



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



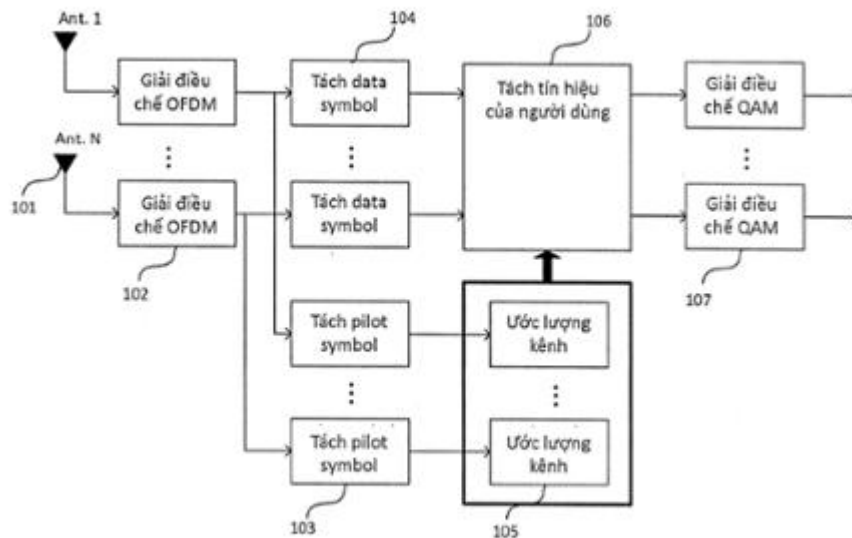
1-0026271

(51)<sup>8</sup> H04L 25/0204; H04B 7/0452 (13) B

(21) 1-2018-02582 (22) 14/06/2018  
(45) 25/11/2020 392 (43) 27/08/2018 365A  
(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỄN THÔNG QUÂN ĐỘI (VIETTEL) (VN)  
Số 1 Trần Hữu Dực, Mỹ Đình 2, Nam Từ Liêm, Hà Nội  
(72) Trần Minh Hải (VN); Ngô Hoàng Anh (VN); Vũ Đức Chính (VN).  
(74) Công ty Luật TNHH quốc tế BMVN (BMVN INTERNATIONAL LLC)

(54) PHƯƠNG PHÁP ƯỚC LƯỢNG KÊNH ĐƯỜNG LÊN CỦA HỆ THỐNG MIMO ĐA NGƯỜI DÙNG

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp ước lượng kênh đường lên của hệ thống MIMO đa người dùng bao gồm các bước sau: i) tính hàm truyền tổng của tất cả các người dùng; ii) dịch pha hàm truyền tổng này với các lượng dịch pha khác nhau tương ứng với mỗi người dùng; iii) sử dụng bộ lọc thông thấp để tách lấy hàm truyền của mỗi người dùng; khác biệt ở chỗ phương pháp này không sử dụng phép biến đổi Fourier nhanh (Fast Fourier Transform - FFT) và phép biến đổi Fourier nhanh nghịch đảo (Inverse Fast Fourier Transform - IFFT) để chuyển hàm truyền sang đáp ứng xung, do đó không cần sử dụng các cửa sổ để tách đáp ứng xung của mỗi người dùng; và phương pháp này thực hiện việc ước lượng hàm truyền của mỗi người dùng trên miền số sử dụng bộ lọc.



### **Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập**

Sáng chế liên quan tới thiết kế trạm gốc của hệ thống liên lạc không dây thế hệ thứ 5 (5G - 5th Generation) sử dụng nhiều ăng ten. Cụ thể, sáng chế đề cập đến phương pháp ước lượng kênh đường lên của hệ thống đa ăng ten (MIMO - Multiple Input Multiple Output) đa người dùng.

### **Tình trạng kỹ thuật của sáng chế**

Kỹ thuật MIMO đa người dùng đã được sử dụng trong hệ thống LTE-A (Long Term Evolution Advance) và đang được chuẩn hóa cho thế hệ mạng di động 5G. Kỹ thuật này cho phép trạm gốc phục vụ đồng thời nhiều người dùng với tốc độ dữ liệu cao. Tại cùng một thời điểm, nhiều người dùng có thể được cấp phát cùng khối tài nguyên mà không bị nhiễu lên nhau. Để thực hiện kỹ thuật MIMO đa người dùng, kênh truyền đường lên từ nhiều người dùng tới các ăng ten của trạm gốc phải được ước lượng. Sau đó, kênh truyền ước lượng được sử dụng để phân tách tín hiệu của mỗi người dùng. Đối với hệ thống MIMO đa người dùng ghép kênh theo thời gian, kênh truyền ước lượng đường lên còn được sử dụng để tính toán kênh truyền đường xuống để thực hiện kỹ thuật beamforming. Do đó, phương pháp ước lượng kênh đường lên rất quan trọng cho hệ thống MIMO đa người dùng.

Hiện nay, các phương pháp ước lượng kênh đường lên cho hệ thống MIMO đa người dùng được chia làm 2 nhóm:

- Nhóm 1: Các phương pháp ước lượng kênh đường lên sử dụng phép biến đổi Fourier nhanh (Fast Fourier Transform - FFT) và phép biến đổi Fourier nhanh nghịch đảo (Inverse Fast Fourier Transform - IFFT) để chuyển hàm truyền trên miền tần số (CTF - Channel Transfer Function) sang đáp ứng xung trên miền thời gian (CIR - Channel Impulse Response), và sử dụng các cửa sổ để phân tách đáp ứng xung của mỗi người dùng. Sau đó, lại dùng FFT để biến đổi đáp ứng xung thành hàm truyền trên miền số cho mỗi người dùng.
- Nhóm 2: Các phương pháp ước lượng kênh đường lên sử dụng một cửa sổ trượt để thực hiện ước lượng kênh truyền của đa người dùng trực tiếp trên miền số.

Các phương pháp nêu trên có các nhược điểm sau:

- Nhóm 1: Có độ phức tạp cao, yêu cầu phải sử dụng nhiều khối FFT và IFFT. Do phải sử dụng cửa sổ để tách đáp ứng xung của mỗi người dùng, sau đó sử dụng biến đổi FFT để tính toán hàm truyền, dẫn tới độ chính xác không cao với kênh truyền có trải trễ lớn.
- Nhóm 2: Phương pháp này đơn giản hơn, nhưng độ chính xác không cao khi kênh truyền có trải trễ lớn. Với trải trễ lớn hơn  $1,5\mu s$ , phương pháp này không thể đạt được tỉ lệ lỗi bit dưới  $10^{-2}$  dù tăng công suất phát tín hiệu.

### Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Do đó, mục đích của sáng chế là tìm ra phương pháp ước lượng kênh đường lên của hệ thống MIMO đa người dùng khắc phục được các nhược điểm của các phương pháp đã biết như nêu trên. Phương pháp ước lượng này được thực hiện trực tiếp trên miền tần số, do đó không cần sử dụng phép biến đổi FFT và IFFT. Đồng thời, phương pháp này phải có khả năng ước lượng kênh truyền với trễ lớn, ví dụ  $3,7\mu s$  của kênh truyền hiệp hội viễn thông quốc tế ITU-B (International Telecommunication Union-B).

Sáng chế đề xuất phương pháp ước lượng kênh đường lên của hệ thống MIMO đa người dùng bao gồm:

- i) tính hàm truyền tổng của tất cả các người dùng bằng cách nhân với liên hợp phức của chuỗi cơ sở;
- ii) dịch pha hàm truyền tổng này với các lượng dịch pha khác nhau tương ứng với mỗi người dùng bằng cách nhân với liên hợp phức của chuỗi  $\Phi_{u,k}^*$  theo công thức (8) sau đây:

$$\tilde{H}_{n,u,k} = \bar{H}_{n,k} \Phi_{u,k}^* = H_{n,u,k} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq u}}^M H_{n,m,k} \Phi_{m,k} \Phi_{u,k}^* \quad (8)$$

trong đó:

- $H_{n,u,k}$  và  $H_{n,m,k}$  tương ứng là kênh truyền từ người dùng  $u$  và người dùng  $m$  tới ăng ten thứ  $n$ , tác động lên sóng mang con  $k$ ;
- $\bar{H}_{n,k}$  là hàm truyền tổng của tất cả các người dùng;
- $\Phi_{u,k}^*$  là liên hợp phức của dịch pha  $\Phi_{u,k} = e^{\frac{j2\pi kn}{12}}$ .

iii) sử dụng bộ lọc đáp ứng xung hữu hạn (Finite Impulse Response - FIR) để tách lấy hàm truyền của mỗi người dùng;

khác biệt ở chỗ:

- phương pháp này không sử dụng phép biến đổi FFT và IFFT để chuyển hàm truyền sang đáp ứng xung, do đó không cần sử dụng các cửa sổ để tách đáp ứng xung của mỗi người dùng; và
- phương pháp này thực hiện việc ước lượng hàm truyền của mỗi người dùng trên miền số sử dụng bộ lọc FIR đơn giản có đáp ứng xung được tính theo công thức sau:

$$w_i = \frac{\sin(\pi f_{cut} i)}{\pi f_{cut} i} \times \frac{\cos(\pi \beta f_{cut} i)}{1 - (2\beta f_{cut} i)^2}, -L \leq i \leq L$$

trong đó:

- $f_{cut}$ : tần số cắt của bộ lọc,
- $L$ : chiều dài hệ số bộ lọc,

- $i$ : số thứ tự đáp ứng xung,
- $\beta$ : hệ số uốn của bộ lọc; và
- $w_i$ : hệ số bộ lọc.

### **Mô tả vắn tắt các hình vẽ**

Hình 1 là hình vẽ dạng sơ đồ khối thể hiện quá trình xử lý tín hiệu đường lên của trạm gốc có sử dụng phương pháp ước lượng kênh đường lên theo sáng chế.

Hình 2 là hình vẽ thể hiện cấu trúc của tín hiệu tham khảo giải điều chế (Demodulation Reference Signal - DMRS) và vị trí các sóng mang trống để ước lượng tỷ số tín hiệu trên nhiễu ở phía trạm gốc.

Hình 3 là hình vẽ dạng sơ đồ khối thể hiện kiến trúc của bộ ước lượng kênh đường lên cho hệ thống MIMO đa người dùng sử dụng phương pháp theo sáng chế.

Hình 4a là đồ thị biểu diễn đáp ứng xung của bộ lọc ước lượng kênh.

Hình 4b là đồ thị biểu diễn hàm truyền của bộ lọc ước lượng kênh.

Hình 5 là hình vẽ thể hiện sự đáp ứng kênh truyền từ 4 người dùng tới một ăng ten của trạm gốc có sử dụng phương pháp ước lượng kênh theo sáng chế.

Hình 6 là hình vẽ thể hiện đáp ứng kênh truyền từ 8 người dùng tới một ăng ten của trạm gốc có sử dụng phương pháp ước lượng kênh theo sáng chế.

Hình 7 là đồ thị đánh giá độ chính xác của kênh truyền ước lượng dựa theo phương pháp của sáng chế cho hệ thống MIMO với 16 ăng ten ở trạm gốc, 4 người dùng, kênh truyền ITU-B.

Hình 8 là hình vẽ đánh giá hiệu quả của việc ước lượng kênh dựa theo phương pháp của sáng chế qua tham số tỷ số lỗi bit cho hệ thống MIMO với 16 ăng ten ở trạm gốc, 4 người dùng, kênh truyền ITU-B.

Hình 9 là hình vẽ đánh giá độ chính xác của kênh truyền ước lượng dựa theo phương pháp của sáng chế cho hệ thống MIMO với 32 ăng ten ở trạm gốc, 8 người dùng, kênh truyền ITU-B.

Hình 10 là hình vẽ đánh giá hiệu quả của thuật toán ước lượng kênh dựa theo phương pháp của sáng chế qua tham số tỷ số lỗi bit cho hệ thống MIMO với 32 ăng ten ở trạm gốc, 8 người dùng, kênh truyền ITU-B.

Hình 11 là hình vẽ đánh giá hiệu quả của thuật toán ước lượng kênh dựa theo phương pháp của sáng chế với thiết bị thử nghiệm.

### **Mô tả chi tiết sáng chế**

#### *Mô hình hệ thống MIMO đa người dùng*

Hình 1 là hình vẽ mô tả kiến trúc xử lý tín hiệu ở băng gốc của trạm gốc gồm  $N$  nhánh ăng ten 101. Tín hiệu được thu từ mỗi nhánh ăng ten 101 được đưa vào bộ giải

điều chế đa sóng mang trực giao 102 (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Sau đó, các tín hiệu này được đưa vào khối tách tín hiệu 103 và 104. Khối 103 thực hiện tách tín hiệu tham khảo DMRS (pilot symbol), khối 104 tách tín hiệu mang dữ liệu người dùng (data symbol). Khối 105 thực hiện ước lượng kênh truyền sử dụng tín hiệu tham khảo DMRS được tách từ khối 103. Dữ liệu người dùng từ khối 104 và kênh truyền ước lượng từ khối 105 được đẩy vào khối 106 để thực hiện tách riêng tín hiệu của mỗi người dùng. Cuối cùng, khối 107 thực hiện giải điều chế biên độ vuông góc QAM (Quadrature Amplitude Modulation), và đầu ra là dòng bit cho mỗi người dùng.

