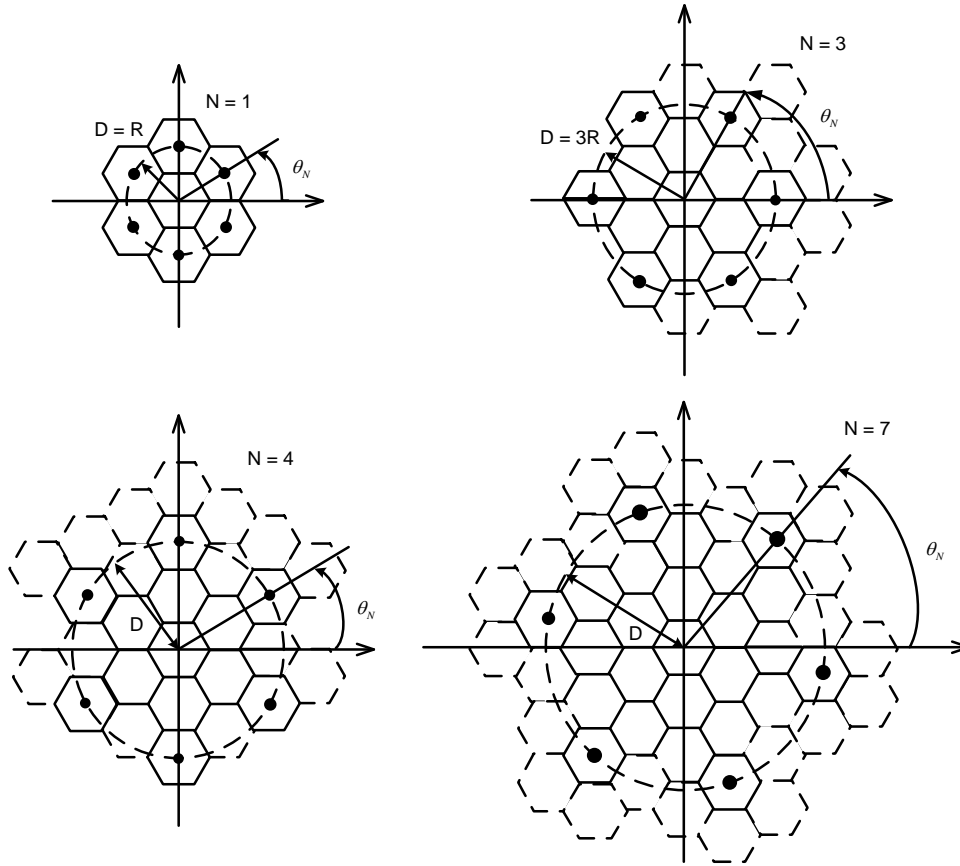
**Các đặc tính truyền sóng (các tham số kênh)** gồm:

- Bán kính tế bào,  $R$
- Mũ tổn hao truyền sóng ( $\gamma$ )
- Độ lệch chuẩn che chắn lognormal ( $\sigma$ ) đơn vị dB
- Mức công suất phát trạm gốc ( $P_{T,BS}$ )
- Mức công suất phát MS ( $P_{T,MS}$ )
- Số sector trong mỗi ô



- Tỷ số trước-sau của các ăng ten phân đoạn
- Số chóp ảnh sẽ được mô phỏng ( $M$ )

Chương trình mô phỏng trên Matlab cho phần này được cho bởi file **NVD17\_Intialization.m** ở Phụ lục 17A. Chương trình mô phỏng hoàn chỉnh được cho ở file **NVD17\_Cellsim.m** trong Phụ lục 17A.



Hình 17.9: Vị trí của các tế bào đồng kênh hoặc  $N = 1$ ,  $N = 3$ ,  $N = 4$ , và  $N = 7$

**Vị trí các tế bào đồng kênh:** Để tiện, ta sẽ chọn hệ tọa độ cực và vuông góc để biểu diễn các vị trí của các trạm gốc và di động trong mô phỏng. Các trạm gốc sẽ được định vị tại tâm của các ô. Trạm gốc tại tế bào trung tâm, ở đó thực hiện đo nhiễu đồng kênh, và tương ứng với tâm các hệ trục tọa độ. Vị trí các tế bào đồng kênh phụ thuộc vào kích cỡ cụm  $N$  và bán kính tế bào  $R$ . Với tầng thứ nhất, tất cả các tế bào đồng kênh được định vị trên đường tròn bán kính  $D = \sqrt{3NR}$ , được trung tâm tại tế bào trung tâm, và đồng khoảng cách tới mỗi tế bào như được thấy ở hình 17.9. Góc  $\theta_N$  (xem bảng 17.1) xác định vị trí góc của tế bào đồng kênh thứ nhất. Bằng phương pháp hình học đơn giản, ta có thể thấy rằng, với kích cỡ cụm  $N$ , vị trí tế bào đồng kênh thứ  $i$  là (sử dụng ký hiệu véc tơ):

$$x_{BS_i}\hat{x} + y_{BS_i}\hat{y} = \sqrt{3NR}\left\{\cos\left[\theta_N + (i-1)\frac{\pi}{6}\right]\hat{x} + \sin\left[\theta_N + (i-1)\frac{\pi}{6}\right]\hat{y}\right\} \quad (17.30)$$

Trong đó  $\hat{x}$  và  $\hat{y}$  là các véc tơ đơn vị theo phương trục  $x$  và  $y$ , tương ứng. Minh họa thực hiện phần mô phỏng bằng đoạn chương trình Matlab sau:

```
% Vị trí của BS (ô trung tâm được định vị tại x=0,y=0)
% Vị trí(góc)tâm của mỗi cụm trong tầng thứ nhất
theta_N = [pi/6 0 pi/6 asin(1/(2*sqrt(7)))];
% khoảng cách góc giữa các ô trung tâm của 6 cụm trong tầng thứ nhất
theta = pi/3*[0:5]';
aux_1 = [1 0 2 3 0 0 4];
ind = aux_1(cluster_size);
% vị trí [x y] của các ô trung tâm của tất cả các cụm trong tầng thứ nhất
bs_position = [sqrt(3*cluster_size)*r_cell*cos(theta + ...
    theta_N(ind)) sqrt(3*cluster_size)*r_cell*sin(theta+theta_N(ind))];
```

