

A. MỞ ĐẦU

1. Lý do nghiên cứu

Hiện nay các hệ thống tin vô tuyến di động thế hệ thứ 4 đang phát triển mạnh mẽ. Yêu cầu về tăng dung lượng cho hệ thống để hỗ trợ các dịch vụ như truyền dữ liệu tốc độ cao, xem video trực tuyến, duyệt Web..vv, ở mọi lúc mọi nơi cùng với với dịch vụ thoại phi truyền thống đang tăng lên.

Các vấn đề nghiên cứu quan tâm không chỉ là đối với các kỹ thuật mới riêng rẽ tách biệt như: mã hóa, điều chế, phân tập, hợp kênh với anten dàn, anten thông minh...mà còn ở góc độ phối hợp và tổ hợp các kỹ thuật trên cùng một lúc để nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên hệ thống. Tuy nhiên, những nghiên cứu ở góc độ tổ hợp kỹ thuật này trong những năm qua còn hạn chế.

2. Đặt vấn đề

Mục đích chính của luận án này là xây dựng một mô hình và phối hợp kỹ thuật anten thông minh, là kỹ thuật phát hiện được hướng sóng đến và có thể điều khiển được búp sóng bám theo người dùng, bổ sung cho anten trạm gốc ở hệ thống tin di động hiện hành. Để chứng tỏ hiệu quả của hệ thống này, chúng tôi đã tiến hành đánh giá dung lượng và dung năng của hệ thống phối hợp OFDM/SDMA có sử dụng đa truy cập theo không gian dùng với sơ đồ anten thông minh này. Vấn đề này chưa được nghiên cứu nhiều trong những năm qua.

3. Các mục tiêu nghiên cứu

- Xây dựng một sơ đồ anten thông minh bao gồm một hệ tìm hướng để xác định hướng sóng đến dùng kỹ thuật anten không tâm pha và một hệ điều khiển búp sóng bám theo thuê bao di động.

- Áp dụng sơ đồ này vào hệ thống thông tin di động OFDM để tạo nên một tổ hợp cấu trúc mới là OFDM/SDMA với những kịch bản cụ thể.
- Đánh giá khả năng tăng dung lượng và dung năng của tổ hợp cấu trúc mới này.

Kết cấu luận án: Luận án gồm mở đầu, 04 chương, kết luận, có 30 hình, 5 bảng, 62 tài liệu tham khảo, 107 trang luận án.

4. Phạm vi và giới hạn của luận án

Hệ anten thông minh đề xuất trong luận án có thể áp dụng cho các hệ thống tin di động hiện hành có cấu trúc tế bào hình lục giác đều với mẫu sử dụng lại tần số $3 \times 3 \times 1$. Môi trường truyền sóng được xem xét là đô thị và vùng phụ cận với suy giảm công suất theo cự ly được coi là tuân theo luật Lognormal với phương sai $\sigma_s = 8$ dB. Dịch tần và PAPR (Peak to Average Power Ratio) không xem xét trong luận án. Dàn anten mảng pha băng rộng có khả năng điều khiển búp sóng thích nghi.

5. Phương pháp nghiên cứu

- Tính toán lý thuyết: Dựa trên cơ sở của lý thuyết anten dàn, anten không tâm pha, xử lý tín hiệu ngẫu nhiên, tách nhận tín hiệu và tổng hợp các vấn đề lý thuyết có liên quan đến đề tài.
- Mô phỏng máy tính: Được tiến hành với các kịch bản cụ thể và so sánh với tính toán lý thuyết

B. NỘI DUNG

Chương 1

MỘT SỐ KỸ THUẬT CHO HỆ THỐNG TIN DI ĐỘNG THỂ HỆ MỚI

1.4.3 Dung năng của hệ thống MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Dung năng của một kênh MIMO Fading Rayleigh với n_T anten phát và n_R anten thu, công suất phát tổng P , phương sai tạp âm σ^2 biểu diễn là

$$C = B_k \log_2 \det(\mathbf{I}_m + \frac{P}{n_T \sigma^2} \mathbf{H}\mathbf{H}^H) \quad (1.42)$$

trong đó

- $m = \min(n_T, n_R)$; \mathbf{H} là ma trận kênh truyền; B_k là băng thông của các kênh nhỏ bằng nhau.

Từ công thức (1.42) ta suy ra khi ma trận kênh \mathbf{H} có hạng đầy đủ, các anten phát và thu không tương quan thì dung năng kênh MIMO sẽ tỷ lệ với $\det(\mathbf{I}_m + \frac{P}{n_T \sigma^2} \mathbf{H}\mathbf{H}^H)$ theo hàm logarit.

1.6 Anten thông minh cho OFDM

Việc áp dụng anten thông minh cho hệ thống OFDM đã có một số nghiên cứu bước đầu như của K. K. Wong [24]; Y. Li và N. R. Sollenberger [60] và F. Wang cùng cộng sự [16]. K. K. Wong đã thực hiện tối ưu trọng số phức (biên độ và pha) của dàn anten tại cả trạm gốc và người dùng để có mức SNR cực đại ở đầu ra. Y. Li và N. R. Sollenberger thì xem xét áp dụng anten thích nghi cho hệ thống OFDM để nén nhiễu đồng kênh; sử dụng kết hợp cả dự đoán kênh thuận và ngược; khai thác trạng thái kênh quá khứ, hiện tại và tương lai vào việc dự đoán kênh. Do đó độ chính xác của đáp ứng kênh dự đoán tăng lên. Véc-tơ trọng số phụ thuộc cả vào ma trận tự tương

quan của tín hiệu và đáp ứng của kênh truyền. Song hạn chế của các công trình này là hệ anten xử lý tín hiệu phức tạp và mô hình cấu trúc búp sóng cho mạng di động OFDM chưa rõ ràng.

