

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

-----

**NGUYỄN HUY QUÂN**

**NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG TÍN HIỆU TẠI ĐẦU THU  
TRONG HỆ THỐNG MIMO-LTE BẰNG KỸ THUẬT  
TIỀN MÃ HÓA**

**Chuyên ngành : KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ  
Mã số : 60.52.70**

**TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**Đà Nẵng - Năm 2013**

Công trình được hoàn thành tại  
**ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG**

-----

Người hướng dẫn khoa học: PGS. TS PHẠM VĂN TUẤN

**Phản biện 1: TS. Bùi Thị Minh Tú**

**Phản biện 2: PGS.TS. Lê Tiến Thường**

Luận văn sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm Luận văn tốt nghiệp thạc sĩ kỹ thuật họp tại Đà Nẵng vào ngày 02 tháng 06 năm 2013

Có thể tìm hiểu luận văn tại:

- Trung tâm Thông tin-Học liệu, Đại học Đà Nẵng.

## MỞ ĐẦU

### 1. Lý do chọn đề tài

Các hệ thống không dây thế hệ tiếp theo được yêu cầu có chất lượng cao hơn so với mạng di động vô tuyến hiện hành và phải cung cấp dịch vụ dữ liệu tốc độ cao. Đồng thời, các thiết bị di động cầm tay phải nhỏ và nhẹ. Hơn nữa, chúng phải hoạt động đáng tin cậy trong các loại môi trường khác nhau: đô thị, ngoại ô và nông thôn, trong nhà và ngoài trời. Nói cách khác, hệ thống thế hệ tiếp theo phải có chất lượng tốt hơn và an toàn hơn, hiệu quả về công suất, đồng thời được triển khai trong các môi trường đa dạng.

Với mục tiêu đạt hiệu quả thương mại và hiệu quả công suất đối với các thiết bị di động (MU) trong các hệ thống truyền dẫn không dây đã thúc đẩy các nghiên cứu về kỹ thuật tiền mã hóa cho truyền dẫn đường xuống của hệ thống (MIMO). Điều này có nghĩa là áp dụng một phương pháp xử lý tín hiệu phức tạp tại các trạm gốc (BS). Để thực hiện tăng cường tín hiệu tại BS trong quá trình truyền dẫn đường xuống, nhiều kỹ thuật tiền mã hóa khác nhau đã được phát triển với mục đích duy trì tính đơn giản và chi phí thấp cho thiết bị di động.

Kỹ thuật tiền mã hóa tuyến tính Correlation Rotation được đề xuất trong đồ án này là một kỹ thuật tiền mã hóa tuyến tính đơn giản được đề xuất trong hệ thống MIMO sử dụng điều chế PSK. Ý tưởng chính mà kỹ thuật này đề xuất là sử dụng kiến thức về nhiễu để tác động lên nhiễu và hưởng lợi từ nó, do đó thu được lợi ích từ năng lượng đã tồn tại trong hệ thống nhưng chưa được khai thác. Kỹ thuật tiền mã hóa Correlation Rotation hướng đến việc xoay thích nghi, chứ không phải là thực hiện giảm nhiễu về không, do đó tín hiệu của truyền dẫn nhiễu phù hợp với tín hiệu mong muốn tại mỗi anten thu. Bằng cách thực hiện như vậy, nhiễu ICI luôn luôn tích cực và tỷ số SINR gửi đến thiết bị di động MU được tăng cường mà không cần phải tăng thêm năng lượng tín hiệu cho mỗi lần phát tại trạm gốc MIMO (BS).

Từ những vấn đề nêu trên tôi chọn đề tài “**Nâng cao chất lượng tín hiệu tại đầu thu trong hệ thống MIMO-LTE bằng kỹ thuật tiền mã hóa**”.

## **2. Mục tiêu nghiên cứu**

Tìm ra các giải pháp kỹ thuật precoding hiệu quả nhằm nâng cao chất lượng tín hiệu tại đầu thu.

## **3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

- Nghiên cứu các kỹ thuật precoding khác nhau.
- Nguyên cứu kỹ thuật precoding trong truyền dẫn đường xuống của hệ thống LTE.

## **4. Phương pháp nghiên cứu**

- Phân tích các tài liệu và thông tin liên quan đến đề tài.
- Trao đổi, thảo luận với các bạn cùng nhóm nghiên cứu.
- Thực hiện tính toán mô phỏng các vấn đề liên quan và đánh giá kết quả, đề xuất, kiến nghị. Từ đó đưa ra so sánh chất lượng tín hiệu tại đầu thu đối với từng kỹ thuật tiền mã hóa khác nhau.

## **5. Bố cục đề tài**

Ngoài các phần Mở đầu, Kết luận và hướng phát triển, Tài liệu tham khảo, Phụ lục, luận văn bao gồm 3 chương sau:

Chương 1: Tổng quan.

Chương 2: Kỹ thuật tiền mã hóa trong hệ thống MIMO-LTE.

Chương 3: Mô phỏng các kỹ thuật tiền mã hóa trong truyền dẫn đường xuống LTE.

## **6. Tổng quan tài liệu nghiên cứu**

Tài liệu nghiên cứu được tham khảo là những bài báo khoa học, các luận văn thạc sỹ từ các trường đại học của các quốc gia khác trên thế giới, cùng với các trang web tìm hiểu. Luận văn chắc chắn không tránh khỏi những sai sót, rất mong nhận được sự góp ý của Hội đồng để luận văn trở thành một công trình thực sự có ích.

## CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN

### 1.1. GIỚI THIỆU CHƯƠNG

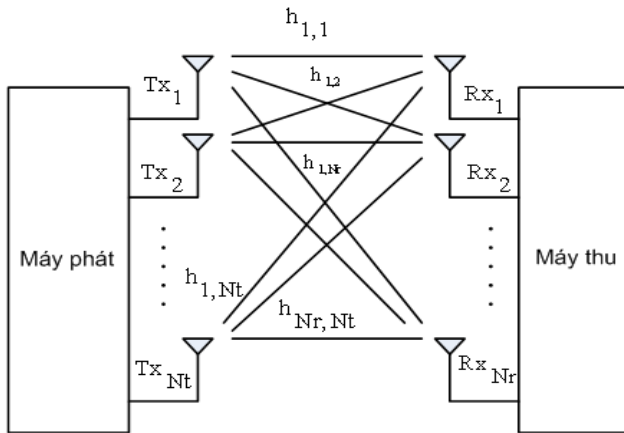
Trong chương này, sẽ giới thiệu tổng quan những kiến thức chung về công nghệ LTE, kỹ thuật OFDM và mô hình hệ thống MIMO.

### 1.2. CÔNG NGHỆ LTE

### 1.3. KỸ THUẬT OFDM

### 1.4. ĐẶC TÍNH KÊNH TRUYỀN CỦA KỸ THUẬT OFDM

### 1.5. HỆ THỐNG MIMO



Hình 1.18 - Mô hình hệ thống MIMO với  $N_t$  anten phát và  $N_r$  anten thu

## CHƯƠNG 2

## KỸ THUẬT TIỀN MÃ HÓA TRONG HỆ THỐNG MIMO - LTE

### 2.1. GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương này trình bày về hệ thống MIMO - OFDM và thực hiện phân tích lý thuyết các kỹ thuật tiền mã hóa trong truyền dẫn đường xuống hệ thống MIMO -LTE.

### 2.2. HỆ THỐNG MIMO-OFDM

### 2.3. KỸ THUẬT TIỀN MÃ HÓA ZERO FORCING

#### 2.3.1. Mô hình tổng quan

Xét một hệ thống tổng quan với N anten phát (Tx) và M anten thu (Rx). Vì không có xử lý tăng cường tín hiệu tại từng thiết bị di động riêng lẻ (MU), nên cấu hình hệ thống là không phân biệt khi có phối hợp các anten thu với nhau hay không. Như vậy một cách tổng quát, tín hiệu nhận được của tất cả các anten trong khoảng tín hiệu thứ i có thể viết lại thành :

$$\mathbf{r}^{(i)} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{x}^{(i)} + \mathbf{w}^{(i)} \quad (2.2)$$

Ở đây  $\mathbf{r}^{(i)} = [\mathbf{r}^{(i)}_1, \mathbf{r}^{(i)}_2, \dots, \mathbf{r}^{(i)}_M]^T$  là tín hiệu thu được tại M anten thu, có dạng vector  $M \times 1$ .