Bảng 17.1: Quan hệ giữa  $N$ ,  $R$ , và  $\theta_N$  trong hình 17.9

Kích cỡ cụm $N$	$D$	$\theta_N$
1	$R$	$\frac{\pi}{6}$
3	$3R$	0
4	$2\sqrt{3} R$	$\frac{\pi}{6}$
7	$\sqrt{21} R$	$\text{Arctan}(2/\sqrt{3})$

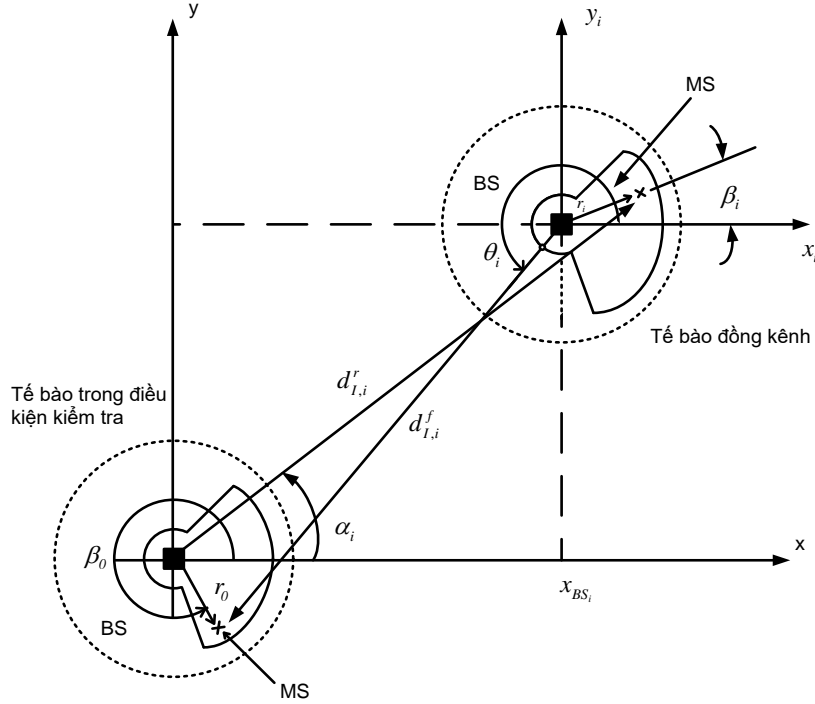
Lưu ý rằng trong đoạn chương trình Matlab trên thì **bs\_position(i,1)** và **bs\_position(i, 2)** tương ứng với các thành phần trong các phương  $\hat{x}$  và  $\hat{y}$  của véc tơ biểu diễn vị trí của trạm gốc thứ  $i$ .

#### b) Tạo các chớp ảnh của các vị trí MS và tính SIR

Phần mô phỏng này sẽ thực hiện ước lượng Monte Carlo. Tạo các chớp ảnh của các vị trí của các MS chia sẻ cùng kênh, và mỗi chớp ảnh tính toán  $SIR$ . Phần mô phỏng này được thực hiện  $M$  lần.

**Bước 1:** Đặt một MS trong mỗi tế bào. Các MS được giả sử được phân bố đều trên khắp diện tích tế bào. Các sector của một tế bào được cấp phát các tập kênh khác nhau. Do vậy, chỉ xảy ra nhiễu đồng kênh đối với các sector được cấp phát cùng một tập kênh. Trong mô phỏng, coi rằng các MS ở tế bào trung tâm và ở các tế bào đồng kênh được định vị trong cùng một sector trong các tế bào của chúng. Sử dụng hệ tọa độ cực, vị trí MS thứ  $i$  bên trong tế bào của nó được mô tả bởi: (i) khoảng cách  $r_i$  giữa MS và BS phục vụ; (ii) góc  $\beta_i$  giữa tham chiếu và phương truyền lan (xem hình 17.10). Lưu ý rằng,  $\beta_i$  và  $r_i$  được xác định theo hệ tọa độ được

trung tâm tại BS của tế bào thứ  $i$ . Vì phân bố của vị trí MS là đồng đều trên diện tích ô, nên  $\beta_i$  được phân bố đều trong khoảng  $[0, 2\pi]$  và khoảng cách  $r$  phân bố theo pdf.



Hình 7.10: Biểu diễn vị trí máy di động

$$f_{R_i}(r_i) = \frac{2r_i}{R^2} \quad 0 \leq r_i \leq R \quad (17.31)$$

Lưu ý rằng, để đơn giản trong mô phỏng, ta coi tế bào là hình tròn.

Sector được sử dụng trong một chớp ảnh cụ thể được chọn ngẫu nhiên, với xác suất chọn sector bất kỳ là như nhau:

$$\text{Phân đoạn } 120^\circ \Rightarrow \Pr\{\text{sector } i \text{ được chọn}\} = 1/3, \quad i=1, 2, 3$$

$$\text{Phân đoạn } 60^\circ \Rightarrow \Pr\{\text{sector } i \text{ được chọn}\} = 1/6, \quad i=1, 2, \dots, 6$$

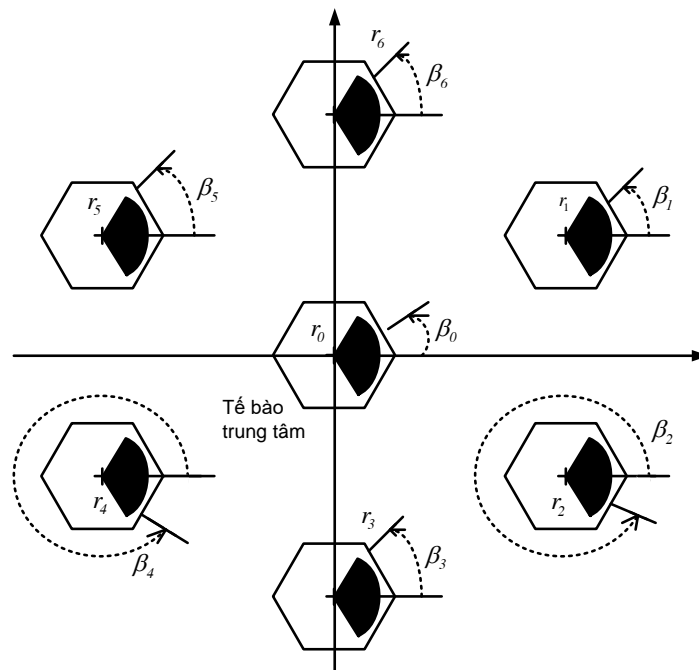
Một khi sector đã được chọn, ta xác định được các góc  $\beta_i$ , cần lưu ý rằng  $\beta_i$  được phân bố đồng đều trong sector đã chọn:

$$\text{Phân đoạn } 120^\circ \Rightarrow (2s-3)\frac{\pi}{3} < \beta_i \leq (2s-1)\frac{\pi}{3}$$

$$\text{Phân đoạn } 60^\circ \Rightarrow (s-1)\frac{\pi}{3} < \beta_i \leq s\frac{\pi}{3}$$