Trên miền thời gian, tín hiệu của mỗi người dùng lan truyền theo kênh đa đường tới các ăng ten của trạm gốc. Tín hiệu thu được tại ăng ten  $n$  của trạm gốc là tổng hợp tín hiệu từ nhiều người dùng và nhiễu được tính theo công thức sau

$$y_n(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^q a_{n,m,i} x_m(t - \tau_{n,m,i}) + z_n \quad (1)$$

trong đó,

- $y_n(t)$  là tín hiệu thu được tại ăng ten thứ  $n$  của trạm gốc;
- $x_m$  là tín hiệu phát từ người dùng thứ  $m$ ; từ một người dùng  $m$ , tín hiệu lan truyền theo  $q$  đường khác nhau tới ăng ten  $n$  của trạm gốc;
- $a_{n,m,i}$  và  $\tau_{n,m,i}$  là suy hao và trễ của tuyến truyền thứ  $i$  đi từ người dùng thứ  $m$  tới ăng ten thứ  $n$  của trạm gốc; và
- $z_n$  là nhiễu ở ăng ten thu thứ  $n$  của trạm gốc.

Tại phía trạm gốc, tín hiệu thu  $y_n(t)$  được đưa qua bộ giải điều chế đa sóng mang trực giao (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) thực hiện bằng FFT. Với nhánh ăng ten thu thứ  $n$ , tín hiệu sau giải điều chế trên sóng mang con thứ  $k$  được tính theo công thức sau

$$Y_{n,k} = \sum_{m=1}^M H_{n,m,k} D_{m,k} + Z_{n,k} \quad (2)$$

trong đó,

- $Y_{n,k}$  là tín hiệu thu ở sóng mang con thứ  $k$ , trên ăng ten thứ  $n$  của trạm gốc;
- $D_{m,k}$  là tín hiệu phát của người dùng  $m$ , sóng mang con  $k$  ;
- $H_{n,m,k}$  là kênh truyền từ người dùng  $m$  tới ăng ten thứ  $n$ , tác động lên sóng mang con  $k$ ; và
- $Z_{n,k}$  là nhiễu trên miền tần số, tác động lên ăng ten thu thứ  $n$ .

Để tách tín hiệu của mỗi người dùng, kênh truyền đường lên  $H_{n,m,k}$  phải được ước lượng. Giả sử kênh truyền được ước lượng là  $\hat{H}_{n,m,k}$ , sau đó tín hiệu của các người dùng được tách bằng cách sử dụng thuật toán tối thiểu trung bình bình phương lỗi MMSE (Minimum Mean Square Error) như sau:

$$\hat{D}_k = (\hat{H}_k^H \hat{H}_k + \sigma^2 I)^{-1} (\hat{H}_k Y_k) \quad (3)$$

trong đó,

- $\hat{H}_k \in C^{N \times M}$  là ma trận kênh truyền ước lượng đường lên;
- $Y_k \in C^{N \times 1}$  là tín hiệu thu trên  $M$  ăng ten của trạm gốc ở sóng mang  $k$ ; và
- $D_k \in C^{M \times 1}$  là ước lượng của dữ liệu phát trên sóng mang  $k$  của  $M$  người dùng.

*Tín hiệu DMRS cho đường lên của hệ thống MIMO đa người dùng*

Hình 2 mô tả vị trí của tín hiệu pilot DMRS trong khung dữ liệu đường lên của hệ thống chuẩn LTE-A. Khối tài nguyên 201 bao gồm 7 ký hiệu OFDM (OFDM symbol) trên miền thời gian và 12 sóng mang con (subcarrier) trên miền tần số. Trên miền thời gian, tín hiệu DMRS 202 được đặt ở ký hiệu thứ 4 một khe thời gian (time slot). Trên miền tần số, tín hiệu DMRS được đặt ở các khối tài nguyên có chỉ số giống với khối tài nguyên mang dữ liệu 203. Để thực hiện đo tỉ số tín hiệu trên nhiễu ở mỗi nhánh ăng ten của trạm gốc, một số sóng mang con được để trống (Null) như ở khối 204, và một số sóng mang là tín hiệu tham khảo đo tỉ số tín hiệu trên nhiễu ( $p_{CNR}$  - Carrier to Noise Ration Pilot) như ở khối 205.

Trong hệ thống LTE-A và 5G, cùng một khối tài nguyên có thể được sử dụng lại cho nhiều người khác nhau. Mỗi người dùng có thể phát một hoặc nhiều luồng dữ liệu. Mỗi luồng dữ liệu này gọi là một lớp (layer). Các chuỗi tín hiệu DMRS khác nhau được chèn vào các luồng dữ liệu này. Trạm gốc sử dụng tín hiệu pilot DMRS để ước lượng kênh truyền cho mỗi luồng dữ liệu sau đó tách và khôi phục tín hiệu của mỗi luồng. Trong chuẩn LTE-A, tín hiệu DRMS được tính theo công thức sau

$$r_s^{(\lambda,u)}(k) = w^{(\lambda,u)}(s) e^{\frac{j2\pi k n_{cs,\lambda,u}}{12}} \bar{r}(k), 0 \leq k \leq N_{sc} \quad (4)$$

trong đó,

- $\bar{r}(k)$  là chuỗi cơ sở được tạo ra từ chuỗi Zadoff-Chu;
- $s \in \{0,1\}$  là chỉ số của tín hiệu DMRS trên miền thời gian;
- $\lambda \in \{0,1,2,3\}$  là chỉ số layer của một người dùng;
- $u$  là chỉ số người dùng;
- $k$  là chỉ số sóng mang; và
- $N_{sc}$  là tổng số sóng mang con của điều chế OFDM.