H là ma trận kênh truyền với  $h_{m,n}$  là độ lợi kênh truyền từ anten phát thứ n đến anten thu thứ m, có kích thước  $M \times N$ .

$\mathbf{x}^{(i)} = [\mathbf{x}^{(i)}_1, \mathbf{x}^{(i)}_2, \dots, \mathbf{x}^{(i)}_N]^T$  là tín hiệu được phát bởi N anten phát, có dạng vector  $N \times 1$ .

$\mathbf{w}^{(i)} = [\mathbf{w}^{(i)}_1, \mathbf{w}^{(i)}_2, \dots, \mathbf{w}^{(i)}_M]^T$  là nhiễu Gaussian trắng (AWGN), có dạng vector  $M \times 1$ .

Trong kỹ thuật tiền mã hóa Zero Forcing, vector tín hiệu được truyền đi được biểu diễn như sau :

$$\mathbf{x}^{(i)} = \mathbf{f} \cdot \mathbf{H}^* \cdot (\mathbf{H} \cdot \mathbf{H}^*)^{-1} \cdot \mathbf{b}^{(i)} = \mathbf{f} \cdot \mathbf{T} \cdot \mathbf{b}^{(i)} \quad (2.3)$$

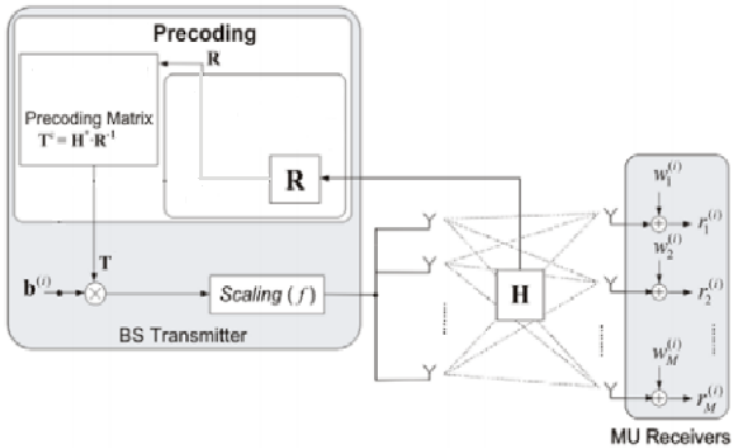
Ở đây  $\mathbf{b}^{(i)} = [\mathbf{b}^{(i)}_1, \mathbf{b}^{(i)}_2, \dots, \mathbf{b}^{(i)}_N]^T$  là vector dữ liệu trong khoảng thời gian thứ i.

$\mathbf{T} = \mathbf{H}^* \cdot (\mathbf{H} \cdot \mathbf{H}^*)^{-1}$  là ma trận tiền mã hóa và  $\mathbf{H}^*$  là ma trận chuyển vị Hermitian của ma trận H.

f là hệ số tỷ lệ nhằm đảm bảo rằng  $E(\|\mathbf{x}^{(i)}\|) = 1$ , với

$$\mathbf{f} = \sqrt{1 / \text{tr}[(\mathbf{H} \cdot \mathbf{H}^*)^{-1}]} \quad (2.4)$$

Ở đây  $\text{tr}[\cdot]$  biểu diễn cho hàm tổng các thành phần đường chéo của ma trận.



Hình 2.2 - Sơ đồ khối kỹ thuật tiên mã hóa Zero Forcing

### 2.3.2. Kênh truyền mô hình MIMO 2x2 với tiên mã hóa Zero Forcing

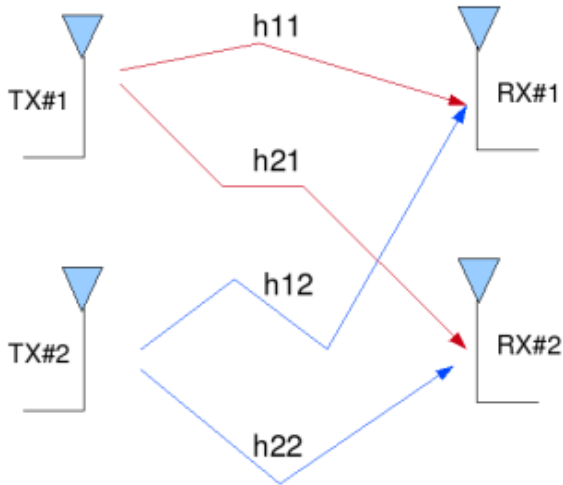
Trong mô hình MIMO  $2 \times 2$ , hoạt động của hai anten phát có thể được biểu diễn như sau:

1. Giả sử ban đầu có một chuỗi tín hiệu cần truyền là  $(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_N)$ .

2. Đối với trường hợp 1 anten phát, chúng ta sẽ gửi  $x_1$  trong khe thời gian thứ nhất,  $x_2$  trong khe thời gian thứ hai, và  $x_3$  trong khe thời gian thứ ba và tiếp tục như vậy đến  $x_N$ .

3. Tuy nhiên, khi có 2 anten phát, chúng sẽ được ghép thành một nhóm hai tín hiệu. Trong khe thời gian đầu tiên,  $x_1$  và  $x_2$  được gửi từ anten thứ nhất và anten thứ hai. Trong khe thời gian thứ hai,  $x_3$  và  $x_4$  được gửi từ anten thứ nhất và anten thứ hai,  $x_5$  và  $x_6$  được gửi trong các khe thời gian thứ ba và tiếp tục như vậy.

4. Chú ý rằng khi nhóm hai tín hiệu và gửi chúng trong một khe thời gian, chúng ta chỉ cần  $N/2$  khe thời gian để hoàn tất việc truyền tải, do đó tốc độ dữ liệu sẽ tăng gấp đôi.



Hình 2.3 - Mô hình kênh MIMO 2 anten phát và 2 anten thu.

Giả thiết rằng,

1. Các kênh truyền là fading phẳng.
2. Giá trị kênh truyền của mỗi anten phát là độc lập với giá trị kênh truyền của các anten phát khác.
3. Đối với anten phát thứ  $i$  truyền đến anten thu thứ  $j$ , mỗi tín hiệu phát được nhân với một số phức ngẫu nhiên  $h_{j,i}$ . Vì các kênh đang được xem xét là một kênh Rayleigh.
4. Giá trị kênh truyền giữa mỗi anten phát và anten thu là độc lập và thay đổi ngẫu nhiên theo thời gian.
5. Trên anten thu, nhiễu  $w$  là hàm mật độ xác suất Gauss với

$$\mu = 0 \text{ và } \sigma^2 = \frac{N_0}{2}.$$

6. Hệ số kênh truyền  $h_{j,i}$  là xác định được.

### 2.3.3. Kỹ thuật tiền mã hóa ZF trong hệ thống MIMO 2x2

Bây giờ chúng ta sẽ tìm hiểu công thức toán học trong quá trình truyền dẫn, và ảnh hưởng của nhiễu do hai tín hiệu gây ra lẫn nhau. Trong khoảng thời gian đầu tiên, tín hiệu nhận được trên anten thu thứ nhất là,



$$r_1 = h_{1,1} \cdot x_1 + h_{1,2} \cdot x_2 + w_1 = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + w_1. \quad (2.5)$$

Tín hiệu nhận được trên Anten thu thứ hai là,

$$r_2 = h_{2,1} \cdot x_1 + h_{2,2} \cdot x_2 + w_2 = \begin{bmatrix} h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + w_2. \quad (2.6)$$

$h_{1,1}$  là kênh từ Anten phát thứ nhất đến Anten thu thứ nhất.

$h_{1,2}$  là kênh từ Anten phát thứ hai đến Anten thu thứ nhất.

$h_{2,1}$  là kênh từ Anten phát thứ nhất đến Anten thu thứ hai.

$h_{2,2}$  là kênh từ Anten phát thứ hai đến Anten thu thứ hai.

$x_1, x_2$  là tín hiệu được phát đi.

$w_1, w_2$  là nhiễu tại Anten thu thứ nhất và thứ hai.

