

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



NGUYỄN ĐÌNH THÁI

**NGHIÊN CỨU MÃ KHÔNG GIAN - THỜI GIAN PHÂN TÁN
CHO HỆ THỐNG VÔ TUYẾN CHUYỂN TIẾP HỢP TÁC**

Chuyên ngành: KỸ THUẬT VIỄN THÔNG
Mã số: 8.52.02.08

TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - NĂM 2020

Luận văn được hoàn thành tại:

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

Người hướng dẫn khoa học: **PGS.TS. VŨ VĂN SAN**

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Luận văn sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận văn thạc sĩ tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Vào lúc: ... giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận văn tại:

- Thư viện của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

LỜI NÓI ĐẦU

Ngày nay cùng với sự phát triển của công nghệ điện tử viễn thông và công nghệ thông tin, tốc độ phát triển của các mạng di động cũng như nhu cầu của người dùng về các dịch vụ vô tuyến tăng rất nhanh. Tuy nhiên, chất lượng của các kênh truyền thông vô tuyến thường có tính chất không ổn định, biến đổi ngẫu nhiên theo không gian và thời gian. Trong các nguyên nhân tác động đến phẩm chất kênh truyền vô tuyến, có thể nói pha-đỉnh vô tuyến, đặc biệt là hiện tượng truyền sóng đa đường gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng tổng thể của hệ thống truyền thông không dây. Việc cải thiện chất lượng tín hiệu và giảm lỗi của kênh truyền vô tuyến dưới sự ảnh hưởng của pha-đỉnh là việc vô cùng khó khăn; kèm theo đó là ảnh hưởng của nhiễu Gauss (AWGN) đến chất lượng tín hiệu. Đồng thời, chúng ta cũng không thể sử dụng công suất phát cao hơn hoặc mở rộng băng thông vì điều đó đi ngược lại với yêu cầu của hệ thống thế hệ tiếp theo.

Phương thức truyền dẫn đa đầu vào đa đầu ra (MIMO: Multiple-Input Multiple-Output) là một giải pháp hiệu quả hạn chế những tác động tiêu cực của hiện tượng pha-đỉnh đa đường và khai thác hiệu quả đặc tính không tương quan của các kênh truyền vô tuyến trong môi trường pha-đỉnh giàu tán xạ, nâng cao chất lượng truyền tin. Khái niệm mã không gian-thời gian phân tán DSTC đầu tiên được Y. Jindi và H. Jafarkhani áp dụng ý tưởng mã không gian-thời gian (Space-Time Code: STC) trong hệ thống MIMO điểm-điểm lên mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác, giúp cho các thiết bị đơn ăng-ten vẫn có thể đạt được tăng ích phân tập không gian tương tự như hệ thống đa ăng-ten.

Luận văn nghiên cứu lý thuyết mã khối không gian-thời gian, mã khối không gian - thời gian phân tán và mã khối không gian-thời gian phân tán trực giao (O-DSTC) trong mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác nhằm nâng cao phẩm chất, độ tin cậy của phương thức trình truyền tin vô tuyến.

Nội dung luận văn “*Nghiên cứu mã không gian - thời gian phân tán cho hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác*” gồm có 3 chương:

Chương 1: Tổng quan về truyền thông vô tuyến chuyển tiếp hợp tác

Chương 2: Mã không gian thời gian phân tán cho hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác

Chương 3: Đánh giá hiệu năng mã không gian-thời gian phân tán trực giao

CHƯƠNG I

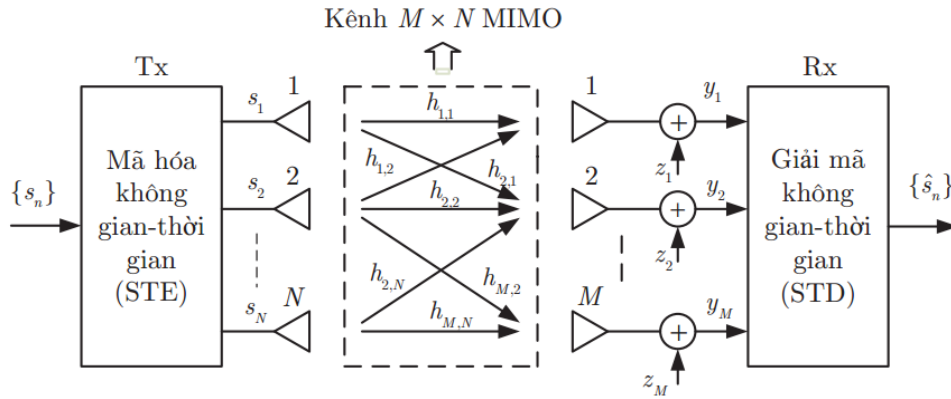
TỔNG QUAN VỀ TRUYỀN THÔNG VÔ TUYẾN

CHUYỂN TIẾP HỢP TÁC

1.1 Hệ thống truyền dẫn đa đầu vào đa đầu ra MIMO

1.1.1 Hệ thống truyền dẫn MIMO điểm-điểm

Trong hệ thống truyền thông không dây, giới hạn của hiệu năng hệ thống luôn nằm ở lớp vật lý, do dung lượng có thể truyền bị giới hạn bởi độ khả dụng của phổ tần số, định luật truyền sóng vô tuyến và lý thuyết thông tin. Ba phương pháp cơ bản để tăng hiệu năng của mạng vô tuyến đó là: tăng mật độ triển khai các điểm truy cập (tức là tăng hệ số sử dụng lại tần số); bổ sung thêm băng tần hoặc áp dụng kỹ thuật tăng hiệu suất sử dụng phổ [2]. Do việc triển khai thêm các điểm truy cập cũng như cấp phát dải tần mới là tốn kém và không dễ dàng, nên nhu cầu tối đa hóa hiệu suất phổ trên một băng tần cho trước là điều tất yếu. Kỹ thuật MIMO (nhiều đầu vào nhiều đầu ra) là phương pháp khả thi nhất để cải thiện hiệu suất phổ bằng cách sử dụng chiều không gian.