Trong đó  $s$  là sector đã được chọn ( $s = \{1, 2, 3\}$  cho phân đoạn  $120^\circ$ , và  $s = \{1, \dots, 6\}$  cho phân đoạn  $60^\circ$ ). Hình 17.11 minh họa về một chớp ảnh cho phân đoạn  $120^\circ$ , trong đó các MS được định vị tại sector 1. Thực hiện mô phỏng này bằng đoạn chương trình sau:

```
% Xác định sector được mô phỏng trong chớp ảnh này
% --- chọn (ngẫu nhiên) một sector-----
sector          = unidrnd(num_sectors(sec));
%--- đặt MS mong muốn trong sector đã chọn-----
des_user_beta = rand(1)*phi_BW(sec) + phi_center(sector,sec);
des_user_r    = sqrt(rand(1).*(r_cell^2));
% --- đặt MS đồng kênh trong sector đã chọn của ô đồng kênh---
co_ch_user_beta = rand(6,1)*phi_BW(sec) + phi_center(sector,sec);
co_ch_user_r    = sqrt(rand(6,1))*(r_cell);
```



Hình 7.11: Chớp ảnh đối với phân đoạn  $120^\circ$  khi máy di động trong sector 1

Vị trí  $(x,y)$  của các MS đồng kênh và mong muốn được tính toán theo:

```
des_user_position      = des_user_r*[cos(des_user_beta) sin(des_user_beta)];
co_ch_user_position    = [co_ch_user_r.*cos(co_ch_user_beta)
co_ch_user_r.*sin(co_ch_user_beta)]...
+ bs_position;
```

Bước tiếp theo là xác định các khoảng cách giữa các MS đồng kênh đến BS tại tế bào trung tâm (được dùng để tính toán các giá trị trung bình của các tín hiệu nhiễu trên tuyến về) và các khoảng giữa MS tại tế bào trung tâm và các BS đồng kênh (được dùng để xác định giá trị trung bình tín hiệu nhiễu trên tuyến đi).

**Bước 2:** Xác định khoảng cách giữa MS và BS. Để tính toán nhiễu đồng kênh tại BS và MS ở tế bào trung tâm, cần phải xác định

• *Vị trí của các MS đồng kênh theo BS tại tế bào trung tâm*: Sử dụng ký hiệu véc tơ, vị trí của MS thứ  $i$  theo BS tại tế bào trung tâm là (xem hình 17.10):

$$d_{i,i}^r (\cos \alpha_i \hat{x} + \sin \alpha_i \hat{y}) = r_i (\cos \beta_i \hat{x} + \sin \beta_i \hat{y}) + (x_{BS_i} \hat{x} + y_{BS_i} \hat{y}) \quad (17.32)$$

$d_{i,i}^r$  là khoảng cách giữa BS tại tế bào trung tâm và MS thứ  $i$ ,  $\alpha_i$  là góc tới của tín hiệu từ MS thứ  $i$  đập vào ăng ten BS. Vì vậy,  $d_{i,i}^r$  &  $\alpha_i$  là độ dài và hướng của véc tơ được cho bởi về phải phương trình (17.32).

• *Vị trí của MS tại tế bào trung tâm theo BS đồng kênh thứ  $i$* : (xem hình 17.10):

$$d_{i,i}^f (\cos \theta_i \hat{x} + \sin \theta_i \hat{y}) = r_0 (\cos \beta_0 \hat{x} + \sin \beta_0 \hat{y}) - (x_{BS_i} \hat{x} + y_{BS_i} \hat{y}) \quad (17.33)$$

$d_{i,i}^f$  là khoảng cách giữa BS thứ  $i$  và MS tại tế bào trung tâm, và  $\theta_i$  là góc xuất phát của tín hiệu phát bởi BS thứ  $i$  hướng đến MS tại tế bào trung tâm.

**Bước 3:** Xác định con số thống kê SIR trên cả hai tuyến. Trong bước này, trình bày 3 giải pháp để tính toán SIR. Chúng đều xét đến tính thay đổi theo *lognormal* của tín hiệu thu. Theo đó, cần có giá trị trung bình của các tín hiệu nhiễu và tín hiệu mong muốn.

• **Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn tính theo dB của mỗi tín hiệu**

1. *Các tín hiệu mong muốn*: Sử dụng (17.9), các giá trị trung bình tính theo đơn vị dB của các tín hiệu mong muốn trên tuyến đi và tuyến về lần lượt là

$$m_S^f = P_{T,BS} - 10\gamma \log_{10} r_0 \quad \text{dBW} \quad (17.34)$$

$$m_S^r = P_{T,MS} - 10\gamma \log_{10} r_0 \quad \text{dBW} \quad (17.35)$$

*Lưu ý rằng*, các độ lợi đại ăng ten BS trên cả 2 tuyến trong các biểu thức này được đặt là 0 dB, vì MS được định vị trong sector của BS. Ngoài ra, độ lợi ăng ten của MS trên cả 2 tuyến cũng đặt là 0 dB vì dùng các ăng ten đẳng hướng. Độ lệch chuẩn của các tín hiệu mong muốn bằng độ lệch chuẩn che chắn. Vì vậy:

$$\sigma_S^f = \sigma_S^r = \sigma$$

2. *Các tín hiệu nhiễu*: Việc xác định giá trị trung bình của tín hiệu nhiễu tổng trên cả 2 tuyến cần thiết hơn. Như đã được đề cập, nhiễu đồng kênh tổng trên cả 2 tuyến được mô hình hóa là tổng các tín hiệu nhiễu đồng kênh thành phần. Tức là:

$$I^f = \sum_i I_i^f \quad (17.36)$$

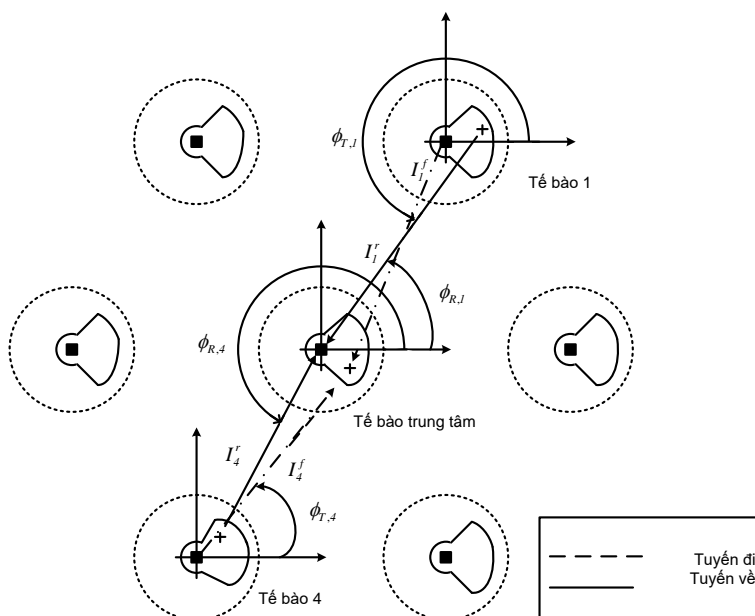
$$I^r = \sum_i I_i^r \quad (17.37)$$

Lần lượt cho tuyến đi và tuyến về. Hình 17.12 cho thấy một chớp ảnh đối với phân đoạn 120°. Mô phỏng 6 tế bào đồng kênh nhưng, chỉ vẽ các tín hiệu từ các tế bào đồng kênh 1 và 4. Vì trong mô hình này xét các ảnh hưởng của che chắn và suy hao đường truyền nên các tín hiệu nhiễu tổng  $I^f$  và  $I^r$  là tổng của các tín hiệu phân bố theo hàm loga  $I_i^f$  và  $I_i^r$ . Như đã đề cập  $I^f$  và  $I^r$  đều có phân bố *lognormal*. Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn tính theo dB của  $I^f$  và  $I^r$  là

các hàm của các giá trị trung bình và các độ lệch chuẩn của các tín hiệu nhiễu và được tính bằng các phương pháp Wilkinsson hay Schwartz và Yeh (được cho ở phụ lục 17C). Các giá trị trung bình tính theo dBW của  $I_i^f$  và  $I_i^r$  theo công thức (17.9), theo đó ta có:

$$m_{I,i}^f = P_{T,BS} + G_{T,i}(\phi_{T,i}) - 10\gamma \log_{10} d_{I,i}^f \quad \text{dBW} \quad (17.38)$$

$$m_{I,i}^r = P_{T,MS} + G_{R,0}(\phi_{R,i}) - 10\gamma \log_{10} d_{I,i}^r \quad \text{dBW} \quad (17.39)$$



Hình 17.12: Minh họa chụp ảnh cho phân đoạn 120°

Độ lợi ăng ten  $G_{T,i}(\phi_{T,i})$  và  $G_{R,0}(\phi_{R,i})$  phụ thuộc vào vị trí tương đối của MS và được mô tả theo (17.28) và (17.29). Lưu ý rằng, ta giả sử dùng ăng ten đẳng hướng trên cả 2 tuyến. Độ lệch chuẩn của tín hiệu nhiễu bằng với độ lệch chuẩn che chắn  $\sigma$ :

$$\sigma_{I,i}^f = \sigma_{I,i}^r = \sigma, \quad \text{tất cả các tế bào} \quad (17.40)$$

Một khi xác định được giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của tín hiệu nhiễu đồng kênh, thì dùng phương pháp Wilkinsson hoặc Schwartz và Yeh để tính giá trị trung bình  $m_I^f$  và  $m_I^r$ , và độ lệch chuẩn  $\sigma_I^f$  và  $\sigma_I^r$  theo dB của nhiễu đồng kênh tổng trên cả 2 tuyến.

Tính các mô men của các tín hiệu trên *tuyến đi* bằng đoạn mã Matlab sau:

```
% --- NGƯỜI DÙNG MONG MUỐN -----
m_S_fwd = P_BS - 10*K*n_path*log10(des_user_r);
% ----- Các NGƯỜI DÙNG ĐỒNG KÊNH ----
% ----- Vị trí của MS mong muốn theo các ô đồng kênh---
aux_01 = ((des_user_position(1)-bs_position(:,1)+ sqrt(-
1)*des_user_position(2)-bs_position(:,2)));
beta_fwd = angle(aux_01);
```

```
d_I_fwd = abs(aux_01);

% --- Tính độ lợi annten tại các ô đồng kênh
clear gain_fwd;
for k = 1:n_co_ch_users
    if (beta_fwd(k) >= sector_min(sector, sec)) & (beta_fwd(k) <
sector_max(sector, sec))
        gain_fwd(k) = in_beam;
    else
        gain_fwd(k) = out_beam;
    end
end
% ----- Tính các giá trị trung bình và độ lệch chuẩn---
m_I_fwd = P_BS - 10*K*n_path*log10(d_I_fwd) + gain_fwd.';
sigma_I_fwd = sigma_int*ones(length(m_I_fwd), 1);
[m_I_total_fwd, sigma_I_total_fwd] =
wilkinson(m_I_fwd, sigma_I_fwd, corr_fwd);
```

Tương tự, tính các mô men của các tín hiệu trên *tuyến về* bằng đoạn mã Matlab sau:

```
% --- NGƯỜI DÙNG MONG MUỐN ----
m_S_rev = P_MS - 10*K*n_path*log10(des_user_r);
% ----- CÁC NGƯỜI DÙNG ĐỒNG KÊNH ---
% ----- Vị trí của các người dùng đồng kênh ----
aux_02 = (co_ch_user_position(:,1) + sqrt(-1)*co_ch_user_position(:,2));
beta_rev = angle(aux_02);
d_I_rev = abs(aux_02);
% ----- Tính độ lợi ăng ten tại ô trung tâm ---
clear gain_rev;
for k = 1:n_co_ch_users
    if (beta_rev(k) >= sector_min(sector, sec)) & (beta_rev(k) <
sector_max(sector, sec))
        gain_rev(k) = in_beam;
    else
        gain_rev(k) = out_beam;
    end
end
% ----- Tính các giá trị trung bình và độ lệch chuẩn ---
m_I_rev = P_MS - 10*K*n_path*log10(d_I_rev) + gain_rev.';
sigma_I_rev = sigma_int*ones(length(m_I_rev), 1);
[m_I_total_rev, sigma_I_total_rev] =
wilkinson(m_I_rev, sigma_I_rev, corr_rev);
```

Lưu ý rằng, trong ví dụ này ta dùng phương pháp Wilkinson để tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của nhiễu tổng. Mã Matlab cho phương pháp Wilkinson được cho bởi file **NVD17\_Wilkinson.m** có trong Phụ lục 17A.