Để đảm bảo chuỗi pilot giữa các lớp (layer) khác nhau, giữa các người dùng khác nhau trực giao, mã trực giao OCC (Orthogonal Cover Code)  $w^{(\lambda,u)}$  và dịch pha  $\Phi_{u,k} = e^{\frac{j2\pi kn_{cs,\lambda,u}}{12}}$  được sử dụng. Đối với mỗi người dùng  $u$ , một lượng dịch pha  $\Phi_{u,k}$  được tính theo công thức sau

$$n_{cs,\lambda,u} = \{0,1,2, \dots, 11\} \quad (5)$$

Trên miền thời gian, mã trực giao  $w^{(\lambda,u)} = [+1, +1]$  hoặc  $w^{(\lambda,u)} = [+1, -1]$ . Trong trường hợp mỗi người dùng chỉ phát một luồng dữ liệu (một layer,  $\lambda = 1$ ), chỉ dùng dịch pha  $\Phi_{u,k}$  để đảm bảo tính trực giao giữa các chuỗi DMRS, tổng cộng có 12 chuỗi DMRS khác nhau. Do các chuỗi pilot cho các người dùng khác nhau được quay pha khác nhau, hàm truyền của các người dùng có thể được phân tách.

#### *Kiến trúc xử lý tín hiệu của bộ ước lượng kênh*

Hình 3 mô tả kiến trúc xử lý tín hiệu của bộ ước lượng kênh cho mỗi nhánh ăng ten của trạm gốc. Khối 301 thực hiện giải điều chế OFDM, khối 302 tách tín hiệu tham khảo DMRS dựa theo vị trí của tín hiệu DMRS trong một khung dữ liệu con. Đầu ra của khối 302 được nhân với liên hợp phức của chuỗi cơ sở  $\bar{r}(k)$ . Sau đó tín hiệu được đẩy vào  $M$  bộ dịch pha 304, lượng dịch pha được xác định trước cho mỗi người dùng. Đầu ra của khối 304 được đưa vào bộ lọc 305 để tách riêng kênh truyền của mỗi người dùng. Các bước cụ thể được thực hiện như sau:

Bước 1: Tại mỗi nhánh ăng ten của trạm gốc, ký hiệu DMRS được tách ra từ một khung con, sau đó được đưa vào khối giải điều chế OFDM. Tín hiệu đầu ra của bộ giải điều chế OFDM cho ký hiệu DMRS được biểu diễn bởi công thức sau:

$$Y_{n,k} = \sum_{m=1}^M H_{n,m,k} \Phi_{m,k} \bar{r}_k \quad (6)$$

Hàm truyền tổng của tất cả các người dùng tới ăng ten thứ  $n$  của trạm gốc được tính bằng cách nhân chuỗi  $Y_{n,k}$  với liên hợp phức của chuỗi pilot cơ sở  $r^*(k)$  theo công thức sau:

$$\bar{H}_{n,k} = Y_{n,k} \bar{r}^*(k) = \sum_{m=1}^M H_{n,m,k} \Phi_{m,k} \quad (7)$$

Bước 2: Để tách hàm truyền  $H_{n,u,k}$  của người dùng  $u$  từ hàm truyền tổng  $\bar{H}_{n,k}$ , hàm truyền tổng được dịch pha bằng cách nhân với liên hợp phức của chuỗi  $\Phi_{u,k}^*$  theo công thức sau:

$$\tilde{H}_{n,u,k} = \bar{H}_{n,k} \Phi_{u,k}^* = H_{n,u,k} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq u}}^M H_{n,m,k} \Phi_{m,k} \Phi_{u,k}^* \quad (8)$$

Đầu ra của bộ dịch pha ở nhánh thứ  $u$  gồm hàm truyền của người dùng  $u$  đã được kéo về quanh tần số 0Hz, và hàm truyền của các người dùng khác được dịch ra ngoài tần số 0Hz.

Bước 3: Sử dụng một bộ lọc thông thấp để lọc riêng hàm truyền của người dùng  $u$  khỏi nhiễu. Đầu ra của bộ lọc được tính theo công thức sau:

$$\hat{H}_{n,u,k} = \sum_{i=1}^{2L+1} \tilde{H}_{n,u,(k-\Delta+i)} w_i \quad (9)$$

Bộ lọc gồm có  $(2L + 1)$  hệ số lọc, và các hệ số lọc được tính như sau:

$$w_i = \frac{\sin(\pi f_{cut} i)}{\pi f_{cut} i} \times \frac{\cos(\pi \beta f_{cut} i)}{1 - (2\beta f_{cut} i)^2}, -L \leq i \leq L \quad (10)$$

trong đó,

-  $\beta$  là hệ số uốn của bộ lọc.

Hình 4 thể hiện các giá trị hệ số bộ lọc  $w_i$  với các giá trị  $\beta = 0,35$  và  $\beta = 0,8$ . Với giá trị  $\beta$  lớn, ví dụ  $\beta = 0,8$  các hệ số bộ lọc  $w_i$  suy giảm nhanh chóng, do đó chiều dài bộ lọc  $(2L + 1)$  ngắn, không tiêu tốn nhiều tài nguyên tính toán. Tuy nhiên, như được thể hiện trên Hình 5, khi bộ lọc ngắn ( $\beta = 0,8$ ) hàm truyền của bộ lọc trên miền tần số tiệm cận với hình tam giác, dẫn tới việc không thể ước lượng tốt kênh truyền có trải trễ lớn. Ngược lại với giá trị  $\beta$  nhỏ, bộ lọc có nhiều hệ số lọc, nhưng có thể ước lượng kênh truyền có trải trễ lớn. Từ kết quả mô phỏng cho kênh truyền ITU-B và thí nghiệm trên thiết bị testbed,  $\beta$  được chọn bằng 0,35 và tổng số hệ số lọc là 31.

*Ví dụ thực hiện sáng chế*

Để đánh giá hiệu quả của phương pháp ước lượng kênh theo sáng chế, một mô phỏng trên máy tính và thực nghiệm trên thiết bị chuyên dụng được thực hiện.

Bảng 1. Tham số hệ thống MIMO đa người dùng

| Tên tham số                                 | Giá trị        |    |
|---|----------------|----|
| Độ rộng sóng mang con                       | 15 kHz         |    |
| Kích thước FFT                              | 2048           |    |
| Độ dài khoảng bảo vệ của tín hiệu OFDM      | 4,6875 $\mu$ s |    |
| Độ dài tín hiệu OFDM không có khoảng bảo vệ | 66,67 $\mu$ s  |    |
| Tốc độ lấy mẫu                              | 30,72 MSPS     |    |
| Số ăng ten ở trạm gốc                       | 16             | 32 |
| Số người dùng                               | 4              | 8  |



|                  |         |
|------------------|---------|
| Tần số sóng mang | 2,6 GHz |
| Điều chế QAM     | 64      |

Bảng 1 thể hiện các tham số của hệ thống MIMO đa người dùng. Mô phỏng được thực hiện cho hệ thống MIMO đa người dùng với các kịch bản như sau.