Hình 1.1: Mô hình hệ thống MIMO điểm-điểm

1.1.2 Dung lượng kênh truyền MIMO

Dung lượng kênh truyền (channel capacity) được định nghĩa là tốc độ có thể truyền dẫn tối đa với một xác suất lỗi tương đối nhỏ nào đó. Dung lượng của một kênh truyền chịu ảnh hưởng của tạp âm nhiễu cộng trắng Gauss theo định lý Shannon được tính như sau:

$$C_{\text{SISO}} = W \log_2(1 + \rho |h|^2) \text{ [bits/s]}$$

trong đó W là băng tần của kênh truyền tính bằng Hz và $\rho |h|^2$ chính là tỉ số tín hiệu trên tạp âm (SNR) tại đầu vào máy thu. Từ các công thức trên chúng ta thấy rằng với một kênh vô

tuyến có độ rộng băng tần nhất định không sử dụng phân tập không gian (SISO: Single Input Single Output) thì dung lượng kênh truyền tỉ lệ với SNR ở đầu vào máy thu theo luật logarith. Vì vậy, muốn tăng dung lượng kênh truyền thì chỉ có cách tăng công suất phát. Tuy nhiên, do mối quan hệ logarith nên dung lượng kênh truyền SISO tăng rất chậm [1].

1.1.3 Các phương pháp truyền dẫn MIMO

Các phương pháp truyền dẫn này có thể phân loại thành hai nhóm sau:

- Ghép kênh phân chia theo không gian (SDM: Spatial Division Multiplexing): phương pháp này tập trung vào việc gia tăng tốc độ truyền dẫn bằng cách truyền đồng thời một loạt các luồng tín hiệu độc lập qua các ăng-ten phát và sử dụng các máy thu có độ phức tạp thấp để duy trì tỉ số lỗi bit cho phép. Phương pháp này cho phép thu được độ tăng ích ghép kênh (multiplexing gain) lớn.

- Mã không gian-thời gian (STC: Space-Time Codes): khác với phương pháp ghép kênh theo không gian, mã không gian-thời gian kết hợp việc mã hóa giữa các luồng tín hiệu để tối đa hóa độ tăng ích phân tập (diversity gain) nhằm giảm thiểu tỉ số lỗi bit (BER).

1.2. Hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác

1.2.1 Khái quát chung

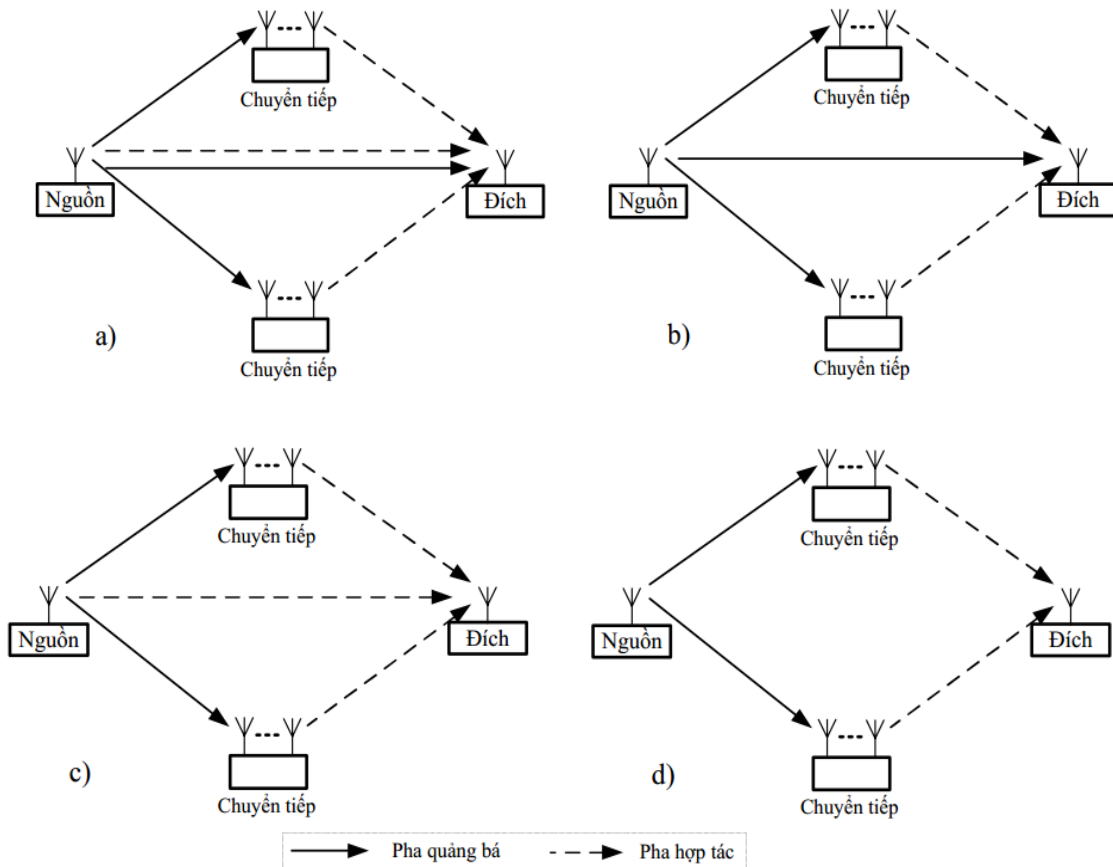
Phương thức truyền dẫn vô tuyến chuyển tiếp hợp tác dựa trên nguyên tắc của chuyển tiếp vô tuyến, trong đó các thiết bị đầu cuối đơn ăng-ten nhờ sự trợ giúp chuyển tiếp tín hiệu của các nút (trạm) trung gian vẫn có thể nhận được những lợi ích tương tự như hệ thống MIMO điểm-điểm mà không gặp phải các hạn chế như các thiết bị đa ăng-ten. Phương thức truyền dẫn này thông qua sự hỗ trợ và cộng tác của các nút trung gian tạo nên mạng các ăng-ten ảo cho phép hệ thống nhận được tăng ích ghép kênh, tăng ích phân tập hay tăng ích mạng và được gọi là truyền thông hợp tác (cooperative communication) hay vô tuyến chuyển tiếp hợp tác (CRN: Cooperative Relay Network) [2].

Truyền thông hợp tác có khả năng tăng dung lượng kênh truyền hoặc thông lượng truyền dẫn, mở rộng vùng phủ sóng, nâng cao phẩm chất hệ thống, giảm công suất phát trong khi vẫn đảm bảo vùng phủ sóng, giảm kích thước và giá thành thiết bị cũng như việc triển khai hệ thống mạng.