• **Các bước tính toán giá trị thống kê của SIR**

**Bước 1:** Tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của SIR:

Trong giải pháp này ta tính các giá trị trung bình  $m_{SIR}^f$  và  $m_{SIR}^r$  và các độ lệch chuẩn  $\sigma_{SIR}^f$  và  $\sigma_{SIR}^r$  của SIR theo dB trên cả 2 tuyến đi và về. Các mô men này sẽ được dùng để tính xác suất tin cậy và ngừng hoạt động. Vì tín hiệu mong muốn và tín hiệu nhiễu đồng kênh tổng là các biến ngẫu nhiên chuẩn Gausơ theo dB, nên SIR theo dB cũng là một biến ngẫu nhiên chuẩn Gausơ.  $SIR^f$  trên hướng đi được cho bởi:

$$SIR^f = S_{dB}^f - I_{dB}^f \quad (17.41)$$

Với giá trị trung bình và độ lệch chuẩn đơn vị dB được cho bởi:

$$m_{SIR}^f = m_S^f - m_I^f \quad (17.42)$$

$$\sigma_{SIR}^f = \sqrt{(\sigma_S^f)^2 + (\sigma_I^f)^2} \quad (17.43)$$

Các phương trình (17.41),(17.42),(17.43) cũng được dùng cho tuyến về. Các kết quả của bước này là  $m_{SIR}^f$ ,  $m_{SIR}^r$ ,  $\sigma_{SIR}^f$  và  $\sigma_{SIR}^r$ . Mã chương trình Matlab để mô phỏng phần này như sau:

```
m_SIR_fwd(1) = m_S_fwd - m_I_total_fwd;
sigma_SIR_fwd(1) = sqrt(sigma_S^2 + sigma_I_total_fwd^2 -
2*corr_fwd*sigma_S*sigma_I_total_fwd);
m_SIR_rev(1) = m_S_rev - m_I_total_rev;
sigma_SIR_rev(1) = sqrt(sigma_S^2 + sigma_I_total_rev^2 -
2*corr_rev*sigma_S*sigma_I_total_rev);
```

Lưu ý rằng, tại điểm này trong mô phỏng ta bắt đầu tập hợp các kết quả mô phỏng. Trong bước 1 ta lưu trữ các giá trị trung bình và các độ lệch chuẩn trong các mảng được kiểm soát bởi chỉ số  $i$ .

**Bước 2**

**Phương pháp A:** Lấy mẫu SIR dùng trung bình và độ lệch chuẩn của SIR:

Vì đã biết các trung bình  $m_{SIR}^f$  và  $m_{SIR}^r$  và các độ lệch chuẩn  $\sigma_{SIR}^f$  và  $\sigma_{SIR}^r$  của SIR trên cả 2 tuyến từ bước 1, nên có thể lấy mẫu các quá trình ngẫu nhiên chuẩn Gausơ  $SIR^f$  và  $SIR^r$ . Do đó mỗi chớp ảnh sẽ được liên kết với các mẫu của SIR trên mỗi hướng (ký hiệu là  $SIR_{2A}^f$  và  $SIR_{2A}^r$ ). Các mẫu này là kết quả lấy mẫu của một quá trình ngẫu nhiên chuẩn Gausơ có trung bình  $m_{SIR}$  và độ lệch chuẩn  $\sigma_{SIR}$ . Kết quả của bước 2-phương pháp A là các giá trị cho  $SIR_{2A}^f$  và  $SIR_{2A}^r$  như được xác định bởi mã chương trình Matlab dưới đây. Để được tường minh về quá trình tạo các biến ngẫu nhiên phân bố chuẩn Gausơ này, ta nên nghiên phần help của nó có trong Matlab.

```
% Tạo các biến ngẫu nhiên  $SIR_{2A}^f$  và  $SIR_{2A}^r$  phân bố chuẩn Gausơ có các giá
```



```
% trị trung bình và độ lệch chuẩn
SIR_fwd_2(1) = normrnd(m_SIR_fwd(1), sigma_SIR_fwd(1));
SIR_rev_2(1) = normrnd(m_SIR_rev(1), sigma_SIR_rev(1));
```

**Phương pháp B:** Lấy mẫu SIR dùng trung bình và độ lệch chuẩn của các tín hiệu nhiễu riêng lẻ và tín hiệu mong muốn:

Tại điểm này, ta đã coi rằng nhiễu đồng kênh tổng được mô hình hóa là tổng các tín hiệu nhiễu đồng kênh riêng lẻ được phân bố lognormal hoặc phân bố chuẩn Gauss được biểu diễn theo dB. Trong bước 2, phương pháp B, ta không thực hiện bất kỳ giả định nào đối với phân bố của nhiễu tổng. Mẫu của mỗi tín hiệu thu tại MS (hướng đi) hoặc tại BS (hướng về) ở tế bào trung tâm được xác định, giả sử các tín hiệu tính theo dB được phân bố chuẩn Gauss có các mô men  $S^f$ ,  $S^r$ ,  $I_i^f$  và  $I_i^r$ . Theo đó, các tín hiệu nhiễu tổng trên mỗi tuyến được tính như sau:

$$I^f = 10 \log_{10} \left( \sum_{i=1}^6 10^{\frac{I_i^f}{10}} \right) \quad (17.44)$$

$$I^r = 10 \log_{10} \left( \sum_{i=1}^6 10^{\frac{I_i^r}{10}} \right) \quad (17.45)$$