Chương 2

TẠO BÚP SÓNG TRONG HỆ ANTEN THÔNG MINH

Có nhiều phương pháp tạo búp sóng anten để phục vụ các mục đích khác nhau. Chương này đề cập đến hai phương pháp điều khiển búp sóng là điều khiển tối ưu theo mục tiêu cố định (sơ đồ phân tử búp sóng và sơ đồ không gian búp sóng) và điều khiển tổ hợp búp thích nghi (thuật toán LMS) cho trường hợp mục tiêu di động. Do yêu cầu hệ xử lý tín hiệu anten phải đơn giản và anten phải có khả năng thích nghi với mục tiêu di động nên chúng tôi lựa chọn phương pháp quay búp sóng thích nghi.

Phương pháp quay búp thích nghi :

Búp sóng chính của hệ anten thông minh đặt ở trạm gốc có khả năng quay bám theo mục tiêu di chuyển trong phạm vi một séc-tơ [3-4]. Thật vậy, vì luận án sử dụng dàn anten mảng pha nên chỉ cần điều khiển pha của các phần tử anten để xoay búp sóng chính của dàn anten hướng vào mục tiêu. Mục tiêu ở đây là vị trí có mật độ người dùng cao nhất trong một séc-tơ.

Véc-tơ trọng số của dàn anten được biểu diễn là

$$\mathbf{w} = \frac{1}{L} \mathbf{a}(\theta)$$

trong đó L là số phần tử (từ 4 đến 8) của dàn anten mảng pha, θ là hướng sóng đến từ mục tiêu trong mặt phẳng phương vị.

Để thực hiện được việc quay búp thích nghi, hệ điều khiển búp sóng anten cần có thông tin về hướng sóng đến của mục tiêu

(véc-tơ hướng $\mathbf{a}(\theta)$) từ hệ thống tìm hướng (hệ thống này sẽ được trình bày chi tiết ở chương 3). Khi mục tiêu di chuyển, véc-tơ hướng sẽ thay đổi và véc-tơ trọng số cũng sẽ cập nhật theo. Kết quả là búp sóng chính sẽ thực hiện việc quay búp thích nghi.

Chương 3

XÁC ĐỊNH HƯỚNG SÓNG DỪNG DÀN ANTEN KHÔNG TÂM PHA

3.5.5 Phân tích dàn anten không tâm pha với đặc tính pha phi tuyến

Dàn anten không tâm pha dùng 4 dipole đứng xếp thành 2 cặp để trục của cặp thứ nhất vuông góc với trục của cặp thứ 2. Tọa độ Đề Các của các dipole và pha của dòng kích thích của chúng mô tả như sau:

Số 1 $(0, -d_1/2, 0)$, 0 radian; số 2 $(0, d_1/2, 0)$, π radian; số 3 $(d_2/2, 0, 0)$, $\pi/2$ radian; số 4 $(-d_2/2, 0, 0)$, $3\pi/2$ radian.

Suy ra, hệ số dàn của cặp dipole thứ nhất, AF_{12} , biểu diễn là

$$AF_{12} = 2I_o j^2 \sin\left(\frac{kd_1}{2} \sin\theta\right) \quad (3.47)$$

trong đó I_o là biên độ của dòng kích thích và θ là góc phương vị. Tương tự, hệ số dàn của cặp dipole thứ hai là

$$AF_{34} = 2I_o j^2 \sin\left(\frac{\beta d_2}{2} \cos\theta\right) \quad (3.48)$$

Đặc tính pha của hệ anten là

$$\Phi(\theta) = \text{artg} \left[\frac{AF_{12}}{AF_{34}} \right] = \text{artg} \left[\frac{\sin\left(\frac{kd_1}{2} \sin\theta\right)}{\sin\left(\frac{kd_2}{2} \cos\theta\right)} \right] \quad (3.49)$$

Nói chung, $\Phi(\theta)$ là một hàm phi tuyến theo θ . Nếu chọn $d_1 = 5\lambda$, $d_2 = 3\lambda$ ta có

$$\Phi(\theta) = \text{artg} \left[\frac{\sin(5\pi \sin \theta)}{\sin(3\pi \cos \theta)} \right] \quad (3.50)$$

Đây rõ ràng cũng là một hàm phi tuyến theo θ .

3.6 Kết hợp dùng dàn anten không tâm pha và thuật toán MUSIC (Multiple Signal Classification)

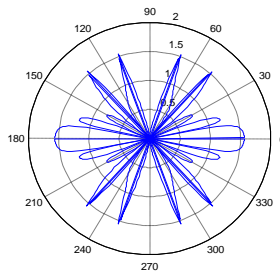
Trước tiên sẽ mô tả cấu trúc dàn anten bao gồm hai phần tử. Chúng tôi đề xuất phần tử thứ nhất là một đơn cực (monopole) và như vậy đặc tính pha của nó là không thay đổi (đẳng pha).

Chúng tôi đề xuất phần tử anten thứ hai là dàn anten không tâm pha (việc phân tích chi tiết kiểu phần tử này đã mô tả ở mục 3.5.5) với đặc tính pha của phần tử thứ hai được mô tả ở Hình 3.6.

Một điểm quan trọng là đặc tính pha của anten thứ nhất và hai đều được biểu diễn là các hàm của góc phương vị. Có nghĩa là

$$\Phi_A(\theta) = C, \quad \forall \theta \in (0, 2\pi) \quad (3.51)$$

$$\Phi_A(\theta) = \Phi(\theta), \quad \forall \theta \in (0, 2\pi) \quad (3.52)$$



Hình 3.6 Đặc tính pha của phần tử thứ hai trong hệ tọa độ cực

Tiếp theo sẽ phân tích việc sử dụng dàn anten đề xuất này kết hợp với thuật toán MUSIC để xác định hướng các nguồn phát sóng:

Thay vì sử dụng một dàn anten L phần tử tuyến tính cách đều, đề nghị dùng một dàn anten 2 phần tử kết hợp dịch pha và lấy mẫu phần tử thứ hai theo thời gian $L-2$ lần. Với cách làm như vậy đối với phần tử thứ 2 có đặc tính pha phi tuyến sẽ hình thành một ma trận dàn có hạng L tương tự như ma trận dàn truyền thống (sử dụng dàn anten L phần tử tuyến tính cách đều).