- Hệ thống MIMO đa người dùng 16x4. Trạm gốc sử dụng 16 ăng ten, 4 người dùng, mỗi người dùng sử dụng một ăng ten. Kênh truyền ITU-B với trải trễ là  $1,85\mu s$ .
- Hệ thống MIMO đa người dùng 16x4. Kênh truyền ITU-B với trải trễ là  $3,7\mu s$ .
- Hệ thống MIMO đa người dùng 64x8. Kênh truyền ITU-B với trải trễ  $1,85\mu s$ .
- Hệ thống MIMO đa người dùng 64x8. Kênh truyền ITU-B với trải trễ  $3,7\mu s$ .

Độ chính xác của kênh truyền ước lượng được đánh giá qua các tham số sau:

- So sánh sai khác với kênh truyền thật bằng sai số toàn phương trung bình (Mean Square Error - MSE).
- Tỷ số bit lỗi so với công suất tín hiệu trên nhiễu nhận được tại trạm gốc.

Sai khác giữa kênh truyền thật và kênh truyền ước lượng được tính theo các công thức sau:

$$\sigma_H^2 = \frac{E\{|\hat{H} - H|^2\}}{E\{|H|^2\}} \quad (11)$$

$$E\{|\hat{H} - H|^2\} = \frac{1}{N} \frac{1}{M} \frac{1}{N_{sc}} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{N_{sc}} |\hat{H}_{n,m,k} - H_{n,m,k}|^2 \quad (12)$$

$$E\{|H|^2\} = \frac{1}{N} \frac{1}{M} \frac{1}{N_{sc}} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{N_{sc}} |H_{n,m,k}|^2 \quad (13)$$

trong đó:

$H_{n,m,k}$  là hàm truyền đường lên từ người dùng  $m$  lên ăng ten  $n$  của trạm gốc, tại sóng mang con thứ  $k$ .  $\hat{H}_{n,m,k}$  là hàm truyền đường lên ước lượng sử dụng phương pháp ước lượng kênh theo sáng chế. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu của tín hiệu thu ở mỗi nhánh ăng ten ở trạm gốc được ước lượng sử dụng một ký hiệu OFDM với các sóng mang để trống (null) như 204 ở Hình 2. Vị trí của các sóng mang trống ký hiệu là  $P_{CNR}$ , và được tính theo công thức sau:

$$P_{CNR} = Mq + 1, q = 0, 1, 2, \dots, \lfloor N_{sc}/M \rfloor \quad (14)$$

Các sóng mang còn lại được sử dụng để đo công suất của tín hiệu thu, vị trí các pilot này được ký hiệu là  $\bar{P}_{CNR}$ . Chiều dài của chuỗi pilot trống được dùng để ước lượng công suất nhiễu là  $P_{CNR} = \lfloor N_{sc}/M \rfloor$ , và chiều dài của chuỗi pilot được dùng để ước lượng

công suất tín hiệu là  $\bar{P}_{CNR} = N_{sc} - \lfloor N_{sc}/M \rfloor$ . Công suất nhiễu trung bình cho  $N$  ăng ten được tính theo công thức sau:

$$\sigma_N^2 = \frac{1}{N} \frac{1}{P_{CNR}} \sum_{n=1}^N \sum_{p_{CNR}=1}^{P_{CNR}} |Y_{n,p_{CNR}}|^2 \quad (15)$$

Công suất tín hiệu thu trung bình theo số người dùng được tính theo công thức sau:

$$\sigma_S^2 = \frac{1}{N} \frac{1}{\bar{P}_{CNR}} \sum_{n=1}^N \sum_{\bar{p}_{CNR}=1}^{\bar{P}_{CNR}} |Y_{n,\bar{p}_{CNR}}|^2 \quad (16)$$

### *Đánh giá kết quả thử nghiệm*

Hình 6 thể hiện đáp ứng kênh truyền từ 8 người dùng, đo tại một ăng ten của trạm gốc

Hình 7 thể hiện đánh giá tỉ lệ lỗi bit khi áp dụng thuật toán cho hệ thống MIMO với 4 người dùng, trạm gốc sử dụng 16 ăng ten, với kênh truyền đa đường ITU-B (trải trễ  $\tau = 1,85\mu s, 3,7\mu s, 5,6\mu s$ ). Tỉ lệ lỗi bit không thay đổi khi trải trễ tăng và nhỏ hơn khoảng bảo vệ của tín hiệu OFDM ( $4,6875\mu s$ ). Khi trải trễ lớn hơn khoảng bảo vệ, ví dụ  $\tau = 5,6\mu s$ , tỉ lệ lỗi bit tăng. Để đạt được tỉ lệ lỗi bit nhỏ hơn  $10^{-2}$ , tỉ số tín hiệu trên nhiễu phải lớn hơn 5,5dB.

Hình 8 thể hiện sự đánh giá độ chính xác của thuật toán ước lượng kênh cho hệ thống MIMO với 4 người dùng, trạm gốc sử dụng 16 ăng ten, với kênh truyền đa đường ITU-B. Độ chính xác được đo bằng tham số MSE. Tương tự, khi trải trễ tăng và nhỏ hơn khoảng bảo vệ, độ chính xác của kênh truyền ước lượng không thay đổi. Khi trải trễ lớn hơn khoảng bảo vệ của tín hiệu OFDM, độ chính xác giảm. Để đảm bảo độ chính xác MSE nhỏ hơn  $10^{-2}$ , tỷ số CNR trung bình cho các người dùng phải lớn hơn 6dB.

Hình 9 thể hiện sự đánh giá tỉ lệ lỗi bit khi áp dụng thuật toán cho hệ thống MIMO với 8 người dùng, trạm gốc sử dụng 32 ăng ten, dưới kênh truyền đa đường ITU-B. Trong trường hợp 8 người dùng, khi trải trễ tăng, tỉ lệ lỗi bit tăng nhanh hơn. Để đảm bảo tỉ lệ lỗi bit nhỏ hơn  $10^{-2}$ , tỉ số tín hiệu trên nhiễu phải lớn hơn 3,5dB. Khi trải trễ lớn hơn khoảng bảo vệ của tín hiệu OFDM, tỉ lệ lỗi bão hòa mặc dù tỉ số tín hiệu trên nhiễu tăng.