Các mẫu của SIR trên cả 2 tuyến (ký hiệu là  $SIR_{2B}^f$  và  $SIR_{2B}^r$ ) được tính bởi:

$$SIR_{2B}^f = S^f - I^f \quad (17.46)$$

$$SIR_{2B}^r = S^r - I^r \quad (17.47)$$

Mã chương trình Matlab như sau:

```
des_sig_spl_fwd = normrnd(m_S_fwd, sigma_S);
int_sig_spl_fwd = normrnd(m_I_fwd, sigma_I_fwd);
tot_int_sig_spl_fwd = 10*log10(sum(10.^(int_sig_spl_fwd/10)));
SIR_spl_fwd_2B(1) = des_sig_spl_fwd - tot_int_sig_spl_fwd;
des_sig_spl_rev = normrnd(m_S_rev, sigma_S);
int_sig_spl_rev = normrnd(m_I_rev, sigma_I_rev);
tot_int_sig_spl_rev = 10*log10(sum(10.^(int_sig_spl_rev/10)));
SIR_spl_rev_2B(1) = des_sig_spl_rev - tot_int_sig_spl_rev;
```

Tại đây, ta đã hoàn thành việc xử lý một chớp ảnh. Cần phải thực hiện  $M-1$  chớp ảnh còn lại để hoàn tất toàn bộ mô phỏng để tạo ra tập hợp có độ dài  $M$  của

*Từ bước 1:* Các giá trị trung bình  $m_{SIR}^f$  và  $m_{SIR}^r$  và các độ lệch chuẩn  $\sigma_{SIR}^f$  và  $\sigma_{SIR}^r$  của SIR trên mỗi tuyến

*Từ bước 2, phương pháp A:* Các mẫu của SIR trên cả 2 tuyến,  $SIR_{2A}^f$  và  $SIR_{2A}^r$

*Từ bước 2, phương pháp B:* Các mẫu của SIR trên cả 2 tuyến,  $SIR_{2B}^f$  và  $SIR_{2B}^r$

### 17.3.2. Xử lý các kết quả mô phỏng

Bằng cách xử lý các kết quả mô phỏng, ta có thể ước tính hiệu năng toàn hệ thống tế bào ở dạng xác suất ngừng hoạt động và các bộ chỉ thị hiệu năng khác. Trong phần này sẽ trình bày một số kết quả mô phỏng để so sánh hiệu năng hệ thống tế bào hoạt động theo 6 cấu hình khác dưới đây:

- Kích cỡ cụm  $N = 4$  và các ăng ten trạm gốc BS đẳng hướng
- Kích cỡ cụm  $N = 4$  và phân đoạn  $120^\circ$
- Kích cỡ cụm  $N = 4$  và phân đoạn  $60^\circ$
- Kích cỡ cụm  $N = 7$  và các ăng ten trạm gốc BS đẳng hướng
- Kích cỡ cụm  $N = 7$  và phân đoạn  $120^\circ$
- Kích cỡ cụm  $N = 7$  và phân đoạn  $60^\circ$

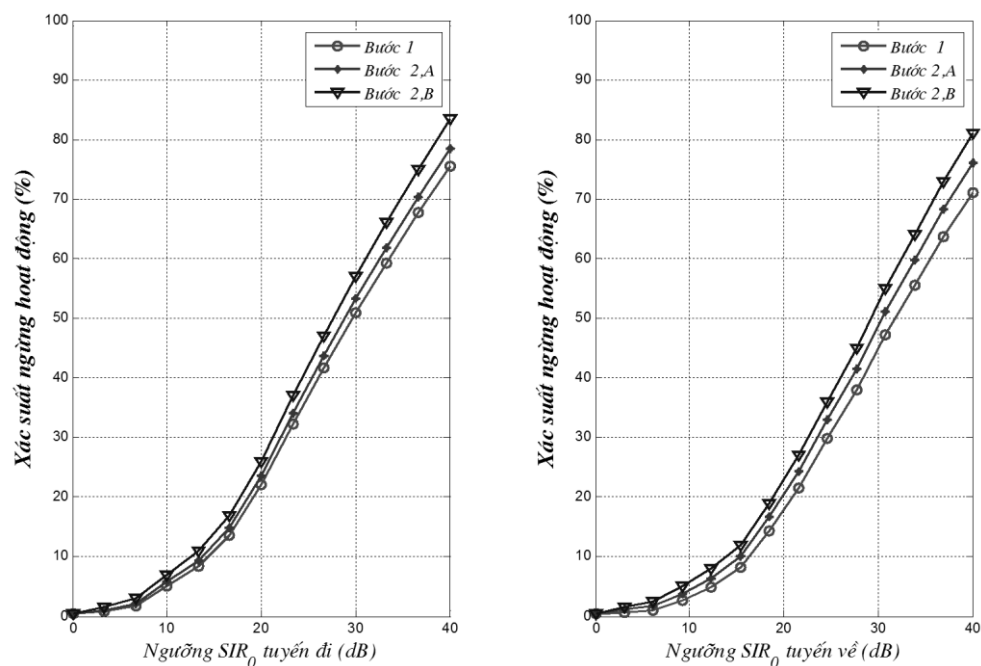
Các ăng ten phân đoạn tại các BS có tỉ số trước sau 30 dB. Độ lệch chuẩn che chắn được đặt là 8 dB và số mũ suy hao truyền sóng  $\gamma = 4$ . Để đạt được các kết quả thống kê hợp lý cần mô phỏng 1000 chớp ảnh.