1.2.2 Mô hình hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác

Không giống như kỹ thuật truyền dẫn MIMO điểm-điểm truyền thống, truyền thông hợp tác cho phép các trạm (nút) trung gian trong môi trường truyền sóng vô tuyến có thể chia

sẽ ăng-ten của mình cho các nút khác trong mạng sử dụng. Nhờ vậy, có thể cải thiện tăng ích phân tập hợp tác, tăng dung lượng truyền dẫn, mở rộng vùng phủ sóng, nâng cao phẩm chất hệ thống, giảm kích thước và giá thành triển khai mạng. Trong trường hợp tổng quát, quá trình truyền dẫn tín hiệu từ nút nguồn đến nút đích trong hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác MIMO một chiều, hai chặng diễn ra trong hai pha truyền dẫn: i) pha quảng bá, nút nguồn phát tín hiệu một cách quảng bá, nút chuyển tiếp, nút đích hoặc cả hai nhận tín hiệu; ii) pha hợp tác, nút nguồn hoặc nút chuyển tiếp hoặc cả hai phát tín hiệu đến nút đích [2].



Hình 1.3: Một số kịch bản quá trình truyền dẫn từ nút nguồn đến nút đích trong truyền thông hợp tác MIMO

1.2.3 Các giao thức xử lý tín hiệu tại nút chuyển tiếp

1.2.4 Những thách thức đối với truyền thông vô tuyến hợp tác

a) Hiện tượng không đồng bộ

b) Yêu cầu nhiều chuỗi RF tại các nút chuyển tiếp

c) Sử dụng phương thức chuyển tiếp FD hay HD?

d) Lựa chọn đối tác, tăng thời gian trễ tổng thể, lập lịch phức tạp và tăng trường mào đầu

1.3. Kết luận chương 1

Chương này đã trình bày các khái niệm cơ bản về hệ thống MIMO điểm - điểm, dung lượng kênh truyền MIMO và các phương pháp truyền dẫn MIMO. Phương thức truyền dẫn MIMO điểm-điểm bị ảnh hưởng lớn bởi hiện tượng bóng dâm, cự ly truyền dẫn lớn. Sử dụng phương thức truyền thông vô tuyến chuyển tiếp hợp tác được trình bày sẽ giải quyết những nhược điểm trên của các giải pháp truyền thông vô tuyến điểm- điểm.

CHƯƠNG II

MÃ KHÔNG GIAN THỜI GIAN PHÂN TÁN CHO HỆ THỐNG VÔ TUYẾN CHUYỂN TIẾP HỢP TÁC

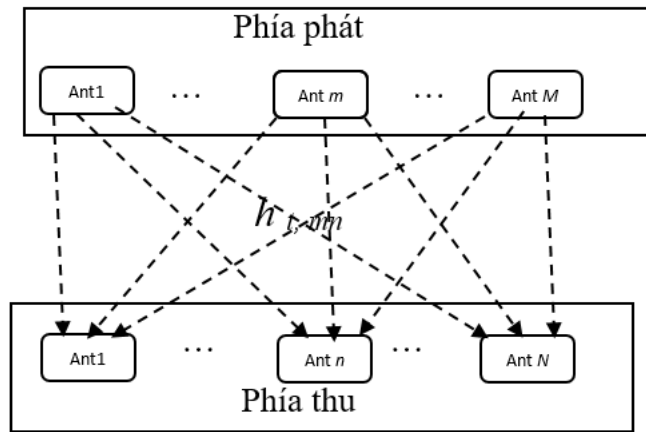
2.1. Khái quát chung

Ý tưởng về mã không gian-thời gian phân tán (DSTC) bắt nguồn từ mã khối không gian -thời gian (STBC), có nghĩa nếu mã STBC sử dụng cho hệ thống MIMO điểm - điểm cho phép hệ thống nhận được tăng ích phân tập không gian thì một câu hỏi đặt ra “Liệu sử dụng mã STBC nhờ sự hợp tác của các nút chuyển tiếp trong hệ thống vô tuyến chuyển tiếp có giúp hệ thống nhận được tăng ích phân tập để cải thiện phẩm chất hay không?”.

Chương này trình bày các vấn đề cơ bản của mã STBC, bậc phân tập của một hệ thống MIMO điểm - điểm khi sử dụng mã STBC và ứng dụng của mã STBC trong hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác.

2.1.1. Mô hình hệ thống đa ăng-ten

Một hệ thống đa ăng-ten có hai người dùng. Một là máy phát và một là máy thu. Máy phát có M ăng ten phát và máy thu có N ăng ten thu, như minh họa trong Hình 2.1. Có một kênh không dây giữa mỗi cặp ăng-ten phát và thu. Với mô hình kênh pha-đỉnh Rayleigh, tại khe thời gian thứ t , kênh giữa ăng ten phát thứ m và ăng ten thu thứ n có thể được biểu diễn bằng hệ số lan truyền, $h_{t,mn}$.



Hình 2.1 Hệ thống đa ăng-ten

2.1.2. Mã hóa khối không gian-thời gian

Mã hóa khối không gian-thời gian (STBC: Space-Time Block Coding) là kỹ thuật mã hóa được sử dụng cho trường hợp máy phát được trang bị nhiều ăng-ten phát. Sự mã hóa được thực hiện trong cả miền không gian và miền thời gian nhằm tạo ra sự tương quan giữa các tín

hiệu được phát đi từ các ăng-ten khác nhau và tại những thời điểm khác nhau. Nhờ đó ta có thể cực đại hóa hệ số tăng ích phân tập (diversity gain) và hệ số tăng ích mã hóa (coding gain).

Mã hóa không gian -thời gian là một sơ đồ truyền dẫn cho hệ thống nhiều ăng-ten để đạt được sự phân tập không gian do nhiều ăng-ten cung cấp. Để sử dụng mã hóa không-thời gian, chúng ta giả sử mô hình kênh pha đình khối với khoảng kết hợp T . Khi xem xét kênh truyền trong một khoảng thời gian liên tục, ma trận kênh H_t được xem là như nhau với mọi t .

2.1.3. Bậc phân tập của mã khối không gian-thời gian

Chúng ta sẽ xem xét các kết quả về xác suất lỗi và thứ tự phân tập của mã hóa không-thời gian. Các kênh được giả định theo phân phối Gauss đối xứng vòng với phương sai trung bình bằng 0 và đơn vị phương sai. Do đó, độ lớn của kênh tuân theo phân phối Rayleigh.