Các bước xử lý tín hiệu tiếp theo hoàn toàn tương tự như phương pháp MUSIC truyền thống.

Vì ma trận tự tương quan đầu ra của dàn anten đồng hạng với ma trận dàn, do đó khi chéo hóa nó ta sẽ có được L giá trị riêng, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_L$. Trong số các trị riêng này chúng ta sẽ tìm được D trị riêng không âm, tương ứng với D nguồn phát sóng. Kết quả này hoàn toàn tương đương với kết quả sử dụng một dàn anten L phần tử tuyến tính cách đều.

Trong dàn anten L phần tử tuyến tính cách đều, thì khoảng cách giữa các phần tử nhỏ hơn hoặc bằng $\lambda/2$. Đối với dàn anten 2 phần tử kết hợp di pha và lấy mẫu theo thời gian thì lượng di pha tương ứng trong mỗi lần dịch pha sẽ nhỏ hơn hoặc bằng π .

Vì các phần tử sau phần tử thứ nhất của véc-tơ hướng được xây dựng trên các mẫu đo thời gian khác nhau của đặc tính pha của phần tử anten thứ hai nên véc-tơ hướng hiệu chỉnh như ở công trình số [2] trở thành

$$\mathbf{a}_M(\theta) = \{1, \exp(-j\Phi_B(\theta_1)), \dots, \exp(-j\Phi_B(\theta_D))\}^T \quad (3.53)$$

Sau khi thay thế véc-tơ hướng thông thường bằng véc-tơ hướng hiệu chỉnh thì phổ MUSIC hiệu chỉnh trở thành

$$P_M(\theta) = \frac{1}{\mathbf{a}_M^H(\theta) \mathbf{V}_n \mathbf{V}_n^H \mathbf{a}_M(\theta)} \quad (3.54)$$

3.7 Mô phỏng đánh giá chất lượng của phương pháp MUSIC dùng dàn anten không tâm pha.

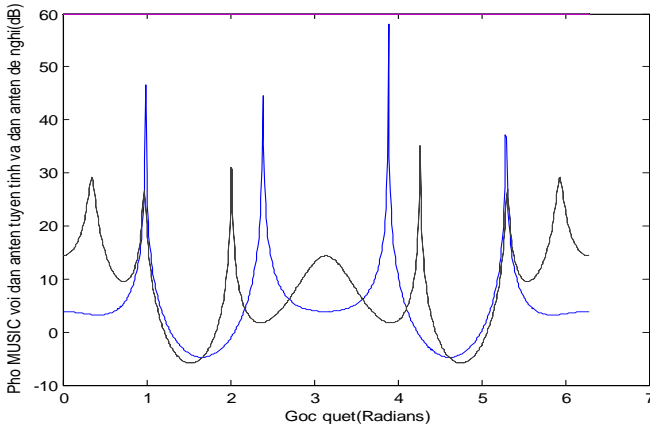
Giả thiết có 3 nguồn tín hiệu điều chế theo một phương thức bất kỳ nào đó, đặt ở các hướng : 0.2, 1, và 2 radians. Mức tín trên tạp của các nguồn này là bằng nhau và bằng 20 dB ($SNR_1=SNR_2=SNR_3=20dB$). Dùng 2 dàn anten để so sánh. Dàn thứ nhất là một dàn anten không tâm pha 2 phần tử (dàn anten đề nghị), dàn thứ hai là một dàn tuyến tính 3 phần tử. Các bước xử lý tín hiệu đã được mô tả trong mục 3.6, chúng tôi đạt được các kết quả mô phỏng sau:

- Cả hai dàn anten đều có thể phát hiện các nguồn tại các hướng 1 và 2 radians. Các đỉnh phổ của dàn anten đề nghị và dàn anten tuyến tính là xấp xỉ 30dB và 40 dB (Hình 3.7).

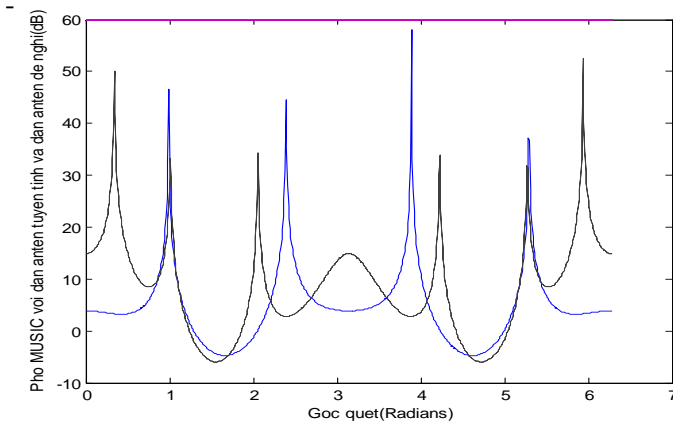
- Thuật toán MUSIC chỉ có thể phát hiện tới $L-1$ nguồn trong dàn anten L phần tử (dàn tuyến tính 3 phần tử chỉ phát hiện được 2 nguồn). Song dàn anten đề nghị có thể phát hiện thêm nguồn tại hướng 0.2 radians trong khi dàn anten tuyến tính truyền thống thì không thể (dàn 2 phần tử có thể phát hiện được 3 nguồn).

- Một cách tổng quát như đã giải thích ở mục 3.6 dàn anten đề nghị có thể phát hiện D nguồn khi số phần tử của dàn anten nhỏ hơn D . Về nguyên tắc, số nguồn phát hiện được không giới hạn bởi số phần tử của dàn anten (Hình 3.7 và 3.8).