### Xác suất ngừng hoạt động

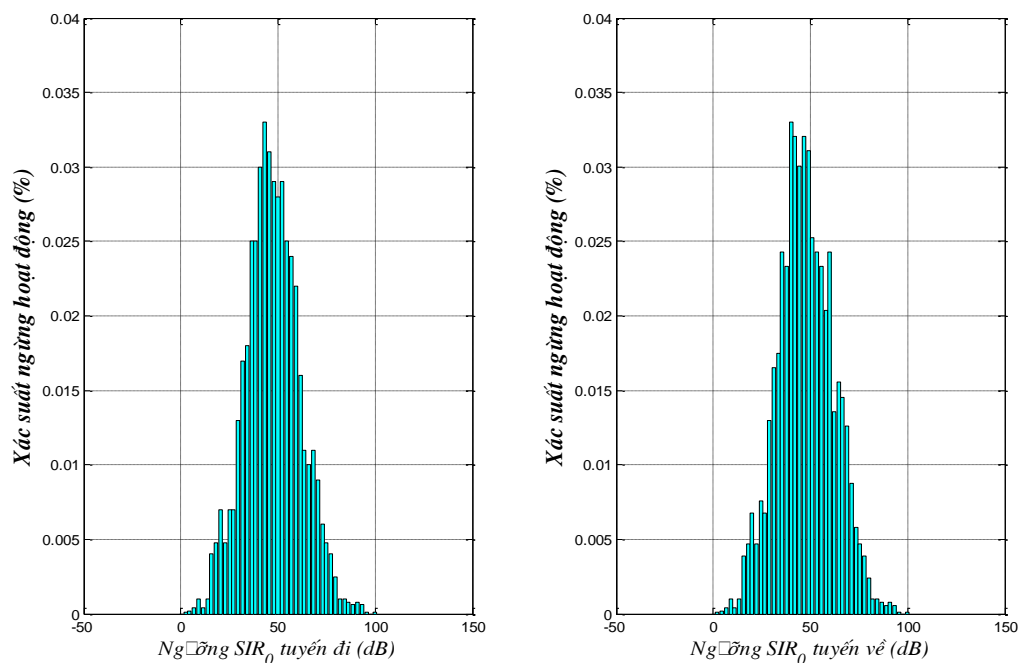
Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của  $SIR$  biểu diễn theo đơn vị dB đã được tính cho mỗi chớp ảnh trong mô phỏng ở bước 1. Các mô men này tương ứng với  $SIR$  đo được ở MS và BS tại tế bào trung tâm cho một chớp ảnh vị trí cụ thể của các MS đồng kênh. Vì vậy, ta có thể tính xác suất ngừng hoạt động của hệ thống tế bào tại MS và BS cho một tình huống cho trước. Xác suất ngừng hoạt động đã được định nghĩa ở phần trước, để tiện được nhắc lại:

$$\begin{aligned} P_{\text{ngừng hoạt động}}(SIR_0) &= \Pr[SIR < SIR_0] = \int_0^{SIR_0} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{SIR}} e^{-\frac{(x-m_{SIR})^2}{2\sigma_{SIR}^2}} dx \\ &= 1 - Q\left(\frac{SIR_0 - m_{SIR}}{\sigma_{SIR}}\right) \end{aligned} \quad (17.48)$$

$Q(\cdot)$  là hàm  $Q$  Gauss. Do đó sử dụng giá trị trung bình và độ lệch chuẩn được tính tại mỗi chớp ảnh từ bước 1, ta nhận được *một mẫu* của xác suất ngừng hoạt động. Mô phỏng xác suất ngừng hoạt động trung bình của hệ thống tế bào  $\bar{P}_{\text{ngừng hoạt động}}(SIR_0)$ , được tính bằng cách lấy trung bình các mẫu của các xác suất ngừng hoạt động  $P_{\text{ngừng hoạt động}}(SIR_0)$  mà đã được tính toán cho mỗi chớp ảnh. Các xác suất ngừng hoạt động trung bình thường được coi là xác suất ngừng hoạt động trung bình *vùng* vì mỗi phần tử trong quá trình lấy trung bình tương ứng với một vị trí trong diện tích tế bào. Các xác suất ngừng hoạt động trung bình tại các ngưỡng khác nhau được tính bằng cách dùng các kết quả từ bước 1 đối với kích cỡ cụm  $N = 7$  và phân đoạn  $120^\circ$  được cho ở hình 17.13. Hình 17.13 cũng cho thấy các xác suất ngừng hoạt động trung bình đối với kích cỡ cụm  $N = 7$  và phân đoạn  $120^\circ$  được tính từ các kết quả bước 2, phương pháp A và B.



Hình 17.13: Xác suất ngừng hoạt động trung bình trên cả hai tuyến đi và về dùng các phương pháp đã được mô tả (kích cỡ cụm  $N = 7$ , phân đoạn  $120^\circ$ ,  $\sigma = 8\text{dB}$  và  $\gamma = 4$ )

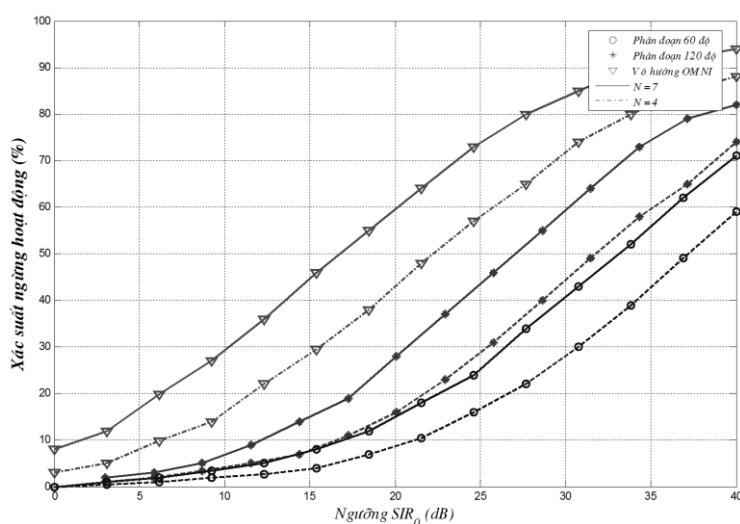


Hình 17.14 : Hoành đồ của các mẫu  $SIR$  từ giải pháp 2 cho hai tuyến đi và về dùng bước 2 phương pháp A (kích cỡ cụm  $N = 7$ , phân đoạn  $120^\circ$ ,  $\sigma = 8\text{dB}$  và  $\gamma = 4$ )

Xác suất ngừng hoạt động trung bình cũng có thể được tính từ các kết quả bước 2 phương pháp A hoặc B. Nó cung cấp tập hợp các mẫu của  $SIR$  trên cả hai tuyến. Trên cơ sở

các tập hợp này, ta có thể ước tính hàm mật độ xác suất của *SIR* trung bình vùng. Muốn vậy, trước hết phải tính hoành đồ của các tập hợp. Ví dụ hình 17.14 cho thấy các hoành đồ của các mẫu của *SIR* trung bình vùng có được từ bước 2, phương pháp A. Các hoành đồ này xấp xỉ hàm pdf đúng của *SIR* trung bình vùng. Sử dụng hoành đồ ta có thể ước tính các xác suất ngừng hoạt động trung bình trên cả 2 tuyến.