Để thuận tiện, phương trình trên có thể được biểu diễn dưới dạng ma trận như sau:

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Tương đương,  $r = H \cdot x + w$ .

(2.8)

Giả sử  $b_1, b_2$  là dữ liệu cần phát ban đầu

Để tín hiệu tại đầu thu  $r = b$ , trước khi được phát đi,  $b$  được thực hiện tiền mã hóa thành tín hiệu  $x$ . Hay  $x$  là tín hiệu sau khi được tiền mã hóa của  $b$ , với  $x = T \cdot b$ .

Kỹ thuật tiền mã hóa Zero Forcing áp dụng phương pháp sao cho  $H \cdot T = I$ . Do đó ta dễ dàng có,  $T = H^* \cdot (H^* \cdot H)^{-1}$ . Như vậy,

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix}^* \left( \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix}^* \right)^{-1} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Như vậy, với kỹ thuật tiền mã hóa Zero Forcing tín hiệu thu được loại bỏ hoàn toàn phần nhiễu do các tín hiệu khác gây ra.

## 2.4. KỸ THUẬT TIỀN MÃ HÓA SELECTIVE CHANNEL INVERSION

### 2.4.1. Giới thiệu

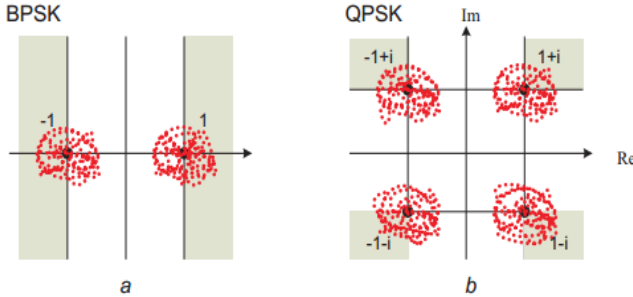
Như đã trình bày ở phần kỹ thuật tiền mã hóa Zero Forcing thì kiến thức về nhiễu được sử dụng để loại bỏ chính nó, kỹ thuật tiền mã hóa Selective Channel Inversion đề xuất ý tưởng sử dụng những kiến thức này để hưởng lợi từ nhiễu. Ý tưởng này đề xuất nâng cao chất lượng hệ thống thông qua việc khai thác một phần của nhiễu xuyên kênh (ICI). Cụ thể phân tích cực của nhiễu ICI được giữ lại và khai thác, trong khi phần tiêu cực được loại bỏ bằng phương pháp tiền mã hóa. Bằng cách đó, chất lượng tín hiệu chuyển đến đầu thu các thiết bị di động (MU) được tăng cường mà không cần tăng thêm năng lượng tín hiệu truyền tại trạm gốc MIMO (BS). Tuy nhiên để có được lợi ích này thì dẫn đến tăng độ phức tạp của quá trình xử lý tại BS. Trong phần này, mục tiêu là hướng đến việc phân tích lý thuyết và đánh giá kỹ thuật tiền mã hóa SCI so với kỹ thuật tiền mã hóa ZF.

Kỹ thuật tiền mã hóa SCI đề xuất, thay vì sử dụng các kiến thức về nhiễu trong hệ thống MIMO để tránh nó, phương pháp này sẽ sử dụng phần nhiễu ICI tích cực để tăng cường tín hiệu hữu ích tại đầu thu. Cụ thể, phương pháp này đề xuất một sự cải tiến đối với kỹ thuật tiền mã hóa Zero Forcing cho các hệ thống sử dụng điều chế PSK. Kỹ thuật mới này sẽ được trình bày một cách hiệu quả nhất tại vùng có tỉ số tín hiệu trên nhiễu (SNR) thấp. Ý tưởng được dựa trên khái niệm, đối với điều chế PSK, nhiễu ICI có thể được chia thành hai loại là tích cực và tiêu cực. Bằng cách lựa chọn khôn ngoan các kênh, một số lượng nhiễu ICI đóng góp độ lợi cho tín hiệu mong muốn được giữ lại tại đầu thu của thiết bị di động. Do đó, SINR nhận được tăng cường mà không cần tăng công suất phát cho mỗi tín hiệu. Thực tế khi tăng cường SINR cho mỗi tín hiệu tức là cải thiện SINR trung bình. Với phân tích lý thuyết sau đây kết quả sẽ minh họa cho tính ưu việt của kỹ thuật tiền mã hóa SCI so với kỹ thuật tiền mã hóa ZF.

### 2.4.2. Đặc điểm của nhiễu xuyên kênh

Trong phần này chúng ta sẽ chứng minh sự tách biệt giữa nhiễu tích cực và nhiễu tiêu cực trong hệ thống MIMO. Xét ma trận  $R=H \cdot H^*$  là ma trận tương quan chéo kênh và có thể được xem như là ma trận nhiễu [11]. Do đó, kỹ thuật tiền mã hóa Zero Forcing có thể được xem như là một loại kỹ thuật tiền mã hóa giải tương quan, ở

đây ma trận tương quan chéo kênh được đảo ngược để giảm các thành phần ngoài đường chéo của R về không và đạt được tín hiệu không nhiễu tại đầu thu. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, dữ liệu có nhiễu là tích cực, do đó không phải tất cả các thành phần ngoài đường chéo của R cần được giảm về không, vì tín hiệu thu được có thể hưởng lợi từ chúng.



Hình 2.4 - Các vùng nhiễu tích cực trong giản đồ tín hiệu BPSK và QPSK. [9]

Ban đầu xem xét nhiễu giữa các kênh trong một hệ thống MIMO. Nhiễu ICI từ tín hiệu  $b_k^{(i)}$  đến tín hiệu  $b_u^{(i)}$  là kết quả từ thành phần  $\rho_{u,k} = \sum_{n=1}^N h_{u,n} \cdot h_{n,k}^*$  của ma trận R tại khoảng thời gian tín hiệu thứ  $i$  được biểu diễn như sau :

$$ICI_{u,k}^{(i)} = b_k^{(i)} \cdot \rho_{u,k} \quad (2.9)$$

Hình 2.4 biểu diễn giản đồ tín hiệu cho điều chế BPSK và QPSK. Vùng tối biểu thị khu vực có nhiễu tích cực. Một cách tổng quát nhiễu tích cực là nhiễu ICI đóng góp một phần năng lượng cho tín hiệu mong muốn. Một cách thực tế hơn, nhiễu tích cực là nhiễu ICI mà tín hiệu thu đã được tăng khoảng cách so với điểm ngưỡng quyết định. Biểu diễn toán học của quy luật này là khác nhau đối với các giản đồ tín hiệu điều chế PSK khác nhau.

#### a. Đặc tính nhiễu ICI cho điều chế BPSK

Ta có đối với điều chế BPSK tín hiệu mong muốn  $b_u^{(i)} \in \{-1, +1\}$ , do đó nhiễu ICI là tích cực khi nó cùng dấu với tín

hiệu mong muốn  $b_u(i)$  biểu thị bằng phần tối của giản đồ tín hiệu trong hình 2.4.a.

$$\mathbf{b}_u^{(i)} \cdot \text{ICI}_{u,k}^{(i)} = \mathbf{b}_u^{(i)} \cdot \mathbf{b}_k^{(i)} \cdot \rho_{u,k} > 0 \quad (2.10)$$

Do đó, để đánh giá nhiễu giữa các tín hiệu tại khoảng thời gian phát tín hiệu thứ  $i$ , ma trận  $G$  cần được thành lập.