Đối với hệ thống đa ăng-ten với M ăng-ten phát và N ăng-ten thu, với mã hóa không-thời gian, xác suất lỗi theo cặp (PEP: pairwise error probability) của một từ mã không-thời gian S_k với một từ mã S_l khác, được tính trung bình trên phân phối kênh, có giới hạn trên như sau:

$$\mathbb{P}(S_k \rightarrow S_l) \leq \det^{-N} \left[\mathbf{I}_M + \frac{PT}{4M} \mathbf{M}_{kl} \right]$$

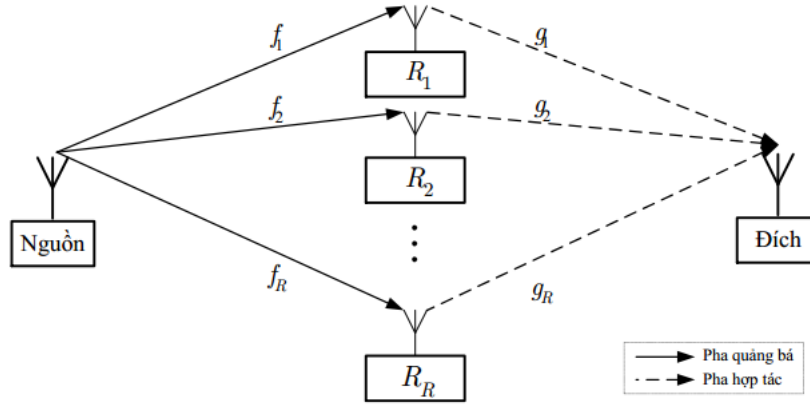
Với $\mathbf{M}_{kl} \triangleq (\mathbf{S}_k - \mathbf{S}_l)^* (\mathbf{S}_k - \mathbf{S}_l)$. Từ công thức trên có thể thấy rằng để giảm thiểu giới hạn trên của PEP, M_{kl} phải là ma trận xếp hạng đầy đủ. Tức là, tập các mã hóa \mathcal{S} phải được thiết kế sao cho $S_k - S_l$ là ma trận hạng đầy đủ cho mọi $S_k, S_l \in \mathcal{S}$ và $S_k \neq S_l$. Một mã như vậy được cho là phân tập toàn phần.

2.2. Hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác sử dụng mã DSTC

2.2.1 Hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác nút chuyển tiếp đơn ăng-ten sử dụng mã DSTC

Quá trình truyền dẫn tín hiệu từ nguồn đến đích trong hệ thống DSTC diễn ra trong hai pha truyền dẫn. Trong pha thứ nhất, nút nguồn (máy phát) phát quảng bá thông tin đến tất cả các nút chuyển tiếp. Trong pha thứ hai, các nút chuyển tiếp hợp tác với nhau để phát tín hiệu thu được đến nút đích. Các nút chuyển tiếp hợp tác với nhau chuyển tiếp tín hiệu đã nhận được từ nút nguồn đến nút đích sao cho tín hiệu thu có cấu trúc dạng từ mã không gian-thời gian nhằm nhận được phân tập hợp tác. Điểm khác biệt so với hệ thống MIMO điểm-điểm thông thường, trong hệ thống vô tuyến hợp tác từ mã không gian-thời gian được phát bởi các ăng-ten phân tán trên các thiết bị người dùng khác nhau, do đó cấu trúc mã này được gọi là mã không gian-thời gian phân tán DSTC [2].

Xét hệ thống DSTC tổng quát như Hình 2.2 bao gồm một nút nguồn, một nút đích và R nút chuyển tiếp, mỗi nút đều được trang bị một ăng-ten dùng cho cả thu và phát. Giả thiết không tồn tại kênh truyền trực tiếp từ nút nguồn đến nút đích do giới hạn về công suất phát và khoảng cách truyền dẫn lớn. Ký hiệu $f_i, i = \overline{1, R}$ là hệ số pha-đỉnh từ nút nguồn đến nút chuyển tiếp thứ i và $g_i, i = \overline{1, R}$ là hệ số pha-đỉnh từ nút chuyển tiếp thứ i đến nút đích. Nút đích giả thiết có đầy đủ CSI từ nút nguồn đến các nút chuyển tiếp và từ các nút chuyển tiếp đến nó, trong khi nút chuyển tiếp không có bất kỳ CSI nào. Tập âm tại các nút chuyển tiếp và nút đích được mô hình hóa bởi các biến ngẫu nhiên Gauss phức với phân bố chuẩn $\mathcal{CN}(0, 1)$.

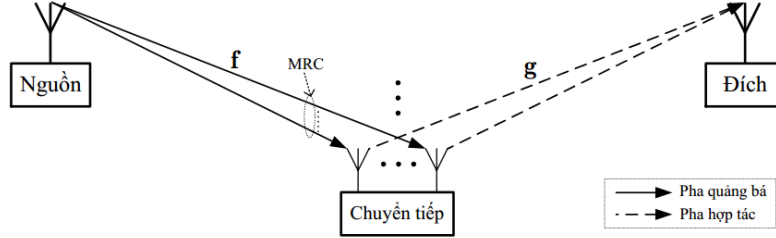


Hình 2.2: Mô hình hệ thống truyền dẫn vô tuyến chuyển tiếp hợp tác sử dụng mã không gian-thời gian phân tán, nút chuyển tiếp đơn ăng – ten [2]

2.2.2. Hệ thống vô tuyến chuyển tiếp đa ăng-ten sử dụng mã DSTC

Tăng ích phân tập hợp tác của hệ thống DSTC sẽ được cải thiện nếu các nút chuyển tiếp được trang bị đa ăng-ten so với hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác đã được nghiên cứu trong mục 2.1. Khi hệ thống vô tuyến chuyển tiếp với nút chuyển tiếp được trang bị đa ăng-ten có hai phương pháp xử lý tín hiệu trước khi chuyển tiếp tới nút đích. Phương pháp thứ nhất, tín hiệu phát đi từ mỗi ăng-ten của nút chuyển tiếp chỉ là kết hợp của tín hiệu thu được tại ăng-ten đó và liên hợp phức của nó. Phương pháp xử lý tín hiệu này chưa tối ưu do mỗi nút chuyển tiếp đều thu được tín hiệu từ nhiều ăng-ten của chính mình. Vì vậy, trong phương pháp thứ hai, tín hiệu phát đi tại ăng-ten của mỗi nút chuyển tiếp được thiết kế là kết hợp tỉ lệ cực đại (MRC: Maximal Ratio Combining) của các tín hiệu thu được tại tất cả các ăng-ten của nút chuyển tiếp đó để nhận được phân tập thu lớn nhất. Để đơn giản, trước tiên xem xét hệ thống vô tuyến chuyển tiếp, nút chuyển tiếp đa ăng-ten sử dụng mã DSTC (MIMO-DSTC), nút nguồn và nút đích đơn ăng-ten minh họa như Hình 2.3 (gọi tắt là sơ đồ MRC-