Tại đây ta có thể so sánh hiệu năng 6 cấu hình được mô phỏng. Hình 17.15 cho thấy xác suất ngừng hoạt động trung bình của mỗi cấu hình, sử dụng bước 1 trên hướng đi. Như được mong đợi, việc phân đoạn cải thiện hiệu năng hệ thống tế bào, tức là giảm được xác suất *SIR* dưới một ngưỡng cho trước. Chẳng hạn, hệ thống sử dụng kích cỡ cụm  $N = 7$  và 3 sector trên một tế bào tốt hơn (về chất lượng tuyến) so với hệ thống sử dụng cụm cỡ  $N = 7$  nhưng với các ăng ten đẳng hướng. Xác suất ngừng hoạt động tại  $SIR_0 = 18\text{dB}$  (ngưỡng thường được dùng trong AMPS) đối với hệ thống thứ nhất là 15% trong khi đó hệ thống thứ hai là 35%.



Hình 17.15 : Xác suất ngừng hoạt động trên tuyến đi cho các cấu hình

Tuy nhiên, phân đoạn làm giảm dung lượng hệ thống ở dạng lưu lượng mang tối đa. Để minh họa, bảng 17.2 cho thấy lưu lượng mang trên một tế bào đối với mỗi cấu hình ứng với xác suất ngừng hoạt động tại  $SIR_0 = 18\text{ dB}$  nhận được từ hình 17.15. Lưu lượng mang được tính toán theo giả định: có 395 kênh khả dụng cho toàn bộ hệ thống và xác suất nghẽn chấp nhận được là 0,02. Thấy rõ, sự dung hòa giữa dung lượng và chất lượng tuyến. Khi cải thiện được dung lượng thì chất lượng đường truyền giảm xuống.

### Hiệu năng hệ thống trên diện tích tế bào

Xác suất ngừng hoạt động trung bình, như đã đề cập và tính toán ở trên, cho biết hiệu năng hệ thống tế bào được lấy trung bình trên diện tích tế bào. Kết quả là, tồn tại một xác suất ngừng hoạt động cao (không mong muốn) tại một vị trí cho trước có thể được bù bởi một xác suất ngừng hoạt động thấp tại một vị trí khác. Đôi khi, khi phân tích hiệu năng ta cần phải đánh

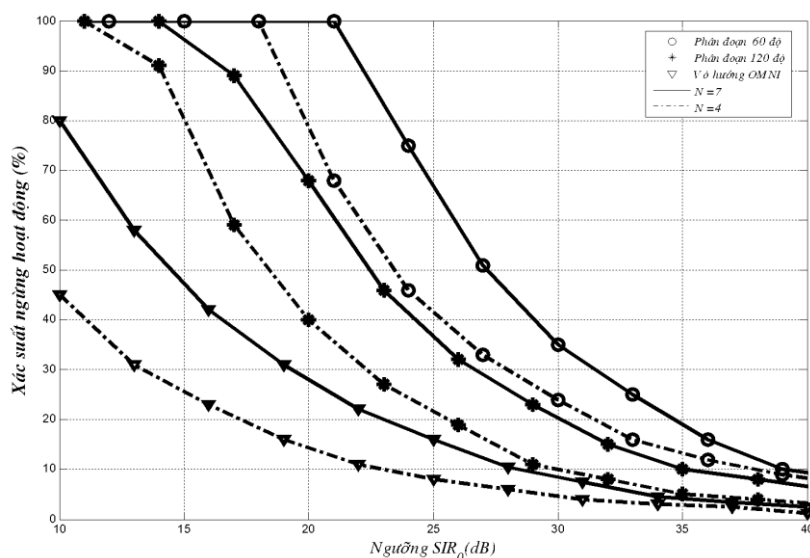
giá phần trăm diện tích tế bào ở đó hiệu năng hệ thống (xác suất ngừng hoạt động) có thể chấp nhận được hay không. Sự đánh giá này có thể được tính toán từ các kết quả mô phỏng.

Xác suất tin cậy  $P_{tin\ cây}(SIR_0)$  được định nghĩa là xác suất mà  $SIR$  lớn hơn một ngưỡng  $SIR_0$  cho trước. Theo đó, tại một vị trí cho trước ta có:

$$\begin{aligned} P_{tin\ cây}(SIR_0) &= \Pr[SIR > SIR_0] = Q\left(\frac{SIR_0 - m_{SIR}}{\sigma_{SIR}}\right) \\ &= 1 - P_{ngừng\ hoạt\ động}(SIR_0) \end{aligned} \quad (17.49)$$

Bảng 17.2: Lưu lượng mang trên tế bào và xác suất ngừng hoạt động

Ăng ten	Kích cỡ cụm N = 4	Kích cỡ cụm N = 7
Vô hướng	86,0 Erg @ $P_{ngừng\ hoạt\ động} = 0,52$	45,9 Erg @ $P_{ngừng\ hoạt\ động} = 0,35$
3-sector	71,2 Erg @ $P_{ngừng\ hoạt\ động} = 0,22$	24,5 Erg @ $P_{ngừng\ hoạt\ động} = 0,15$
6-sector	59,0 Erg @ $P_{ngừng\ hoạt\ động} = 0,13$	26,1 Erg @ $P_{ngừng\ hoạt\ động} = 0,07$



Hình 17.16: Tỷ lệ phần trăm của diện tích tế bào ở đó  $P_{rela}(SIR_0) > 0,75$  được duy trì trên tuyến đi cho tất cả các cấu hình được mô phỏng ( $\sigma = 8\text{ dB}$  và  $\gamma = 4$ )

Tại đây, ta coi hiệu năng của hệ thống là chấp nhận được nếu xác suất tin cậy  $P_{tin\ cây}(SIR_0)$  tại ngưỡng  $SIR_0$  cho trước lớn hơn ngưỡng  $P_{min}$ . Sau đó sử dụng các giá trị  $P_{tin\ cây}(SIR_0)$  đã tính được để ước tính phần trăm diện tích tế bào ở đó có hiệu năng hệ thống chấp nhận được (tức là nơi có  $P_{tin\ cây}(SIR_0) > P_{min}$ ) bằng cách tính:

$$P_{diện\ tích}(SIR_0) = \frac{\text{Số vị trí có } P_{tin\ cây}(SIR_0) > P_{min}}{\text{Tổng số vị trí}} \quad (17.50)$$

Lưu ý rằng, việc tính toán  $P_{diện\ tích}(SIR_0)$  chỉ có thể thực hiện được khi dùng các kết quả của bước 1 trong mô phỏng vì cần có giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của  $SIR$ . Hình 17.16

cho thấy tỉ lệ phần trăm của diện tích tế bào có  $P_{tin\ cây}(SIR_0) > 0,75$  trên tuyến đi cho tất cả các cấu hình đã được mô phỏng.