- Chất lượng của dàn anten đề nghị phụ thuộc vào góc quay của anten không tâm pha có đặc tính pha phi tuyến. Khi góc quay là 0.1 và 0.5 radians, đỉnh phổ của dàn anten đề nghị là 30dB (Hình 3.7). Khi góc quay là 0.5 và 0.8 radians đỉnh phổ của dàn anten đề nghị là 35dB (Hình 3.8).



Hình 3.7. Phổ đối với nguồn tại 0.2, 1 và 2 radians trong mặt phẳng phương vị. Đường liền nét là với dàn tuyến tính và đường đứt nét là với dàn anten không tâm pha. Góc quay của anten không tâm pha là 0.1 và 0.5 radians.



Hình 3.8. Phổ của nguồn tại 0.2, 1, và 2 radians trong mặt phẳng phương vị. Đường liền nét là với dàn anten tuyến tính và đường đứt nét là với dàn anten không tâm pha. Góc quay của anten không tâm pha là 0.5 và 0.8 radians.

3.8 Kết luận

Mặc dù phương pháp MUSIC tìm hướng sóng đến rất hiệu quả, tuy nhiên số mục tiêu tối đa mà thuật toán này có thể phát hiện được giới hạn bởi số phần tử của dàn anten (số mục tiêu phát hiện được là $L-1$ mục tiêu khi dùng dàn anten L phần tử tuyến tính cách đều).

Chúng tôi đề xuất sử dụng một hệ tìm hướng mới, trong đó dùng anten hai phần tử và thuật toán MUSIC. Phần tử thứ nhất đẳng pha, phần tử thứ 2 không có tâm pha và có đặc tính pha phi tuyến.

Các kết quả phân tích và mô phỏng cho thấy hệ tìm hướng này làm việc tốt.

Do phần tử thứ hai có đặc tính pha phi tuyến, nếu lấy mẫu nó $L-2$ lần trong không gian, sẽ được một tập dữ liệu tương đương với việc sử dụng một dàn anten tuyến tính L phần tử cách đều. Vì ma trận dàn có hạng là D , nên ta có thể phát hiện được D mục tiêu. Nói cách khác là số mục tiêu phát hiện được về nguyên tắc sẽ không bị giới hạn bởi số phần tử của dàn (ở đây chúng tôi dùng anten có 2 phần tử mà có khả năng phát hiện D mục tiêu).

Các đóng góp mới của hệ tìm hướng được thể hiện trên ba điểm.

Điểm thứ nhất là về mặt cấu trúc dàn anten, hệ tìm hướng của chúng tôi có cấu trúc dàn anten hai phần tử đơn giản hơn nhiều cấu trúc dàn anten tuyến tính L phần tử.

Điểm thứ hai là về số lượng mục tiêu có thể phát hiện được. Theo đó, số lượng mục tiêu phát hiện được không bị giới hạn bởi số phần tử của dàn anten sử dụng.

Điểm thứ ba đó là về chất lượng dự đoán, các tính toán và mô phỏng đã chứng minh rằng chất lượng dự đoán hướng sóng đến

của chúng tôi tương đương như chất lượng của phương pháp MUSIC truyền thống.

Kết quả khoa học liên quan đã công bố là công trình số [2].

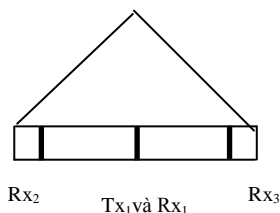
Chương 4

ANTEN THÔNG MINH DÙNG CHO HỆ THỐNG TIN DI ĐỘNG THỂ HỆ MỚI

4.1 Anten thông minh ở trạm gốc

4.1.1 Anten ở trạm gốc truyền thống

Cấu trúc một trạm BTS truyền thống như ở Hình 4.1. Anten được đặt trên 3 cạnh của một tam giác đều (trên hình chỉ vẽ một cạnh). Mỗi một cạnh sẽ phục vụ một séc-tơ 120° . Trên mỗi séc-tơ, có Tx_1 và Rx_1 dùng để phát và thu thông tin còn Rx_2 và Rx_3 dùng để xác định hướng sóng đến.



Hình 4.1 Cấu trúc dàn anten BTS cũ

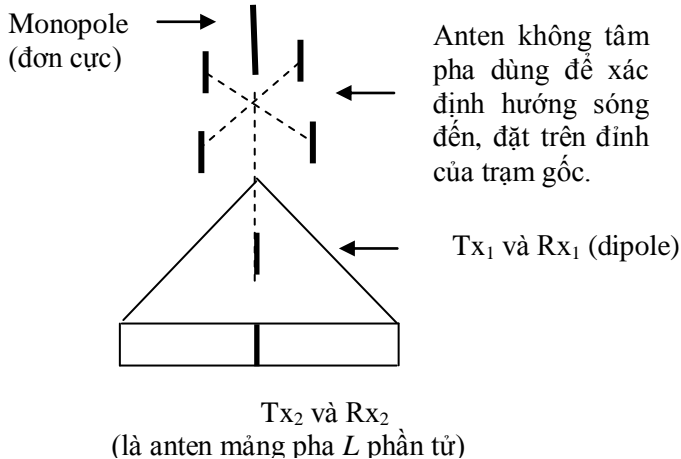
4.1.2 Anten thông minh ở trạm gốc

4.1.2.1 Anten thu và phát

Chúng tôi đề xuất dùng anten thứ nhất là một dipole đặt ở tâm của trạm gốc, ký hiệu là Tx_1 và Rx_1 như trên Hình 4.2. Anten thứ hai là các dàn anten mảng pha băng rộng L phần tử (thường từ 4 đến

8 phần tử) đặt ở ba cạnh của trạm gốc, ký hiệu là Tx_2 và Rx_2 như trên Hình 4.2. Cả hai anten đều làm việc ở chế độ song công.