$$G^{(i)} = \text{diag}(\mathbf{b}^{(i)}) \cdot \mathbf{R} \cdot \text{diag}(\mathbf{b}^{(i)})$$

$$= \begin{bmatrix} \rho_{1,1} & \mathbf{b}_1^{(i)} \mathbf{b}_2^{(i)} \rho_{1,2} & \cdots & \mathbf{b}_1^{(i)} \mathbf{b}_M^{(i)} \rho_{1,M} \\ \mathbf{b}_2^{(i)} \mathbf{b}_1^{(i)} \rho_{2,1} & \rho_{2,2} & \cdots & \mathbf{b}_2^{(i)} \mathbf{b}_M^{(i)} \rho_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{b}_M^{(i)} \mathbf{b}_1^{(i)} \rho_{M,1} & \mathbf{b}_M^{(i)} \mathbf{b}_2^{(i)} \rho_{M,2} & \cdots & \rho_{M,M} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Giả thiết rằng  $\|\mathbf{b}_m^{(i)}\|^2 = 1$ . Rõ ràng là mỗi phần tử của matrix  $G^{(i)}$  là phần biểu thức bên trái của (2.10) và nó biểu hiện cho nhiễu ICI. Do đó, thông qua ma trận  $G^{(i)}$  mà nhiễu ICI có thể được đánh giá là tiêu cực hay tích cực. Tiêu chuẩn (2.10) có thể viết lại thành

$$G_{u,k}^{(i)} > 0 \quad (2.12)$$

Từ trên rõ ràng từ mỗi thành phần trong  $G(i)$  có thể xác định nhiễu ICI là tích cực hay tiêu cực. Do đó SINR nhận được có thể viết lại thành :

$$\text{SINR}_e = \frac{S + \|\text{ICI}_{\text{constructive}}\|^2}{\|\text{ICI}_{\text{destructive}}\|^2 + N_n} \quad (2.13)$$

Ở đây  $S$  là năng lượng tín hiệu và  $N_n$  là nhiễu. Rõ ràng, bằng cách giữ lại nhiễu tích cực và loại bỏ nhiễu tiêu cực, do đó giá trị SINR cao hơn có thể được gửi đến đầu thu MU.

### **b. Đặc tính nhiễu ICI cho điều chế QPSK**

Đối với điều chế QPSK tín hiệu mong muốn  $\mathbf{b}_u^{(i)} \in \{(\pm 1 \pm i) / \sqrt{2}\}$ . Do đó, nhiễu ICI tăng khoảng cách từ tín hiệu thu được đến các điểm ngưỡng cả phần thực và phần ảo là phần nhiễu tích cực, như mô tả trong phần tối của giản đồ tín hiệu QPSK hình 2.4.b

$$G_{\text{REAL}}^{(i)} > 0 \& G_{\text{IMAG}}^{(i)} > 0 \quad (2.14)$$

Ở đây

$$\begin{aligned} G_{\text{REAL}}^{(i)} &= \text{Re}\{\text{diag}(b^{(i)})\} \cdot \text{Re}\{R \cdot \text{diag}(b^{(i)})\}, \\ G_{\text{IMAG}}^{(i)} &= \text{Im}\{\text{diag}(b^{(i)})\} \cdot \text{Im}\{R \cdot \text{diag}(b^{(i)})\} \end{aligned} \quad (2.15)$$

### 2.4.3. Tiêu chuẩn để hình thành ma trận tương quan chéo tích cực

Việc xây dựng ma trận  $R^c$  là rất quan trọng, liên quan đến việc tăng cường chất lượng tín hiệu. Ở đây sẽ trình bày ngắn gọn về tiêu chuẩn xây dựng ma trận  $R^c$  trong hệ thống MIMO. Tiêu chuẩn dưới đây được áp dụng cho điều chế QPSK trong hầu hết các mô phỏng.

Tiêu chuẩn SCI : tất cả các thành phần tiêu cực trong  $G^{(i)}$  được thiết lập bằng không trong  $R^c$ . Điều này có thể được biểu diễn như sau:

Cho  $u = 1$  đến  $M$

Cho  $k = 1$  đến  $M$ , với điều kiện  $k \neq u$

Nếu ( $[G_{\text{REAL}}^{(i)}]_{u,k} < 0$  hoặc  $[G_{\text{IMAG}}^{(i)}]_{u,k} < 0$ )

Thì  $R_{u,k}^c = 0$

Ngược lại  $R_{u,k}^c = p_{u,k}$

Với tiêu chuẩn này, tất cả các thành phần ICI tiêu cực được loại bỏ trong khi ICI tích cực được giữ lại.

### 2.4.4. Xây dựng ma trận tiền mã hóa SCI

Những phân tích trên có thể được khai thác trong kỹ thuật tiền mã hóa SCI, được biểu diễn thực tế như hình 2.5. Sử dụng thông tin trạng thái kênh (CSI) và giá trị của tín hiệu được truyền đi, có sẵn tại các BS đường xuống, nhiễu đối với mỗi tín hiệu nhận được có thể được ước tính trước khi truyền đi để cung cấp cho ma trận  $G^{(i)}$ . Bằng cách kiểm tra ma trận  $G^{(i)}$  các thành phần của ma trận tương quan chéo kênh  $R$  được loại bỏ. Do đó, một matrix tương quan chéo tích cực  $R^c$  có thể được tạo ra bằng cách chứa các thành phần của  $R$  và chứa nhiễu tích cực thông qua việc kiểm tra ma trận  $G^{(i)}$  ở mỗi thời điểm phát dữ liệu.

Ta có ma trận tiền mã  $T = H^* \cdot R^{-1}$  đối với kỹ thuật tiền mã hóa Zero Forcing, với kỹ thuật tiền mã hóa Selective Channel Inversion  $T^c = H^* \cdot R^{-1} \cdot R^c$ .

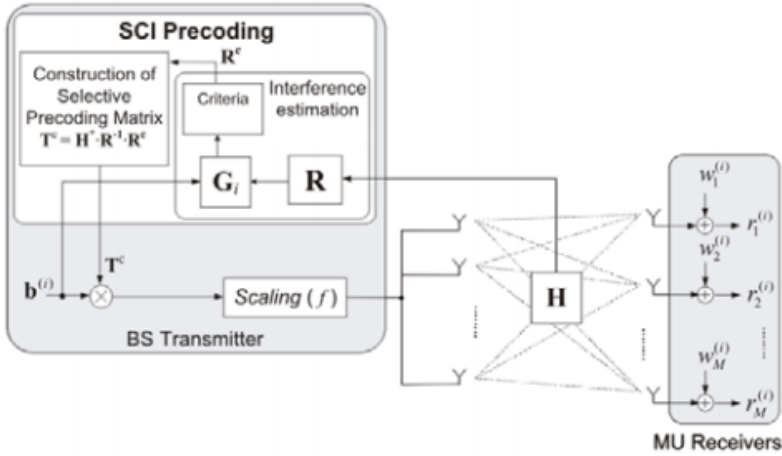
### 2.4.5. Mô hình kỹ thuật tiền mã hóa Selective Channel Inversion

Ở đây  $\mathbf{b}^{(i)} = [b^{(i)}_1, b^{(i)}_2, \dots, b^{(i)}_N]^T$  là vector dữ liệu trong khoảng thời gian thứ  $i$ .

Tín hiệu phát sau khi được tiền mã hóa có dạng :

$$\mathbf{x}^{(i)} = f_c \cdot \mathbf{H}^* \cdot (\mathbf{H} \cdot \mathbf{H}^*)^{-1} \cdot \mathbf{R}^c \cdot \mathbf{b}^{(i)} \quad (2.16)$$

$\mathbf{x}^{(i)} = [x^{(i)}_1, x^{(i)}_2, \dots, x^{(i)}_N]^T$  là tín hiệu được phát bởi  $N$  anten phát, có dạng vector  $N \times 1$ .



Hình 2.5 - Kỹ thuật tiền mã hóa SCI trong đường xuống của truyền dẫn MIMO. [9]

Rõ ràng rằng  $\mathbf{T}^c = \mathbf{T} \cdot \mathbf{R}^c$  bao gồm ma trận tiền mã hóa  $\mathbf{T}$  kết hợp với ma trận thích nghi  $\mathbf{R}^c$ . Hơn nữa, ngoài sự hình thành của  $\mathbf{R}^c$ , các hoạt động tiền mã hóa vẫn là tuyến tính, làm cho nó dễ dàng được áp dụng. Rõ ràng từ những yếu tố trên, hệ số tỷ lệ cho ma trận tiền mã hóa mới này là

$$f_c = \sqrt{1 / \text{tr}[\mathbf{R}^c * (\mathbf{H} \cdot \mathbf{H}^*)^{-1} \cdot \mathbf{R}^c]} \quad (2.17)$$

Nó đảm bảo rằng  $E(\|\mathbf{x}^{(i)}\|) = 1$ . Không giống như kỹ thuật tiền mã hóa Zero Forcing, kỹ thuật tiền mã hóa SCI thực hiện trung bình công suất phát thông qua hệ số tỷ lệ  $f_c$  (2.17). Tín hiệu nhận được của kỹ thuật tiền mã hóa SCI tại đầu thu :

$$\mathbf{r}^{(i)} = \mathbf{f}_c \cdot \mathbf{R}^c \cdot \mathbf{b}^{(i)} + \mathbf{w}^{(i)} \quad (2.18)$$

Ở đây  $\mathbf{r}^{(i)} = [\mathbf{r}^{(i)}_1, \mathbf{r}^{(i)}_2, \dots, \mathbf{r}^{(i)}_M]^T$  là tín hiệu thu được tại M anten thu, có dạng vector  $M \times 1$ .