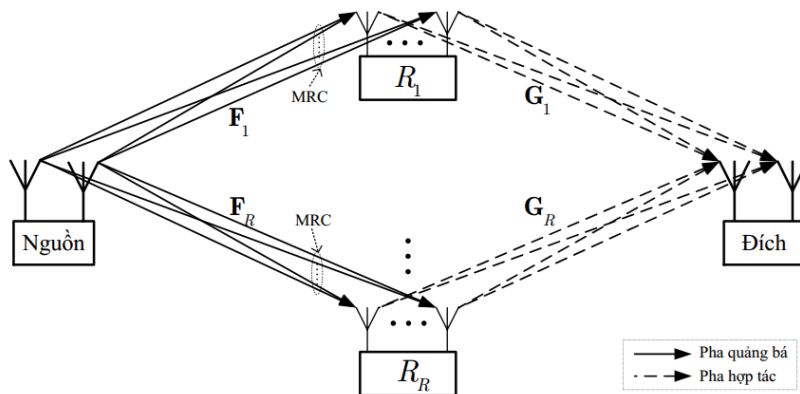
DSTC AF). Giả thiết nút chuyển tiếp có R ăng-ten dùng cho cả thu và phát theo chế độ HD. Kí hiệu \mathbf{f} là véc-tơ hệ số pha-đỉnh kích thước $1 \times R$ từ nút nguồn đến nút chuyển tiếp và \mathbf{g} là véc-tơ hệ số pha-đỉnh kích thước $R \times 1$ từ nút chuyển tiếp đến nút đích.



Hình 2.3: Hệ thống vô tuyến chuyển tiếp MRC-DSTC sử dụng giao thức AF[3]

2.2.3. Hệ thống tổng quát khi nút nguồn, nút chuyển tiếp và nút đích đều đa ăng-ten sử dụng mã DSTC

Chúng ta sẽ xem xét hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác MIMO-DSTC tổng quát gồm nút nguồn, nút đích và các nút chuyển tiếp đều được trang bị đa ăng-ten như minh họa trong Hình 2.4. Giả thiết nút nguồn được trang bị N_S ăng-ten, nút đích có N_D và nút chuyển tiếp thứ i có R_i ăng-ten. Tổng số ăng-ten tại các nút chuyển tiếp là $\mathbf{R} = \sum_{i=1}^R R_i$. Kí hiệu \mathbf{F}_i là ma trận hệ số pha-đỉnh kích thước $N_S \times R_i$ từ nút nguồn đến nút chuyển tiếp thứ i với \mathbf{f}_{ij} là véc-tơ hệ số pha-đỉnh từ nút nguồn đến ăng-ten thứ j nút chuyển tiếp thứ i và \mathbf{G}_i là ma trận hệ số pha-đỉnh kích thước $R_i \times N_D$ từ nút chuyển tiếp thứ i đến nút đích với \mathbf{g}_{ij} là hệ số pha-đỉnh từ ăng-ten thứ j nút chuyển tiếp thứ i đến nút đích.



Hình 2.4: Hệ thống vô tuyến chuyển tiếp MIMO- DSTC tổng quát [2]

2.3. Mã không gian-thời gian phân tán trực giao (O-DSTC)

2.3.1 Khái quát chung

Mã hóa không gian-thời gian phân tán được đề xuất để đạt được sự phân tập toàn phần trong mạng chuyển tiếp không dây nhưng lại không có thông tin kênh tại các nút chuyển tiếp. Đồng thời khi tổng công suất phát tiêu thụ trong toàn mạng, rất cao độ lợi mã hóa của mã không gian-thời gian phân tán tương ứng trong cài đặt mạng đa ăng-ten là bảo đảm. Tuy nhiên, đối với công suất phát chung, DSTC tốt phải “không có quy mô” theo nghĩa là nó vẫn có độ lợi mã hóa lớn khi một số nút chuyển tiếp không hoạt động hoặc một số cột của ma trận mã bị loại bỏ. Như vậy khi áp dụng các mã không gian - thời gian trực giao và bán trực giao, các ăng ten của các nút chuyển tiếp hoạt động như các ăng ten phát và tạo ra mã không gian - thời gian đưa đến máy thu. Mã không gian- thời gian phân tán được lựa chọn vì những lý do sau: chúng đạt được sự phân tập toàn phần và có nhiều thiết kế mã tối ưu, tốc độ giải mã rất nhanh, các ma trận của từ mã là tuyến tính và đặc biệt là tính “không có quy mô” - Việc xóa một số cột của từ mã trực giao không ảnh hưởng đến tính trực giao của các cột [5].

2.3.2 Các thiết kế của mã không gian-thời gian phân tán trực giao

a) *Thiết kế mã trực giao thực*

b) *Thiết kế trực giao phức*

c) *Thiết kế cận trực giao*

2.4. Kết luận chương 2

Chương này đã trình bày khái quát về mã không gian-thời gian, mã không gian- thời gian phân tán và các mô hình hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác sử dụng mã không gian thời gian phân tán. Đồng thời giới thiệu về không gian-thời gian phân tán trực giao, các thiết kế của mã không gian phân tán trực giao. Có thể thấy rằng mã không gian- thời gian phân tán trực giao có thể cho phép hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác nhận được tăng ích phân tập hợp tác tương tự như mã STBC đã được sử dụng cho hệ thống MIMO điểm - điểm. Phần đánh giá hiệu năng của hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác khi sử dụng mã không gian-thời gian phân tán trực giao sẽ được trình bày ở chương III.

CHƯƠNG III

ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MÃ KHÔNG GIAN - THỜI GIAN PHÂN TÁN TRỰC GIAO

3.1. Mô hình hệ thống

Chương này sẽ tiến hành đánh giá hiệu năng hệ thống DSTC như trình bày tại tiểu mục 2.2.1 và minh họa ở Hình 2.2 bao gồm một nút nguồn, một nút đích và R nút chuyển tiếp, mỗi nút đều được trang bị một ăng-ten dùng cho cả thu và phát. Giả thiết không tồn tại kênh truyền trực tiếp từ nút nguồn đến nút đích do giới hạn về công suất phát và khoảng cách truyền dẫn lớn. Ký hiệu $f_i, i = \overline{1, R}$ là hệ số pha-đỉnh từ nút nguồn đến nút chuyển tiếp thứ i và $g_i, i = \overline{1, R}$ là hệ số pha-đỉnh từ nút chuyển tiếp thứ i đến nút đích. Nút đích giả thiết có đầy đủ CSI từ nút nguồn đến các nút chuyển tiếp và từ các nút chuyển tiếp đến nó, trong khi nút chuyển tiếp không có bất kỳ CSI nào. Tạp âm tại các nút chuyển tiếp và nút đích được mô hình hóa bởi các biến ngẫu nhiên Gauss phức với phân bố chuẩn $\mathcal{CN}(0,1)$.