4.1.2.2 Hệ anten tìm hướng của trạm gốc



Hình 4.2 Cấu trúc dàn anten BTS mới

Chúng tôi đề xuất dùng hệ tìm hướng để xác định hướng sóng đến gồm hai phần tử và thuật toán MUSIC như miêu tả ở mục 3.6. Dàn anten này đặt trên đỉnh của trạm gốc (Hình 4.2).

4.3 Các hệ thống cụ thể và mô phỏng

4.3.1 Hệ thống hiện dùng cải tiến hỗ trợ OFDM (hệ thống 1)

Các anten được đặt trên 3 cạnh của một tam giác đều. Anten trên mỗi cạnh sẽ bao phủ một séc-tơ rộng 120° và hoạt động ở chế độ song công. Trong hệ thống OFDM gọi là hệ SISO-SECTOR-OFDM.

4.3.2 Hệ thống hiện dùng cải tiến hỗ trợ OFDM và tạo búp sóng thích nghi theo hướng người dùng (hệ thống 2)

Khác với hệ thống 1 anten trên mỗi cạnh là anten mảng pha băng rộng có thể tạo ra một búp sóng chính có độ rộng 60° hoặc (30° , 15°). Búp sóng này có thể bám theo mục tiêu (vị trí có mật độ người

dùng cao nhất trong một séc-tơ 120°) dựa trên kết quả dự đoán hướng sóng đến dùng dàn anten không tâm pha và thuật toán MUSIC. Trong hệ thống OFDM gọi là hệ SISO-ADAPTIVE-OFDM

4.3.2.1 Các tính toán dung lượng cho đường lên hệ thống 2

Giả thiết bài toán:

Xét cấu trúc tế bào hình lục giác đều và hai lớp tế bào đầu tiên xung quanh tế bào trung tâm (số lượng tế bào khảo sát, $M=18$). Các trạm gốc đặt tại tâm của các tế bào. Mỗi séc-tơ có tối đa K người dùng hoạt động. Mẫu sử dụng lại tần số là $3 \times 3 \times 1$.

Có điều khiển công suất trong mỗi tế bào để công suất phát mỗi người dùng là P . Suy giảm công suất theo cự ly được coi là tuân theo luật Lognormal, phương sai, $\sigma_s = 8$ dB.

Hệ thống thông tin di động OFDM hỗ trợ nhiều kiểu đa truy cập. Luận án xét ví dụ trường hợp đa truy cập theo không gian(SDMA) xem như mỗi người dùng trong một séc-tơ sử dụng N sóng mang và đều có khả năng cùng một lúc truy cập vào hệ thống theo các phương khác nhau, khoảng cách khác nhau.

Anten ở trạm gốc là anten mảng pha băng rộng L phần tử cách đều (4 đến 8) với độ rộng búp chính khoảng 30° . Hệ tìm hướng dùng dàn anten không tâm pha và thuật toán MUSIC (đã trình bày ở Chương 3).

Anten của người dùng chỉ yêu cầu là anten vô hướng.

Thông tin về hướng đến của mục tiêu từ hệ tìm hướng BTS dùng để điều khiển búp sóng chính của dàn anten mảng pha trên mỗi sector bám theo mục tiêu (ở đây chính là vị trí có mật độ người dùng cao nhất trong sector).

Từ đó, ta tính toán xác suất vượt ngưỡng là hàm số của số người dùng và độ rộng búp sóng anten với mức $BER=10^{-5}$ (để đáp ứng khả năng truyền tín hiệu hình ảnh) như sau.

Tín hiệu đầu vào một trạm gốc sau khi qua anten là :

$$\begin{aligned}
 \mathbf{x}(t) = & \frac{\sqrt{P}}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_{n,o}^o \cos \omega_n (t - \tau_o) \mathbf{a}_o \\
 & + \frac{\sqrt{P}}{N} \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{n=0}^{N-1} x_{n,k}^o \cos \omega_n (t - \tau_k) \mathbf{a}_k \\
 & + \frac{\sqrt{P}}{N} \sum_{m=1}^M \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{n=0}^{N-1} \beta_{k_m} x_{n,k}^m \cos \omega_n (t - \tau_{k_m}) \mathbf{a}_{k_m} + \boldsymbol{\eta}(t)
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

trong đó

- P là công suất phát đối với mỗi người dùng.
- K là số người dùng hoạt động trong một séc-to; N là số sóng mang mà mỗi người dùng sử dụng ($N=2, 8, 16, 32$); M là số lượng tế bào trong mô hình bài toán ($M=18$).
- $x_{n,k}^m$ là dữ liệu đầu vào của người dùng thứ k đối với sóng mang thứ n tại tế bào thứ m .
- \mathbf{a}_k là véc-tơ hướng của dàn anten đối với người dùng thứ k tại tế bào trung tâm. \mathbf{a}_{k_m} là véc-tơ hướng của dàn anten đối với người dùng thứ k tại tế bào thứ m .
- τ_k là trễ từ người dùng thứ k vào tâm tế bào.

$\beta_{k_m}^2 = \left(\frac{r_k^m}{r_k^o} \right)^4 \frac{\|\alpha_k^o\|^2}{\|\alpha_k^m\|^2}$ là tỷ số công suất nhiễu đồng kênh của người dùng thứ k , từ tế bào thứ m vào tế bào trung tâm;

- r_k^m là khoảng cách từ người dùng thứ k trong tế bào thứ m vào tế bào trung tâm; $\|\alpha_k^m\|^2$ tuân theo luật Lognormal với phương sai, $\sigma_s = 8$ dB.