$\mathbf{w}^{(i)} = [\mathbf{w}^{(i)}_1, \mathbf{w}^{(i)}_2, \dots, \mathbf{w}^{(i)}_M]^T$  là nhiễu Gaussian trắng (AWGN), có dạng vector  $M \times 1$ .

Ở đây, tín hiệu mong muốn, thông qua  $\mathbf{R}^c$ , được thay đổi bởi nhiễu ICI tích cực thông qua kiểm tra các thành phần của ma trận  $\mathbf{G}^{(i)}$ . Với kỹ thuật tiền mã hóa ZF, nhiễu ICI tích cực trong hệ thống bị lãng phí, cũng như tất cả các nhiễu ICI bị loại bỏ. Với kỹ thuật tiền mã hóa SCI, tín hiệu nhận được có tỷ số SINR cao hơn và cung cấp tín hiệu thu tin cậy hơn kỹ thuật ZF.

Để đơn giản và dễ dàng giải thích, giả sử ma trận kênh là ma trận vuông, với  $N = M$ . Để phân biệt giữa nhiễu tích cực và nhiễu tiêu cực, tín hiệu nhận được của anten thu thứ  $u$  có thể viết lại phương trình (2.18) như sau :

$$\mathbf{r}_u^{(i)} = f_c \cdot \mathbf{b}_u^{(i)} \cdot p_{u,u} + f_c \cdot \sum_{c=1}^{A_c} \mathbf{b}_c^{(i)} \cdot p_{u,c} + f_c \cdot \sum_{d=1}^{A_d} \mathbf{b}_d^{(i)} \cdot p_{u,d} + \mathbf{w}_u^{(i)} \quad (2.19)$$

Ở đây  $A_c, A_d$  là số lượng anten gây nhiễu, tương ứng tạo ra nhiễu ICI tích cực và tiêu cực đối với tín hiệu mong muốn. Rõ ràng rằng phương trình (2.19) cho ta thấy phần thứ nhất là tín hiệu mong muốn, phần thứ hai và phần thứ ba tương ứng là nhiễu tích cực và tiêu cực. Hệ số  $A_c, A_d$  trong (2.19) liên quan đến dạng tiền mã hóa được sử dụng và số lượng thành phần nhiễu trong  $\mathbf{R}$  cần được loại bỏ.

Trong trường hợp tiền mã hóa Zero Forcing  $A_c = 0, A_d = 0$ , trong khi đối với kỹ thuật tiền mã hóa SCI, phần nhiễu ICI tích cực được giữ lại,  $A_c \neq 0$ , và phần nhiễu ICI tiêu cực được giảm về không,  $A_d = 0$ .

## 2.5. KỸ THUẬT TIỀN MÃ HÓA TUYẾN TÍNH CORRELATION ROTATION

### 2.5.1. Giới thiệu

Kỹ thuật tiền mã hóa tuyến tính Correlation Rotation là một kỹ thuật tiền mã hóa tuyến tính đơn giản được đề xuất trong hệ thống MIMO sử dụng điều chế PSK. Kỹ thuật này dựa trên thực tế là nhiễu giữa các tuyến không gian trong hệ thống MIMO có thể là tích cực và có thể đóng góp vào công suất của tín hiệu hữu ích để cải thiện chất lượng tại đầu thu tín hiệu. Trong đường xuống của hệ thống

MIMO nhiều ICI có thể được dự đoán và xác định trước khi truyền. Trái với thực tế là những hiểu biết về nhiễu được sử dụng để loại bỏ nó, ý tưởng chính ở đây là sử dụng kiến thức này để tác động lên nhiễu và hưởng lợi từ nó, do đó thu được lợi ích từ năng lượng đã tồn tại trong hệ thống nhưng chưa được khai thác. Kỹ thuật tiền mã hóa được đề xuất hướng đến việc xoay thích nghi, chứ không phải là thực hiện giám về không, do đó tín hiệu của truyền dẫn nhiễu phù hợp với tín hiệu mong muốn tại mỗi anten thu. Bằng cách thực hiện như vậy, nhiễu ICI luôn luôn tích cực và tỷ số SINR gửi đến thiết bị di động MU được tăng cường mà không cần phải tăng thêm năng lượng tín hiệu cho mỗi lần phát tại trạm gốc MIMO (BS). Phần này hướng tới việc phân tích lý thuyết và đánh giá kỹ thuật tiền mã hóa CR so với các kỹ thuật tiền mã hóa khác.

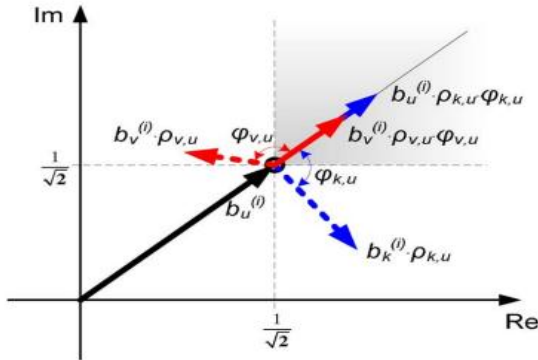
Trong phần trước, kỹ thuật SCI đã được đề xuất, ở đây kỹ thuật tiền mã hóa này được áp dụng để loại bỏ nhiễu tiêu cực, trong khi nhiễu tích cực được cho phép truyền đi đến máy thu để tăng cường công suất. Kết quả là, tín hiệu thu được của kỹ thuật tiền mã hóa SCI tốt hơn so với kỹ thuật tiền mã hóa ZF khi truyền cùng công suất đối với tín hiệu dữ liệu. Với kỹ thuật tiền mã hóa CR, một cải tiến kỹ thuật đã được đề xuất, ở đây nhiễu sẽ bị tác động bằng cách xoay tương quan giữa các tín hiệu nhiễu trong các hệ thống MIMO. Sự khác biệt đối với kỹ thuật tiền mã hóa SCI là, khi nhiễu là tiêu cực, thay vì giảm về không, kỹ thuật tiền mã hóa CR xử lý xoay góc tương quan tại trạm phát, do đó kết quả tín hiệu tương quan sẽ chứa các nhiễu tích cực. Nói cách khác, mục đích các kỹ thuật này là xoay tương quan để tạo ra nhiễu tích cực chứ không phải loại trừ nhiễu. Bằng cách giữ lại biên độ và xoay một góc tương quan giữa các kênh MIMO, nhiễu cuối cùng sẽ là tích cực cho toàn bộ nhiễu ICI và ở tất cả các thời điểm phát. Vì vậy, độ lợi từ năng lượng của nhiễu ICI là lớn nhất và hiệu suất sẽ được cải thiện.

### **2.5.2. Xây dựng ma trận tiền mã hóa CR**

Kỹ thuật tiền mã hóa CR, thay vì quy các thành phần tạo ra nhiễu tiêu cực trong R về không, nó sử dụng kiến thức của dữ liệu và mối tương quan chéo để xoay nhiễu ICI để làm cho nó trở thành nhiễu tích cực. Một ví dụ đơn giản cho điều chế QPSK được mô tả trong hình 2.6. Không mất tính tổng quát, các tín hiệu mong muốn



được chọn  $b_u^{(i)} \in (1+i) / \sqrt{2}$  và giả sử có hai tín hiệu gây nhiễu  $b_k^{(i)}$ ,  $b_v^{(i)}$ , nhiễu ICI được biểu diễn tương ứng bằng mũi tên đứt màu xanh và màu đỏ trong hình 2.6. Các góc pha liên quan của nhiễu ICI đối với các tín hiệu mong muốn được biểu diễn tương ứng là  $\varphi_{k,u}$ ,  $\varphi_{v,u}$ . Đối với giản đồ QPSK, thực trục và trục ảo cũng là ngưỡng quyết định. Rõ ràng là cả hai tín hiệu gây nhiễu ICI đều là tiêu cực, tuy nhiên phần bổ sung của nó với tín hiệu mong muốn sẽ dịch chuyển tín hiệu nhận được gần hơn với ngưỡng quyết định QPSK. Kỹ thuật tiền mã hóa CR hướng đến điều chỉnh góc của tín hiệu phát và tương đương xoay góc tương quan giữa chúng, như vậy tín hiệu thu được sau khi tiền mã hóa phù hợp với tín hiệu mong muốn. Nhiễu ICI mong muốn được biểu diễn bởi các mũi tên liền màu đỏ và màu xanh trong hình 2.6.