Nhắc lại rằng trong mô hình vô tuyến chuyển tiếp hợp tác với nút chuyển tiếp đơn ăng-ten sử dụng giao thức AF được sử dụng để khảo sát, sau hai pha truyền dẫn tín hiệu thu được tại nút đích được biểu diễn tổng quát như trong công thức (2.17). Phương pháp tách sóng ML được sử dụng tại nút đích được cho như công thức (2.23).

Giá trị của các phần tử trong các ma trận $\mathbf{A}_i, \mathbf{B}_i$ sẽ quyết định mã DSTC là mã DSTC trực giao (O-DSTC) hay mã DSTC cận trực giao (QO-DSTC). Do giới hạn khuôn khổ của nội dung luận văn, chương này sẽ chỉ thực hiện khảo sát hiệu năng hệ thống khi sử dụng các mã O-DSTC với số nút chuyển tiếp là 2 và 4 ($R = 2, 4$).

3.1.1. Mã O-DSTC khi hệ thống có hai nút chuyển tiếp

Trong trường hợp hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác chỉ có hai nút chuyển tiếp đơn ăng-ten, mã O-DSTC kích thước 2×2 có dạng được biểu diễn như sau:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \end{bmatrix}$$

khi đó các ma trận phân tán có dạng như sau

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \mathbf{B}_1 = \mathbf{0}_2; \mathbf{A}_2 = \mathbf{0}_2; \mathbf{B}_2 = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

*** Pha quảng bá**

Các symbol tín hiệu điều chế được mã hóa thành các véc tơ symbol thông tin $\mathbf{s} = [s_1 \ s_2]^T$ với chuẩn hóa công suất $\mathbb{E}[\mathbf{s}^H \mathbf{s}] = 1$ từ nút nguồn đến các nút chuyển tiếp. Khi đó nút nguồn phát $\sqrt{P_1} \mathbf{s}$, trong đó P_1 là công suất phát trung bình của nút nguồn trong một khe thời gian truyền dẫn (một chu kỳ symbol).

*** Pha hợp tác**

Các nút chuyển tiếp hợp tác với nhau phát các véc-tơ phát, tín hiệu thu được tại nút đích có dạng như sau:

$$\mathbf{y} = [\mathbf{t}_1 \ \mathbf{t}_2] \mathbf{g} + \mathbf{n}_d$$

3.1.2. Mã O-DSTC khi hệ thống có bốn nút chuyển tiếp

Chúng ta hãy xem xét việc sử dụng OD sau đây có tỷ lệ ký hiệu là 3/4:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & 0 \\ -s_2^* & s_1^* & 0 & s_3 \\ s_3^* & 0 & -s_1^* & s_2 \\ 0 & s_3^* & -s_2^* & -s_1 \end{bmatrix}$$

Nó có thể được sử dụng trong các mạng với $T_1 = 3$, $T_2 = 4$ và $R = 4$. Các ma trận được sử dụng ở các nút chuyển tiếp là:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad A_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad B_4 = 0_{43}$$

* Pha quảng bá

Trong trường hợp hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác sử dụng 4 nút chuyển tiếp đơn ăng-ten $R = 4$ thì các symbol tín hiệu điều chế được mã hóa thành các véc tơ symbol thông tin $\mathbf{s} = [s_1 \ s_2 \ s_3]^T$, có nghĩa pha quảng bá sẽ diễn ra trong ba khe thời gian ($T_1 = 3$) với chuẩn hóa công suất $\mathbb{E}[\mathbf{s}^H \mathbf{s}] = 1$ từ nút nguồn đến các nút chuyển tiếp. Khi đó nút nguồn phát $\sqrt{P_1 T} \mathbf{s}$, trong đó P_1 là công suất phát trung bình của nút nguồn trong một khe thời gian truyền dẫn (một chu kỳ symbol).

* Pha hợp tác

Các nút chuyển tiếp hợp tác với nhau phát các véc-tơ phát, tín hiệu thu được tại nút đích có dạng như sau:

$$\mathbf{y} = [\mathbf{t}_1 \ \mathbf{t}_2 \ \mathbf{t}_3 \ \mathbf{t}_4] \mathbf{g} + \mathbf{n}_d$$

$$\mathbf{y} = \sqrt{\frac{P_1 P_2 T}{P_1 + 1}} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & 0 \\ -s_2^* & s_1^* & 0 & s_3 \\ s_3^* & 0 & -s_1^* & s_2 \\ 0 & s_3^* & -s_2^* & -s_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 g_1 \\ f_2 g_2 \\ f_3 g_3 \\ f_4 g_4 \end{bmatrix} + \sqrt{\frac{P_2}{P_1 + 1}} \begin{bmatrix} n_{1,1} & n_{2,2} & n_{3,3} & 0 \\ -n_{1,2}^* & n_{2,1}^* & 0 & n_{4,3} \\ n_{1,3}^* & 0 & -n_{3,1}^* & n_{4,2} \\ 0 & n_{2,3}^* & -n_{3,2}^* & -n_{4,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \end{bmatrix} + \mathbf{n}_d$$

3.2. Kịch bản, tham số mô phỏng đánh giá hiệu năng hệ thống

Kịch bản mô phỏng đánh giá hiệu năng của hệ thống sử dụng hai tín hiệu điều chế là BPSK, QPSK và tiến hành đánh giá mức độ tăng ích phân tập đạt được của hệ thống khi sử dụng hai hoặc bốn nút chuyển tiếp đơn ăng-ten.

Công suất phát toàn mạng P cho tất cả các kịch bản mô phỏng đều được chuẩn hóa như nhau trong cả hai cấu hình hệ thống với hai hay bốn nút chuyển tiếp. Như đã trình bày trong chương 2 để tối ưu hóa tỉ số SNR thì phân bổ công suất tối ưu cho nút nguồn, các nút chuyển tiếp phải được thực hiện như biểu diễn theo công thức (2.29). Lưu ý rằng R là tổng số nút chuyển tiếp trong mỗi hệ thống.