- $\boldsymbol{\eta}(t)$ là tạp âm tuân theo phân bố Gauss với trung bình bằng không, phương sai, σ^2

Sau khi lấy FFT của $\mathbf{x}(t)$, dữ liệu thu được từ người dùng thứ 0 (người dùng mong muốn) tại sóng mang thứ n ở tế bào trung tâm là

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_o(n) &= \frac{\sqrt{P}}{N} x_{n,o}^o \mathbf{a}_o + \frac{\sqrt{P}}{N} \sum_{k=1}^{K-1} x_{n,k}^o \mathbf{a}_k + \\ &\frac{\sqrt{P}}{N} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{K-1} \beta_{k_m} x_{n,k}^m \mathbf{a}_{k_m} + \boldsymbol{\varepsilon}(n) \end{aligned} \quad (4.2)$$

Dùng anten mảng pha thì biên độ các trọng số đối với các sóng mang (subcarrier) là như nhau, nên sau khi nhân với trọng số và cộng chúng lại ta có

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_o &= \frac{\sqrt{P}}{N} \sum_{n=o}^{N-1} x_{n,o}^o \mathbf{a}_o + \frac{\sqrt{P}}{N} \sum_{n=o}^{N-1} \sum_{k=1}^K x_{n,k}^o \mathbf{a}_k \\ &+ \frac{\sqrt{P}}{N} \sum_{n=o}^{N-1} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{K-1} \beta_{k_m} x_{n,k}^m \mathbf{a}_{k_m} + \boldsymbol{\varepsilon} \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\mathbf{z}_o = S_o \mathbf{a}_o + I_1 + I_2 + \boldsymbol{\varepsilon}$$

trong đó I_1, I_2 là nhiễu đồng kênh từ các người dùng trong tế bào trung tâm và từ các người dùng trong các tế bào xung quanh.

Quá trình dự đoán \mathbf{a}_o : ở đây việc dự đoán \mathbf{a}_o được thực hiện dùng hệ tìm hướng đã giới thiệu ở Chương 3.

Trong trường sử dụng anten thông minh, thì dàn anten có đáp ứng đơn vị theo hướng mục tiêu, hay là $\mathbf{a}_o^H \mathbf{a}_o = 1$. Dùng giá trị \mathbf{a}_o dự đoán được và tính chất trên của dàn anten thông minh thành lập biến quyết định: $d_o = \mathbf{z}_o \mathbf{a}_o^H$

$$\begin{aligned}
d_o &= S_o + \frac{\sqrt{P}}{N} \sum_{n=o}^{N-1} \sum_{k=1}^K x_{n,k}^o \mathbf{a}_o^H \mathbf{a}_k \\
&+ \frac{\sqrt{P}}{N} \sum_{n=o}^{N-1} \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{K-1} \beta_{k_m} x_{n,k}^m \mathbf{a}_o^H \mathbf{a}_{k_m} + \boldsymbol{\varepsilon} \mathbf{a}_o^H
\end{aligned} \tag{4.4}$$

$$d_o = S_o + \sum_{k=1}^{K-1} I_k \mathbf{a}_o^H \mathbf{a}_k + \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{k=1}^{K-1} I_{k_m} \mathbf{a}_o^H \mathbf{a}_{k_m} + \boldsymbol{\varepsilon} \mathbf{a}_o^H$$

$$d_o = S_o + n_1 + n_2 + n_3$$

Phương sai của n_1 và n_2 được tính như sau

$$\begin{aligned}
\text{var}(n_1) &= P \sum_{k=1}^{K-1} \left\| \mathbf{a}_o^H \mathbf{a}_k \right\|^2 = PI_3 \\
\text{var}(n_2) &= P \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{k=0}^{K-1} \beta_{k_m}^2 \left\| \mathbf{a}_o^H \mathbf{a}_k \right\|^2 = PI_4
\end{aligned} \tag{4.5}$$

trong đó:

- I_3 là tỷ lệ công suất nhiễu trên tín hiệu tại tế bào trung tâm
- I_4 là tỷ lệ công suất nhiễu trên tín hiệu tại các tế bào xung

quanh.

Xét tỷ số năng lượng bit trên mật độ nhiễu và tạp âm như sau

$$\frac{E_b}{N_o + I_o} = \frac{P}{\frac{\sigma^2}{L} + PI_3 + PI_4} = \frac{1}{\frac{\sigma^2}{LP} + I_3 + I_4} \tag{4.6}$$

Yêu cầu về chất lượng BER $> 10^{-5}$ hay là $\frac{E_b}{N_o + I_o} > 6dB = S$

để đáp ứng được khả năng truyền tín hiệu hình ảnh.

$$\begin{aligned}
P_v &= \Pr(BER > P_o) = \Pr\left(\frac{E_b}{N_o + I_o} < S\right) \\
&= \Pr\left(\frac{1}{\frac{\sigma^2}{LP} + I_3 + I_4} < S\right) = \Pr(I_3 + I_4 > \frac{1}{S} - \frac{\sigma^2}{LP})
\end{aligned} \tag{4.7}$$

Ta suy ra là xác suất vượt ngưỡng là một hàm số của hai biến số I_3 và I_4 .

Xét tải tối đa cho một séc-tơ : K người dùng hoạt động. Vì số lượng các nguồn nhiễu do các người dùng khác nhau là ngẫu nhiên nên có thể thay $\|\mathbf{a}_o^H \mathbf{a}_k\|^2$ trong I_3, I_4 bởi một biến ngẫu nhiên Bernoulli, χ_k . Biến này có xác suất xuất hiện p .

$$\chi_k = \begin{cases} 1 & p \\ 0 & q = 1 - p \end{cases} \tag{4.8}$$

Từ đó I_3 viết lại là

$$I_3 = \sum_{k=1}^{K-1} \chi_k \tag{4.9}$$

Ta suy ra I_3 có phân bố nhị thức với tham số $(K-1, p)$.

Tính p :

Ta giả thiết người dùng phân bố thành các cụm trong một tế bào. Đồng thời cũng hợp lý nếu giả thiết là phân bố cụm của người dùng theo góc trong mỗi séc-tơ tuân theo phân bố Gauss, trung bình bằng m ; phương sai, σ .