Hình 10 thể hiện sự đánh giá độ chính xác của thuật toán ước lượng kênh cho hệ thống MIMO với 8 người dùng, trạm gốc sử dụng 32 ăng ten, dưới kênh truyền đa đường ITU-B. Trong trường hợp 8 người dùng, độ chính xác MSE của kênh truyền ước lượng giảm khi trải trễ tăng (với cùng một giá trị tỉ số tín hiệu trên nhiễu). Với trải trễ nhỏ hơn  $4,63\mu s$ , để độ chính xác MSE nhỏ hơn  $10^{-2}$  tỉ số tín hiệu trên nhiễu phải lớn hơn 3,5dB. Với trải trễ  $5,6\mu s$  để đạt được cùng MSE, tỉ số tín hiệu trên nhiễu phải lớn hơn 4dB.

Hình 11 thể hiện sự đánh giá tỉ lệ lỗi bit của thuật toán ước lượng kênh truyền với thiết bị thử nghiệm. Hệ thống gồm trạm gốc với 16 ăng ten, và 2 hoặc 4 người dùng.

Trong trường hợp này, kênh truyền là trong nhà (Indoor), truyền thẳng (Line of Sight). Kết quả cho thấy hệ thống có thể hỗ trợ điều chế 256QAM cho 4 người dùng, đạt được tỉ lệ lỗi bit  $10^{-2}$  khi tỉ số tín hiệu trên nhiễu lớn hơn  $7dB$ .

*Các lợi ích đạt được của sáng chế*

Phương pháp ước lượng kênh đường lên của hệ thống MIMO đa người dùng theo sáng chế dùng cho kênh truyền trực tiếp trên miền tần số, do đó không cần sử dụng phép biến đổi FFT và IFFT. Đồng thời, phương pháp này có khả năng ước lượng kênh truyền với trễ trễ lớn, ví dụ  $3,7\mu s$  của kênh truyền ITU-B.

## YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp ước lượng kênh đường lên của hệ thống MIMO đa người dùng bao gồm các bước sau:

- i) tính hàm truyền tổng của tất cả các người dùng bằng cách nhân với liên hợp phức của chuỗi cơ sở;
- ii) dịch pha hàm truyền tổng này với các lượng dịch pha khác nhau tương ứng với mỗi người dùng bằng cách nhân với liên hợp phức của chuỗi  $\Phi_{u,k}^*$  theo công thức sau:

$$\tilde{H}_{n,u,k} = \bar{H}_{n,k} \Phi_{u,k}^* = H_{n,u,k} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq u}}^M H_{n,m,k} \Phi_{m,k} \Phi_{u,k}^*$$

trong đó:

- $H_{n,u,k}$  và  $H_{n,m,k}$  tương ứng là kênh truyền từ người dùng  $u$  và người dùng  $m$  tới ăng ten thứ  $n$ , tác động lên sóng mang con  $k$ ;
- $\bar{H}_{n,k}$  là hàm truyền tổng của tất cả các người dùng;
- $\Phi_{u,k}^*$  là liên hợp phức của dịch pha  $\Phi_{u,k} = e^{\frac{j2\pi kn}{12}}$ ;

iii) sử dụng bộ lọc đáp ứng xung hữu hạn (Finite Impulse Response - FIR) để tách lấy hàm truyền của mỗi người dùng;

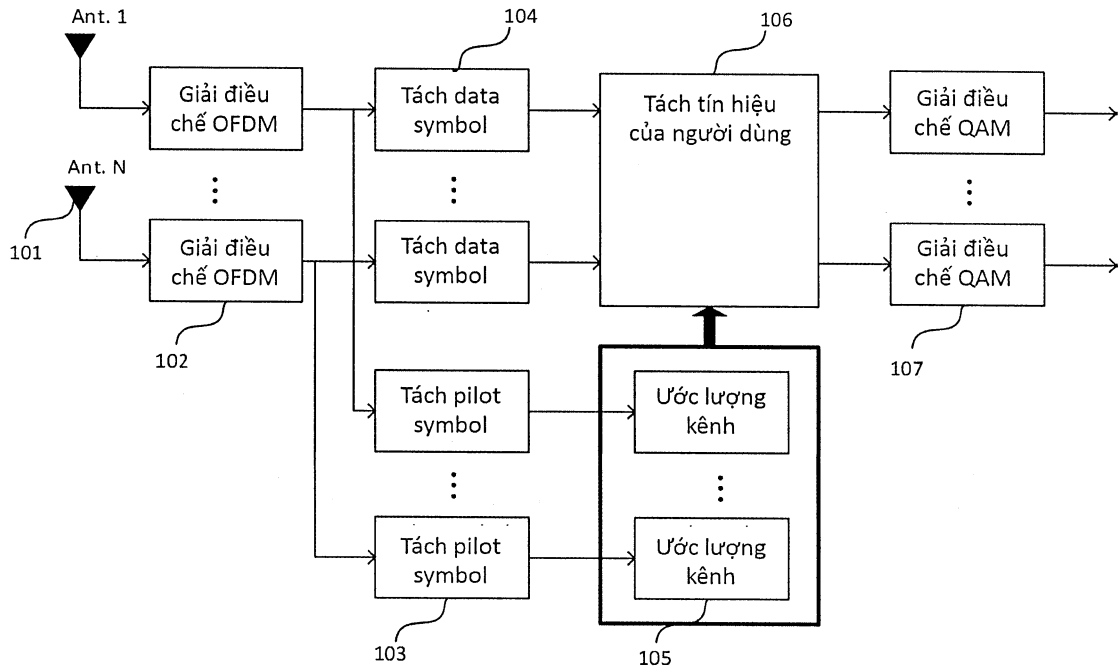
khác biệt ở chỗ:

- phương pháp này không sử dụng phép biến đổi Fourier nhanh (Fast Fourier Transform - FFT) và phép biến đổi Fourier nhanh nghịch đảo (Inverse Fast Fourier Transform - IFFT) để chuyển hàm truyền sang đáp ứng xung, do đó không cần sử dụng các cửa sổ để tách đáp ứng xung của mỗi người dùng; và
- phương pháp này thực hiện việc ước lượng hàm truyền của mỗi người dùng trên miền số sử dụng bộ lọc FIR đơn giản có đáp ứng xung được tính theo công thức sau:

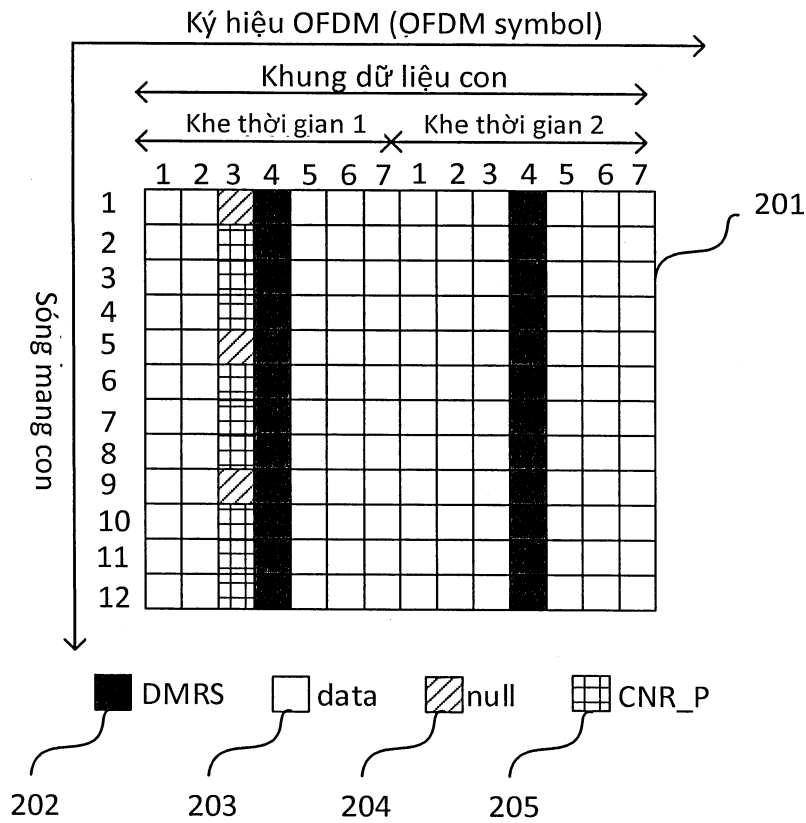
$$w_i = \frac{\sin(\pi f_{cut} i)}{\pi f_{cut} i} \times \frac{\cos(\pi \beta f_{cut} i)}{1 - (2\beta f_{cut} i)^2}, -L \leq i \leq L$$

trong đó:

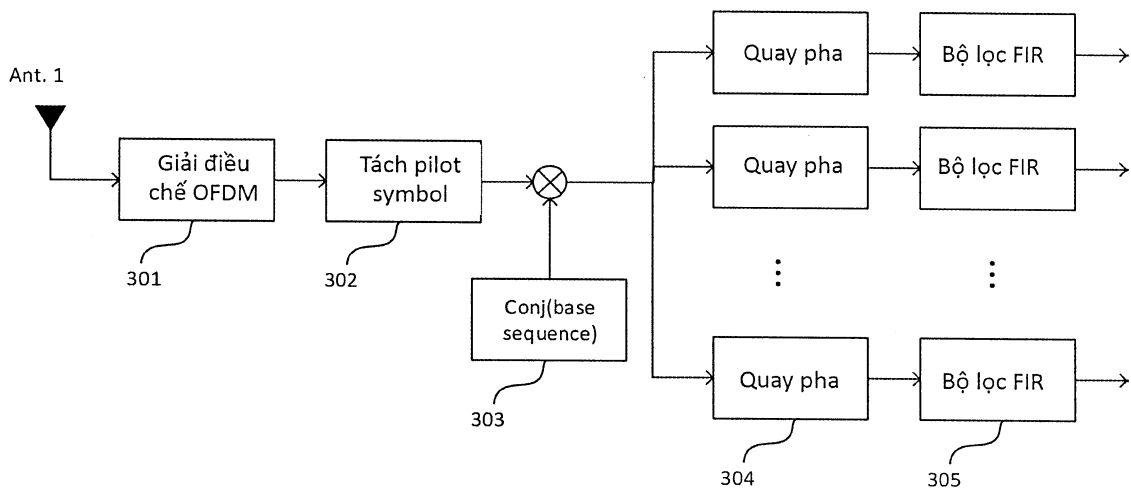
- $f_{cut}$ : tần số cắt của bộ lọc;
- $L$ : chiều dài hệ số bộ lọc;
- $i$ : số thứ tự đáp ứng xung;
- $\beta$ : hệ số uốn của bộ lọc; và
- $w_i$ : hệ số bộ lọc.