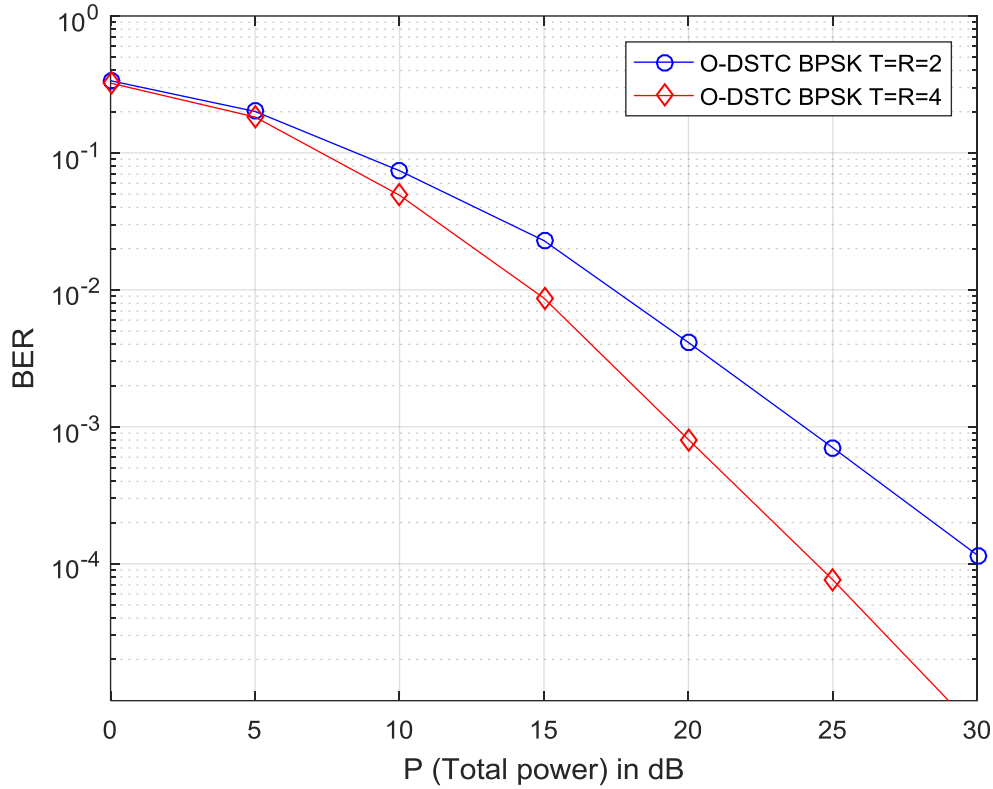
Trong trường hợp hệ thống có hai nút chuyển tiếp mã O-DSTC như biểu diễn trong công thức **Error! Reference source not found.** và khi hệ thống có bốn nút chuyển tiếp mã O-DSTC như biểu diễn trong công thức **Error! Reference source not found.** [5].

Pha đỉnh được giả sử là pha đỉnh Rayleigh phẳng, chậm với khoảng thời gian đồng bộ τ_s , trong đó τ_s là chu kỳ symbol. Các hệ số pha đỉnh được mô hình hóa bởi các biến ngẫu nhiên phức phân bố chuẩn đồng nhất độc lập với kỳ vọng 0 và phương sai đơn vị. Nút chuyển tiếp không có thông tin trạng thái kênh từ nút nguồn đến nó và cũng không biết thông tin trạng thái kênh từ nó đến nút đích g . Có nghĩa mỗi nút chuyển tiếp khi nhận được tín hiệu từ nút nguồn chỉ tiếp hành khuếch đại và chuyển tiếp hợp tác với nhau để tín hiệu thu được tại nút đích có dạng mã O-DSTC. Nút đích có đầy đủ thông tin trạng thái kênh từ nút nguồn đến các nút chuyển tiếp f và cũng biết thông tin trạng thái kênh từ các nút chuyển tiếp đến nút đích g . Tạp âm tại các nút chuyển tiếp và nút đích được giả sử là các biến ngẫu nhiên phức độc lập có phân bố đồng nhất với kỳ vọng 0 và phương sai đơn vị.

3.3. Các kết quả mô phỏng đánh giá hiệu năng hệ thống

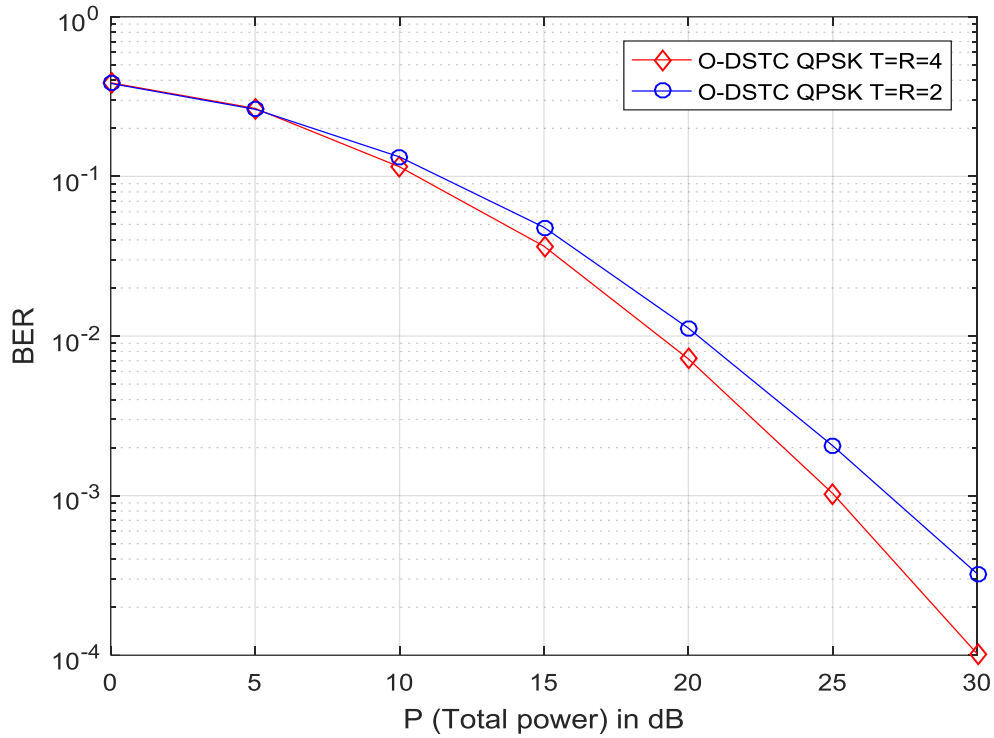
Trong phần này sẽ trình bày hiệu năng mô phỏng của các mã O-DSTC trực giao so sánh khi hệ thống có hai hoặc bốn nút chuyển tiếp. Hiệu năng đánh giá phẩm chất hệ thống được thể hiện thông qua tỷ lệ lỗi bit (BERs).