Tại thời điểm ban đầu quan sát, vị trí trung bình ở giữa của séc-tơ (trường hợp 1). Vì mỗi séc-tơ bao phủ một góc 120° nên ta có $m=60^\circ$, $\sqrt{\sigma}=60^\circ$. Suy ra xác suất vị trí trung bình rơi vào búp sóng chính của anten như ở Bảng 4.3. Trong trường hợp người dùng phân bố đều trong séc-tơ, thì ta sẽ dùng anten vô hướng.

Bảng 4.3 Xác suất vị trí trung bình, trường hợp 1

Độ rộng búp chính	60 độ	30 độ	15 độ
p	Q(0)	Q(0.5)	Q(0.75)

Với $Q(x)$ là hàm lỗi xác định như sau

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-y^2/2} dy$$

Trên thực tế, vị trí trung bình có thể di chuyển ngẫu nhiên trong phạm vi một séc-tơ quan sát. Chúng tôi xét trường hợp, trung bình di chuyển đến cạnh của séc-tơ (trường hợp 2).

Lúc này thì $m=120^\circ$, $\sqrt{\sigma} = 60^\circ$. Xác suất mà vị trí trung bình nằm trong búp sóng chính của anten như ở Bảng 4.4.

Bảng 4.4 Xác suất vị trí trung bình, trường hợp 2

Độ rộng búp chính	60 độ	30 độ	15 độ
p	1-2Q(0.5)	1-2Q(0.25)	1-2Q(0.125)

Với giả thiết về χ_k ta suy ra I_4 có thể viết lại là

$$I_4 = \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{k=1}^{K-1} \chi_k \beta_{k_m}^2 \quad (4.10)$$

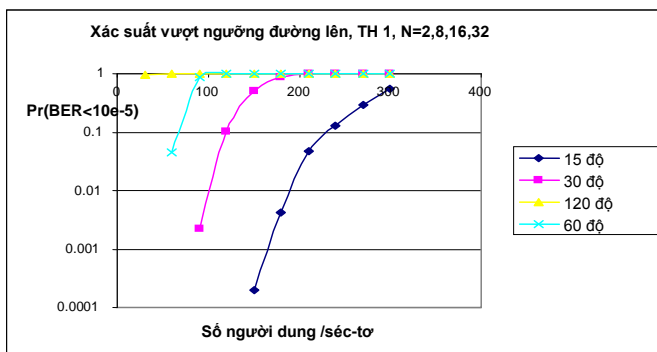
Đối với một số lớn người dùng, biến ngẫu nhiên I_4 (chịu nhiễu từ KM người dùng) có thể xấp xỉ bởi một biến Gauss với trung bình $\mu_k K$ và phương sai $\sigma_k^2 K$ (μ_k, σ_k phụ thuộc vào p , phương sai bóng che σ_s và số tế bào gây nhiễu M).

Nếu gọi $\delta = \frac{1}{S} - \frac{\sigma_s^2}{LP}$ thì xác suất vượt ngưỡng đường lên Hệ 2 như ở công trình [6]

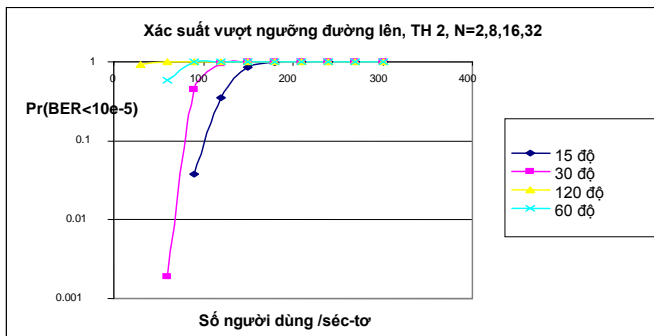
$$P_v = \sum_{k=0}^{K-1} \Pr(I_4 > \delta - k | I_3 = k) \Pr(I_3 = k) \quad (4.11)$$

$$P_v = \sum_{k=0}^{K-1} \binom{K-1}{k} p^k (1-p)^{K-1-k} Q\left(\frac{\delta - k - \mu_k K}{\sqrt{\sigma_k^2 K}}\right)$$

Kết quả mô phỏng xác suất vượt ngưỡng đường lên Hệ 2 cho bởi Hình 4.7, Hình 4.8 và Bảng 4.5.



Hình 4.7 Xác suất vượt ngưỡng đường lên Hệ 2, trường hợp 1, N=2, 8, 16, 32, $\delta=30$.



Hình 4.8 Xác suất vượt ngưỡng đường lên Hệ 2, trường hợp 2, $N=2, 8, 16, 32$, $\delta=30$.

Từ các kết quả trên chúng tôi suy ra là Hệ 2 có dung lượng cao hơn Hệ khoảng 3 lần. Tăng dung lượng trong trường hợp 2 kém hơn ở trường hợp 1 vì trường hợp 2 là trường hợp xấu nhất (khi người dùng nằm ở cạnh của séc-tơ).

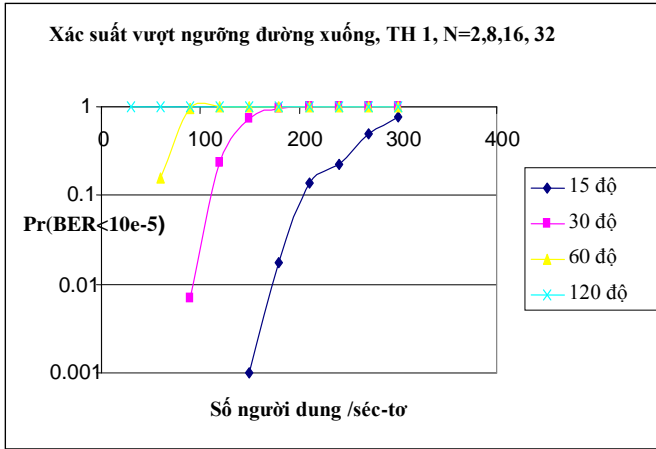
Bảng 4.5 Dung lượng đường lên hệ thống OFDM/SDMA dùng các loại anten khác nhau.