Hình 2.6 - Nguyên lý của kỹ thuật tiền mã hóa CR với điều chế QPSK được biểu diễn bằng giản đồ vector. [8]

Góc pha  $\varphi_{k,u}$  có thể được biểu diễn như sau :

$$\varphi_{k,u} = \angle b_u^{(i)} - \angle (b_k^{(i)} \cdot \rho_{k,u}) = b_u^{(i)} \frac{\text{conj}(b_k^{(i)} \cdot \rho_{k,u})}{|\rho_{k,u}|} \quad (2.20)$$

Trong (2.20),  $\angle(x)$ ,  $\text{conj}(x)$  và  $|x|$  biểu diễn cho góc, liên hợp và độ lớn của số phức  $x$  và giả thiết  $|\text{bk}(i)| = 1, \forall k \in \{1, K\}$ . Ma trận pha tương quan biểu diễn dưới dạng :

$$\Phi = \begin{bmatrix} \varphi_{1,1} & \varphi_{1,2} & \cdots & \varphi_{1,M} \\ \varphi_{2,1} & \varphi_{2,2} & \cdots & \varphi_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \varphi_{M,1} & \varphi_{M,2} & \cdots & \varphi_{M,M} \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Các thành phần tương quan hiệu chỉnh pha mong muốn được biểu diễn dưới dạng ma trận sau :

$$R_\varphi = R \circ \Phi = \begin{bmatrix} \rho_{1,1}\varphi_{1,1} & \rho_{1,2}\varphi_{1,2} & \cdots & \rho_{1,M}\varphi_{1,M} \\ \rho_{2,1}\varphi_{2,1} & \rho_{2,2}\varphi_{2,2} & \cdots & \rho_{2,M}\varphi_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \rho_{M,1}\varphi_{M,1} & \rho_{M,2}\varphi_{M,2} & \cdots & \rho_{M,M}\varphi_{M,M} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Ở đây ( $\circ$ ) là phép nhân ma trận từng thành phần. Từ phương trình (2.20) ta có  $|\varphi_{k,u}| = 1$  và do đó biên độ của thành phần tương quan sau khi xoay vẫn không thay đổi. Bây giờ mỗi thành phần trong  $R_\varphi$  tạo ra nhiễu ICI tích cực, tăng cường cho tín hiệu mong muốn.

Dựa trên chuyển động xoay của các thành phần tương quan chéo, mong muốn rằng tương quan chéo giữa các tín hiệu được thay đổi thành  $\rho_{k,u}^\varphi = \rho_{k,u}\varphi_{k,u}$  và không để  $\rho_{k,u}^\varphi = 0$  như là trường hợp kỹ thuật tiền mã hóa Zero Forcing.

### 2.5.3 Mô hình kỹ thuật

Vector tín hiệu phát

$$x^{(i)} = f_\varphi \cdot H^* \cdot (H \cdot H^*)^{-1} \cdot R_\varphi \cdot b^{(i)} = f_\varphi \cdot T^\varphi \cdot b^{(i)} \quad (2.23)$$

Ở đây  $b^{(i)} = [b^{(i)}_1, b^{(i)}_2, \dots, b^{(i)}_N]^T$  là vector dữ liệu trong khoảng thời gian thứ  $i$ , có kích thước  $N \times 1$ .

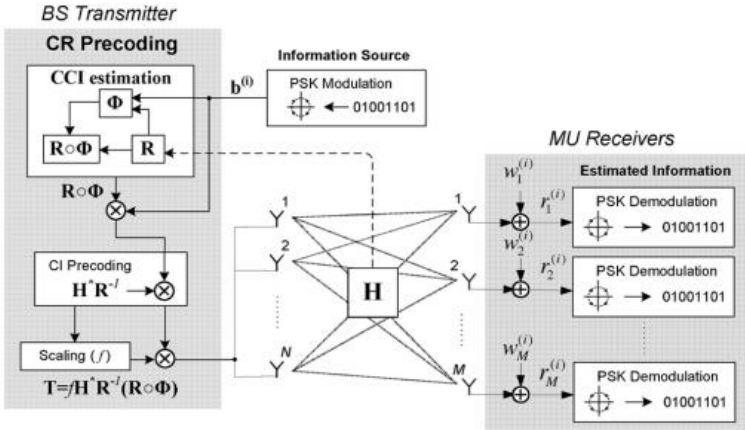
$H$  là ma trận kênh truyền có kích thước  $M \times N$ .

$H^*$  là ma trận chuyển vị Hermitian của  $H$ .  $T^\varphi$  là ma trận tiền mã hóa CR.

$$\text{Với } T^\varphi = H^* \cdot (H \cdot H^*)^{-1} R_\varphi.$$

$f_\varphi$  là hệ số tỷ lệ nhằm đảm bảo rằng  $E(\|x(i)\|) = 1$ , với

$$f_\varphi = \sqrt{1/\text{tr}[R^\varphi \cdot (H \cdot H^*)^{-1} \cdot R^\varphi]} \quad (2.24)$$



Hình 2.7 - Sơ đồ khối kỹ thuật tiền mã hóa CR. [8]

$x^{(i)} = [x^{(i)}_1, x^{(i)}_2, \dots, x^{(i)}_N]^T$  là tín hiệu được phát bởi  $N$  anten phát, có dạng vector  $N \times 1$ .

Vector tín hiệu thu được:

$$r^{(i)} = H \cdot x^{(i)} + w^{(i)} = f_\varphi \cdot R^\varphi \cdot b^{(i)} + w^{(i)} \quad (2.25)$$

Ở đây  $r^{(i)} = [r^{(i)}_1, r^{(i)}_2, \dots, r^{(i)}_M]^T$  là tín hiệu thu được tại  $M$  anten thu, có dạng vector  $M \times 1$ .

$w^{(i)} = [w^{(i)}_1, w^{(i)}_2, \dots, w^{(i)}_M]^T$  là nhiễu Gaussian trắng (AWGN),`  
Các bước xử lý tại trạm phát:

1. Xây dựng ma trận tương quan chéo  $R = H \cdot H^*$ .
2. Tính các góc pha  $\varphi_{k,u}$  tương quang dựa trên các dữ liệu bằng cách sử dụng phương trình (2.20).
3. Thành lập ma trận  $\Phi$  và tính toán  $R_\varphi = R \circ \Phi$  bằng phép nhân ma trận từng thành phần.