Kết quả mô phỏng được biểu diễn với trục hoành là tổng công suất phát của toàn mạng P được chuẩn hóa theo dB và trục tung biểu diễn giá trị BER của từng hệ thống. Thực hiện đánh giá hiệu năng hệ thống với hai loại tín hiệu điều chế cơ bản là điều chế khóa dịch pha nhị phân (BPSK) và điều chế khóa dịch pha bốn trạng thái (QPSK). Để đánh giá bậc phân tập hợp tác nhận được của mỗi hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác khi thay đổi số nút chuyển tiếp, luận văn sẽ khảo sát khi hệ thống dùng hai hoặc 4 nút chuyển tiếp.



Hình 3.1: Hiệu năng của mạng chuyển tiếp với tín hiệu BPSK

Hình 3.1 minh họa so sánh hiệu năng giữa mạng vô tuyến chuyển tiếp khi sử dụng 2 và 4 nút chuyển tiếp đơn ăng-ten khi sử dụng tín hiệu điều chế BPSK. Có thể thấy rằng trong phẩm chất của mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác với 4 nút chuyển tiếp (kí hiệu là O-DSTC $T = R = 4$) luôn tốt hơn so với mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác sử dụng 2 nút chuyển tiếp (kí hiệu là O-DSTC $T = R = 2$) trong toàn bộ dải công suất khảo sát. Điều này có được là do tăng ích phân tập hợp tác của mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 4$ nhận được cao hơn so với mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 2$. Ví dụ để đạt được phẩm chất tại $BER=10^{-3}$ công suất phát toàn mạng của mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 4$ chỉ cần là 19 dB trong khi mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 2$ yêu cầu là 24 dB. Có nghĩa, mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 4$ giảm yêu cầu mức công suất phát toàn mạng là 5 dB so với mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 2$. Tuy nhiên mức giảm yêu cầu công suất phát này sẽ là không đáng kể ở vùng tổng mức công suất phát toàn mạng là nhỏ (vùng công suất dưới 5 dB).



Hình 3.2: Hiệu năng của mạng chuyển tiếp với tín hiệu QPSK

Hình 3.2 minh họa so sánh hiệu năng giữa mạng vô tuyến chuyển tiếp khi sử dụng 2 và 4 nút chuyển tiếp đơn ăng-ten khi sử dụng tín hiệu điều chế QPSK. Những kết luận về ưu điểm của mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 4$ so với mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 2$ vẫn đúng khi ta nâng mức điều chế từ 2 (sử dụng tín hiệu điều chế BPSK) lên 4 (sử dụng tín hiệu điều chế QPSK). Nhưng mức độ chênh lệch công suất tại các giá trị BER tương ứng sẽ bị giảm. Ví dụ, cũng tại giá trị $BER=10^{-3}$ mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 4$ giảm yêu cầu mức công suất phát toàn mạng chỉ là 2 dB so với mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 2$. Điều này không có nghĩa tăng ích phân tập hợp tác của mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 4$ hay mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 2$ giảm đi. Lý do là khi ta tăng mức điều chế của chòm sao tín hiệu sử dụng cho hệ thống thì sẽ làm giảm khoảng cách Euclid giữa các điểm liền kề trong chòm sao tín hiệu. Vì vậy phẩm chất của toàn bộ hệ thống sẽ bị suy giảm theo mặc dù tăng ích phân tập hợp tác của các mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác không giảm.

Mã O-DSTC sử dụng trong cả mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 4$ và mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 2$ đều là các mã phân tập toàn phần. Tuy nhiên, tỉ lệ mã của mã O-DSTC $T = R = 2$ là một trong khi mã O-DSTC $T = R = 4$ là $\frac{3}{4}$. Có nghĩa, mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 4$ đạt được tăng ích phân tập hợp tác tốt hơn so với mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 2$. Ngược lại, hiệu

suất truyền dẫn của mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 2$ tốt hơn so với mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 4$ mặc dù cả mã O-DSTC $T = R = 4$ và O-DSTC $T = R = 2$ đều có độ phức tạp giải mã là đơn symbol.

3.4. Kết luận chương 3

Tóm lại, chương này đã đánh giá hiệu năng của các thiết kế mã DSTC trực giao (O-DSTC) với hai hoặc bốn nút chuyển tiếp trong mạng vô tuyến chuyển tiếp. Đồng thời xây dựng kịch bản mô phỏng và đánh giá hiệu năng hệ thống sử dụng hai tín hiệu điều chế khóa dịch pha nhị phân (BPSK) và khóa dịch pha bốn trạng thái (QPSK). Có thể thấy rằng mã O-DSTC $T = R = 4$ đạt được tăng tích phân tập hợp tác cao hơn so với mã O-DSTC $T = R = 2$. Tuy nhiên, hiệu suất truyền dẫn của mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 2$ tốt hơn so với mạng vô tuyến chuyển tiếp hợp tác O-DSTC $T = R = 4$.

KẾT LUẬN

Nội dung luận văn đã đạt được mục tiêu đề ra là nghiên cứu lý thuyết mã không gian, thời gian phân tán và mã không gian-thời gian phân tán trực giao (O-DSTC) và đánh giá hiệu năng mã không gian-thời gian phân tán trực giao cho hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác. Các kiến thức nền tảng và các kết quả nghiên cứu đã được trình bày trong luận văn với bố cục ba chương như sau: (1) Tổng quan về truyền thông vô tuyến hợp tác; (2) Mã không gian thời gian phân tán cho hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác; (3) Đánh giá hiệu năng mã không gian thời gian phân tán trực giao. Luận văn đã trình bày một cách tổng quan nhất về mã không gian-thời gian phân tán, mã không gian-thời gian phân tán trực giao. Trình bày về thiết kế và sử dụng các loại mã không gian-thời gian phân tán, đưa ra các mô hình hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác sử dụng các loại mã này.

Đồng thời, luận văn đã phân tích, đánh giá hiệu năng mã không gian-thời gian phân tán trực giao cho hệ thống vô tuyến chuyển tiếp hợp tác. Thông qua kết quả mô phỏng, luận văn cũng đã tìm hiểu, tham khảo và phân tích các kết quả mô phỏng. Từ đưa ra các nhận xét, so sánh với các loại mã đã được sử dụng trước đó để thấy được tính ưu việt, sự vượt trội của mã không gian-thời gian phân tán trực giao về hiệu năng, sự phân tập toàn phần và chất lượng tín hiệu. Từ đó thấy được tầm quan trọng của việc sử dụng loại mã này với những cải tiến ưu việt hơn nữa để phát triển hệ thống vô tuyến chuyển tiếp trong tương lai.