Loại Anten	Số người dùng tối đa trong séc-tơ
Séc-tơ	35
Thông minh (Búp chính rộng 60°)	75
Thông minh (Búp chính rộng 30°)	120
Thông minh (Búp chính rộng 15°)	230

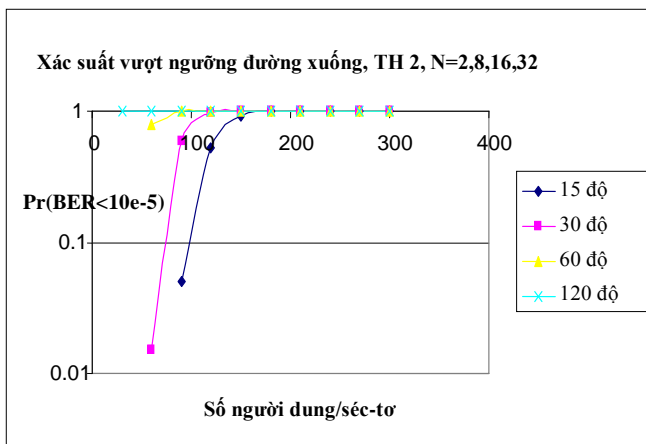
4.3.2.2 Các tính toán dung lượng đường xuống hệ thống 2

Các tính toán dung lượng cho đường xuống Hệ 2 tương tự như các tính toán dung lượng đường lên Hệ 2. Kết quả mô phỏng xác suất vượt ngưỡng đường xuống Hệ 2 cho bởi Hình 4.9, Hình 4.10 và Bảng 4.6.

Từ kết quả này ta cũng có kết luận là Hệ 2 có dung lượng đường xuống cao hơn Hệ 1 khoảng 3 lần.



Hình 4.9 Xác suất vượt ngưỡng đường xuống Hệ 2, trường hợp 1, $N=2, 8, 16, 32$, $\delta=30$.



Hình 4.10 Xác suất vượt ngưỡng đường xuống Hệ 2, trường hợp 2, $N=2, 8, 16, 32$, $\delta=30$.

Bảng 4.6 Dung lượng đường xuống hệ thống OFDM/SDMA dùng các loại anten khác nhau.

Loại Anten	Số người dùng tối đa trong séc-tơ
Séc-tơ	30
Thông minh (Búp chính rộng 60°)	60
Thông minh (Búp chính rộng 30°)	110
Thông minh (Búp chính rộng 15°)	200

4.3.3 Hệ thống hiện dùng cải tiến hỗ trợ OFDM và MIMO 2x2 (hệ thống 3)

Ngoài các anten trên 3 cạnh tam giác đều như hệ thống 1, ta bổ sung thêm một anten vô hướng (thu phát song công) ở tâm tam giác đều phối hợp phục vụ cho cả 3 cạnh. Như vậy theo hướng của

mỗi cạnh ta có hệ MIMO 2x2 (người dùng cũng đòi hỏi có 2 anten). Trong hệ thống OFDM gọi là hệ MIMO 2x2-SECTOR-OFDM.

4.3.4 Hệ thống hiện dùng cải tiến hỗ trợ OFDM và MIMO 2x2 kết hợp tạo búp sóng thích nghi (hệ thống 4)

Ta bổ sung anten vô hướng ở tâm tam giác đều vào hệ thống 2 hay là kết hợp kỹ thuật tạo búp của anten trên mỗi cạnh cùng sự phối hợp của anten vô hướng ở tâm tạo nên hệ MIMO 2x2. Trong hệ thống OFDM chúng tôi gọi hệ này là hệ MIMO 2x2-ADAPTIVE-OFDM. Hệ anten này có thể dùng làm anten trạm gốc của thế hệ di động thứ 4, bổ sung cho các anten của thế hệ di động hiện hành sẵn có.

C. KẾT LUẬN

Luận án nghiên cứu và xây dựng mô hình sử dụng kết hợp kỹ thuật anten thông minh vào hệ thống thông tin di động hiện hành và đã đạt được những kết quả mới sau:

- Xây dựng một hệ tìm hướng mới (chương 3) dùng anten hai phần tử. Phần tử thứ nhất là một đơn cực vô hướng. Phần tử thứ hai không có tâm pha và có đặc tính pha phi tuyến. Khi kết hợp với thuật toán MUSIC thì hệ tìm hướng này có khả năng phát hiện số mục tiêu không bị giới hạn bởi số phần tử của hệ (ở đây là hai phần tử). Tuy nhiên để phát hiện được số mục tiêu như của dàn anten tuyến tính cách đều L phần tử, phải tiến hành lấy mẫu trong không gian $L-2$ lần nữa để được tập dữ liệu tương đương.
- Đề xuất mô hình kết hợp anten thông minh (là anten điều khiển búp sóng theo hướng sóng tới) vào hệ thông tin di động OFDM để tạo nên hệ thống tổ hợp OFDM/SDMA với 4 cấu hình cụ thể:
 - Hệ 1: SISO-SECTOR-OFDM
 - Hệ 2: SISO-ADAPTIVE-OFDM

- Hệ 3: MIMO 2x2-SECTOR-OFDM
- Hệ 4: MIMO 2x2-ADAPTIVE-OFDM
- Kết hợp tính toán và mô phỏng đã chứng minh được rằng:
 - Dung lượng của Hệ 2 cao hơn Hệ 1 khoảng 3 lần.
 - Dung năng kênh của Hệ 3&4 còn cao hơn của Hệ 1&2 vì dùng thêm kỹ thuật MIMO.
 - Hệ 2 dùng phương pháp quay búp thích nghi, đơn giản hơn so với thuật toán LMS.