4. Thành lập ma trận tiền mã hóa CR :

$$T^\varphi = \mathbf{H}^* \cdot (\mathbf{H} \cdot \mathbf{H}^*)^{-1} \cdot \mathbf{R}^\varphi$$

5. Cân chỉnh công suất phát trung bình bằng  $f_\varphi$

Chú ý rằng, từ phương trình (2.20) ta có  $\varphi_{u,u} = 1$  cho các thành phần trên đường chéo của ma trận  $\Phi$ . Do đó, ma trận  $\mathbf{R}_\varphi$  sẽ chứa các thành phần đường chéo của ma trận  $\mathbf{R}$ ,  $\rho_{u,u} = \sum_{k=1}^N |h_{u,k}|^2$ . Liên quan đến chức năng của các kỹ thuật tiền mã hóa CR, rõ ràng từ (2.23) ta có  $T^\varphi = T \cdot \mathbf{R}_\varphi$  vẫn tồn tại ma trận tiền mã hóa T kết hợp với ma trận thay đổi tín hiệu  $\mathbf{R}_\varphi$ . Hơn nữa, rõ ràng là hoạt động tiền mã hóa vẫn là tuyến tính, do đó nó dễ dàng được áp dụng. Nó cũng cho thấy ít phức tạp hơn so với kỹ thuật tiền mã hóa SCI. Để làm sáng tỏ lợi ích về mặt SINR của phương pháp này, chúng ta hãy phân tích tín hiệu nhận được. Với kỹ thuật tiền mã hóa CR, vector tín hiệu nhận được là :

$$\begin{aligned} \mathbf{r}^{(i)} &= f_\varphi \cdot \mathbf{R}_\varphi \cdot \mathbf{b}^{(i)} + \mathbf{w}^{(i)} \Rightarrow \\ \mathbf{r}_u^{(i)} &= f_\varphi \mathbf{b}_u^{(i)} + f_\varphi \sum_{k=1, k \neq u}^N \mathbf{b}_k^{(i)} \rho_{k,u} \varphi_{k,u} + \mathbf{w}_u^{(i)} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Ở đây giả sử rằng  $\rho_{u,u} = 1$ , thành phần nhiễu ICI có thể được viết lại thành :

$$\begin{aligned} \text{ICI}_{k,u} &= \mathbf{b}_k^{(i)} \rho_{k,u} \varphi_{k,u} = \mathbf{b}_k^{(i)} \rho_{k,u} \frac{\mathbf{b}_u^{(i)} \cdot \text{conj}(\mathbf{b}_u^{(i)}) \cdot \text{conj}(\rho_{k,u})}{|\rho_{k,u}|} \\ &= \mathbf{b}_u^{(i)} \cdot |\mathbf{b}_k^{(i)}| \cdot |\rho_{k,u}| \Rightarrow \\ \text{ICI}_{k,u} &= \mathbf{b}_k^{(i)} \rho_{k,u} \varphi_{k,u} = \mathbf{b}_u^{(i)} \cdot |\rho_{k,u}| \end{aligned} \quad (2.27)$$

Từ phương trình (2.27), ta có

$$|\text{ICI}_{k,u}| = |\mathbf{b}_u^{(i)} \cdot \rho_{k,u}| = |\rho_{k,u}| \text{ và } \angle \text{ICI}_{k,u} = \angle \mathbf{b}_u^{(i)} \quad (2.28)$$

Phương trình (2.27), (2.28) biểu diễn bản chất của kỹ thuật tiền mã hóa CR, kết quả là các thành phần nhiễu có độ lớn bằng độ lớn của hệ số tương quan chéo  $|\rho_{k,u}|$  và góc pha phù hợp với góc pha của tín hiệu mong muốn  $\mathbf{b}_u^{(i)}$ . Ở đây tín hiệu thu được có thể viết lại như sau :

$$\mathbf{r}_u^{(i)} = f_\varphi \mathbf{b}_u^{(i)} + f_\varphi \sum_{k=1, k \neq u}^N \mathbf{b}_k^{(i)} \rho_{k,u} \varphi_{k,u} + w_u^{(i)} = f_\varphi \left( 1 + \sum_{k=1, k \neq u}^N |\rho_{k,u}| \right) \mathbf{b}_u^{(i)} + w_u^{(i)} \quad (2.29)$$

Từ phương trình trên, tín hiệu mong muốn, thông qua  $\mathbf{R}_\varphi$ , đã được tăng cường bởi toàn bộ độ lớn của nhiễu ICI. Hệ số hạn chế  $f_\varphi$  trong (2.29) giảm năng lượng đóng góp của nhiễu ICI và nói chung nhỏ hơn hơn  $f$  cho kỹ thuật tiền mã hóa ZF trong (2.4). Với kỹ thuật ZF và SCI nhiễu ICI trong hệ thống bị lãng phí, ví dụ như toàn bộ nhiễu ICI tiêu cực bị loại bỏ. Rõ ràng, tín hiệu nhận được trong (2.29) có SINR cao hơn và cung cấp độ tin cậy tại đầu thu hơn ZF và SCI.

## CHƯƠNG 3

### MÔ PHỎNG CÁC KỸ THUẬT TIỀN MÃ HÓA TRONG TRUYỀN DẪN ĐƯỜNG XUỐNG LTE

#### 3.1. GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Trong chương trước, chúng ta đã phân tích những ưu điểm của kỹ thuật tiền mã hóa Correlation Rotation so với các kỹ thuật tiền mã hóa Zero Forcing và Selective Channel Inversion trong việc nâng cao chất lượng tín hiệu tại đầu thu của thiết bị di động. Qua chương 3, chúng ta sẽ chứng minh rõ hơn những ưu điểm nổi trội của kỹ thuật tiền mã hóa Correlation Rotation thông qua việc mô phỏng truyền dẫn đường xuống của hệ thống MIMO bị ảnh hưởng bởi fading. Từ đây, ta sẽ kiểm chứng lại tính chính xác về mặt lý thuyết bằng việc sử dụng Matlab để so sánh đường đặc tính BER, và thông lượng trung bình giữa các kỹ thuật tiền mã hóa :

Kỹ thuật tiền mã hóa ZF

Kỹ thuật tiền mã hóa SCI

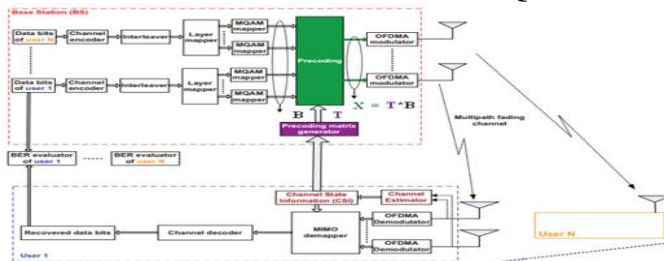
Kỹ thuật tiền mã hóa CR

Kênh truyền được sử dụng để mô phỏng là kênh truyền bị ảnh hưởng bởi Fading Rayleigh. Để việc mô phỏng bớt phức tạp, ta giả định rằng thông tin trạng thái kênh truyền được biết chính xác tại máy thu (hoặc bộ ước lượng kênh tại máy thu hoạt động rất chính xác).

#### 3.2. QUY TRÌNH MÔ PHỎNG VÀ TIÊU CHUẨN ĐÁNH GIÁ HỆ THỐNG

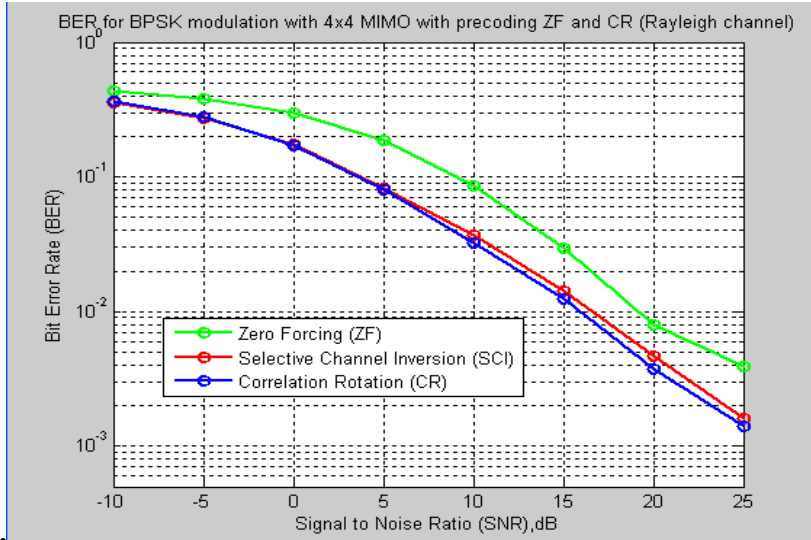
#### 3.3. LƯU ĐỒ THUẬT TOÁN CỦA HỆ THỐNG

#### 3.4. MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ



Hình 3.5 - Kỹ thuật Precoding trong truyền dẫn đường xuống LTE [2]

### 3.4.1. Mô phỏng đánh giá BER của các kỹ thuật tiền mã hóa trong hệ thống MIMO sử dụng điều chế BPSK



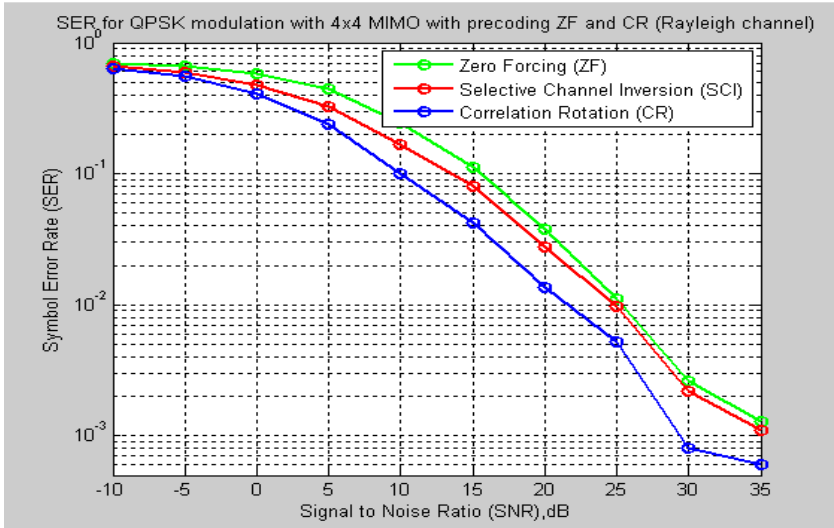
Hình 3.6 - Đồ thị so sánh BER trong mô hình MIMO 4x4.

#### Nhận xét:

- Từ đồ thị ta nhận thấy kỹ thuật tiền mã hóa SCI cải thiện rõ rệt tỉ lệ lỗi bit BER so với kỹ thuật tiền mã hóa Zero Forcing trong mô hình MIMO 4x4 với điều chế BPSK.

- Kỹ thuật tiền mã hóa CR cũng cho tỉ lệ BER nhỉnh hơn kỹ thuật tiền mã hóa SCI với cùng mức công suất phát tín hiệu.

### 3.4.2. Mô phỏng đánh giá SER của các kỹ thuật tiền mã hóa trong hệ thống MIMO sử dụng điều chế QPSK.



Hình 3.7 - Đồ thị so sánh SER trong mô hình MIMO 4x4 với điều chế QPSK

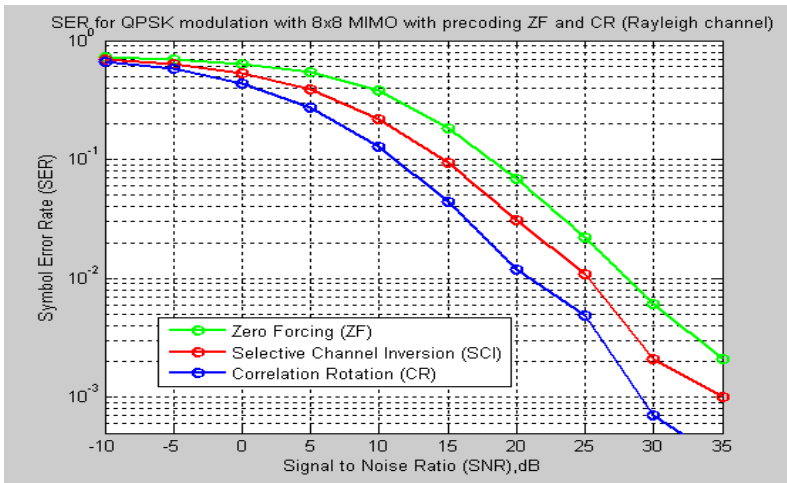
#### Nhận xét:

- Khi điều chế bậc cao hơn được sử dụng (QPSK so với BPSK), độ lợi của kỹ thuật tiền mã hóa CR được nâng cao so với các kỹ thuật tiền mã hóa khác. Trong hình 3.7 biểu diễn hiệu suất của kỹ thuật tiền mã hóa CR và kỹ thuật tiền mã hóa ZF và SCI với  $N = M = 4$  và điều chế QPSK.

- Có thể thấy rằng độ lợi của kỹ thuật tiền mã hóa SCI so với kỹ thuật tiền mã hóa ZF bị giảm mạnh. Nguyên nhân là kỹ thuật tiền mã hóa SCI dựa trên nhiễu ICI tích cực. Rõ ràng theo hình 2.4, khi bậc của kỹ thuật điều chế tăng thì xác suất của nhiễu ICI tích cực sẽ giảm. Điều này là một hạn chế của kỹ thuật tiền mã hóa SCI, vì khi sử dụng điều chế PSK bậc cao nhiễu ICI tiêu cực sẽ bị loại bỏ.



- Ngược lại, đối với kỹ thuật tiền mã hóa CR, hạn chế trên đã được xử lý vì nhiễu ICI được tác động để trở thành tích cực và do đó nó luôn luôn cung cấp năng lượng hữu ích. Do đó, kỹ thuật tiền mã hóa CR tiếp tục nâng cao chất lượng tín hiệu ngay cả đối với trường hợp tăng bậc của kỹ thuật điều chế. Dựa vào hình 3.7 tại  $SER = 10^{-2}$  độ lợi SNR tại trạm phát là 4 dB đối với kỹ thuật tiền mã hóa CR so với kỹ thuật tiền mã hóa SCI và ZF.



Hình 3.8 - Đồ thị so sánh SER trong mô hình MIMO 8x8 với điều chế QPSK

### Nhận xét :

- Hình 3.8 cho thấy kết quả SER khi tăng số lượng anten  $N = M = 8$  với điều chế QPSK. Kỹ thuật tiền mã hóa CR có độ lợi SNR tăng khoảng 7 dB so với kỹ thuật tiền mã hóa ZF. Điều này là do thực tế rằng khi phân tập không gian tăng các thành phần nhiễu ICI trở thành tiêu cực nhiều hơn đối với kỹ thuật tiền mã hóa ZF và SCI nhưng trở thành tích cực với kỹ thuật tiền mã hóa CR.

- Kỹ thuật tiền mã hóa CR có độ lợi SNR tăng khoảng 5 dB so với kỹ thuật tiền mã hóa SCI. Nguyên nhân do kỹ thuật SCI không thể xử lý được phần nhiễu ICI còn lại.

## KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI

Với yêu cầu hệ thống không dây ngày càng nâng cao về chất lượng và độ tin cậy. Đồng thời thiết bị di động phải gọn, nhẹ và đạt hiệu quả năng lượng. Đồ án đã giới thiệu kỹ thuật tiền mã hóa Correlation Rotation với những ưu điểm tốt hơn so với các kỹ thuật tiền mã hóa trước đây trong việc nâng cao chất lượng tín hiệu tại đầu thu. Qua phân tích lý thuyết và mô phỏng, kỹ thuật tiền mã hóa CR đã cho thấy độ lợi về công suất tăng đáng kể. Kết quả này xuất phát từ cải tiến kỹ thuật của kỹ thuật tiền mã hóa CR. Thay vì loại bỏ nhiễu ICI như ở các kỹ thuật tiền mã hóa khác, kỹ thuật tiền mã hóa Correlation Rotation khai thác nhiễu ICI trong hệ thống MIMO để thu được năng lượng hữu ích từ nhiễu và đóng góp vào tín hiệu mong muốn. Ở đây luôn tồn tại năng lượng hữu ích trong nhiễu và khi được khai thác, năng lượng này có thể nâng cao độ tin cậy của các bộ thu trong thiết bị di động mà không cần tăng thêm công suất phát tại trạm gốc.

Do thời gian thực hiện có hạn nên luận văn chỉ mới khảo sát các kỹ thuật tiền mã hóa sử dụng điều chế BPSK và QPSK. Vì vậy hướng phát triển tiếp theo của đề tài là tiếp tục thực hiện mô phỏng với điều chế 8PSK, đồng thời tìm thuật toán cho phương pháp điều chế QAM. Ngoài ra đồ án mới chỉ thực hiện so sánh kỹ thuật tiền mã hóa Correlation Rotation với các kỹ thuật tiền mã hóa tuyến tính Zero Forcing và Selective Channel Inversion. Vì vậy, trong tương lai, nếu có điều kiện, luận văn sẽ nghiên cứu sâu hơn về các kỹ thuật tiền mã hóa tuyến tính và các kỹ thuật tiền mã hóa phi tuyến tính khác như DPC.