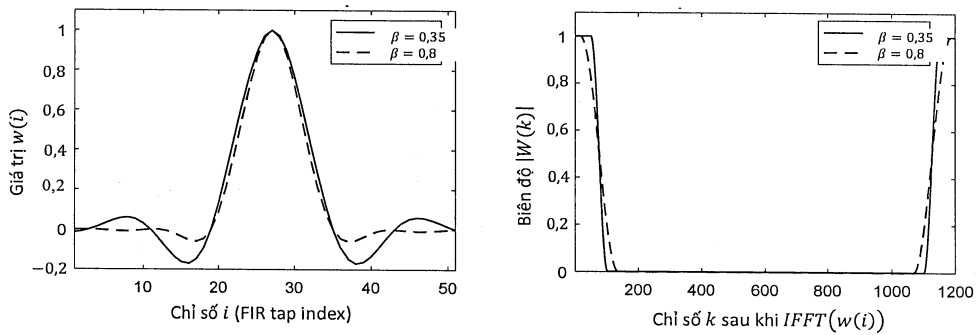
HÌNH 1



HÌNH 2



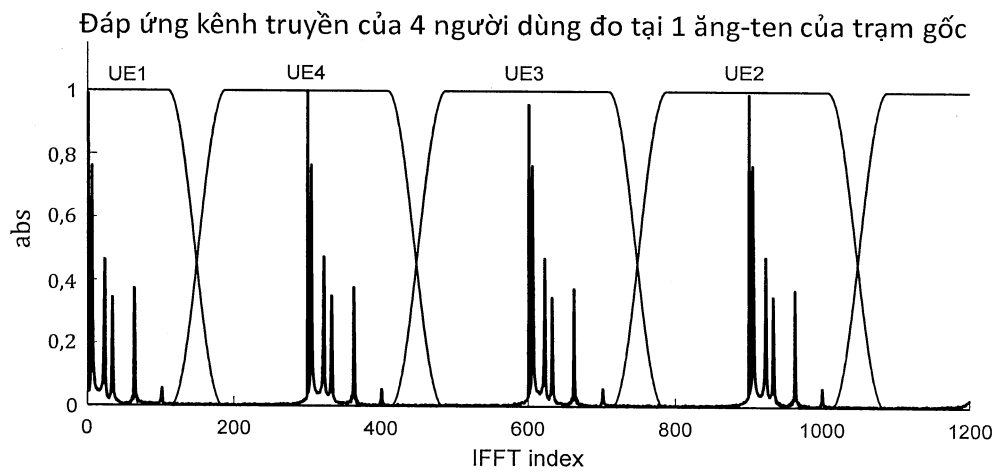
HÌNH 3



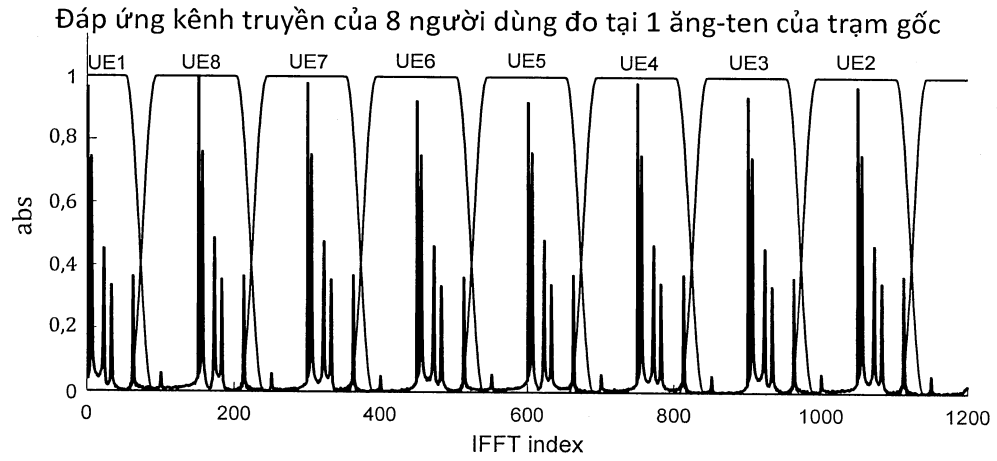
4a) Đáp ứng xung của bộ lọc ước lượng kênh

4b) Hàm truyền của bộ lọc ước lượng kênh

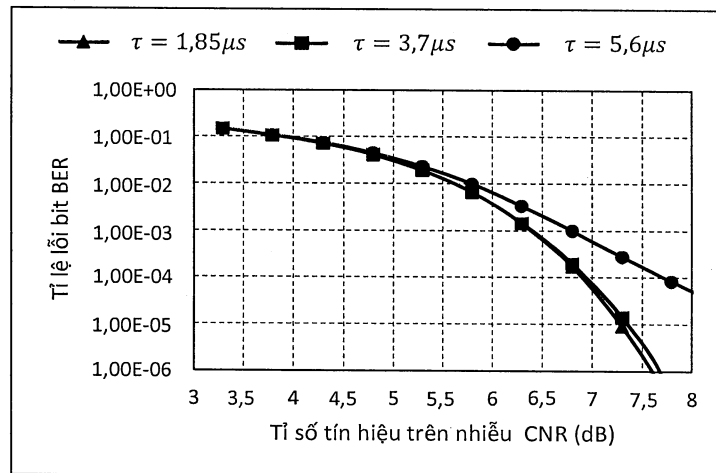
HÌNH 4



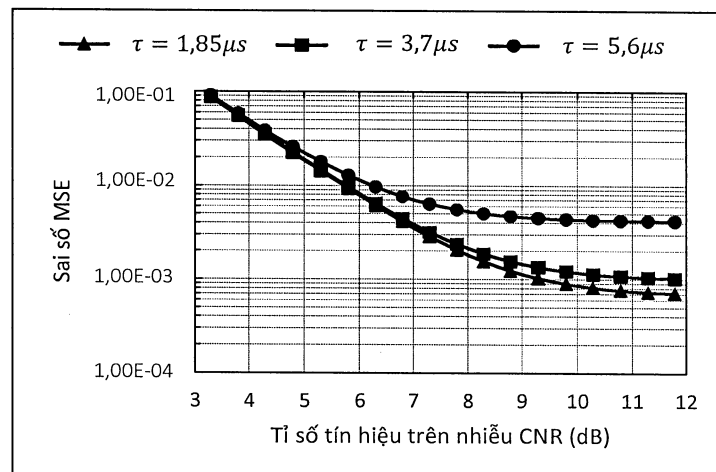
HÌNH 5



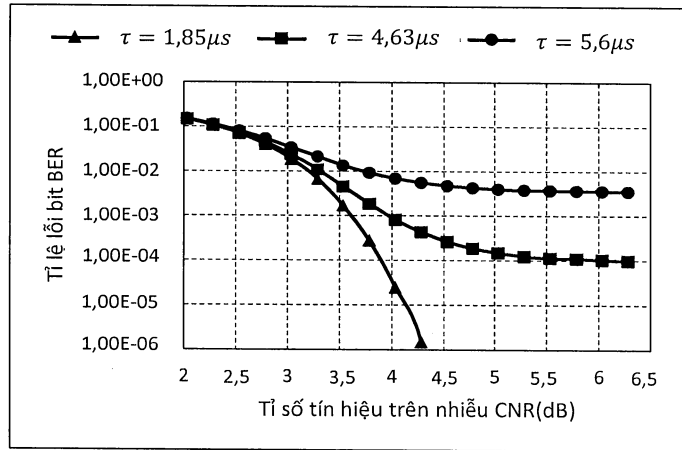
HÌNH 6



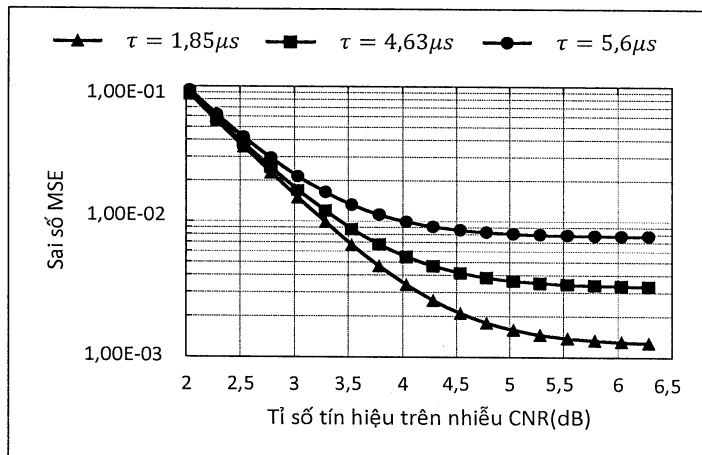
HÌNH 7



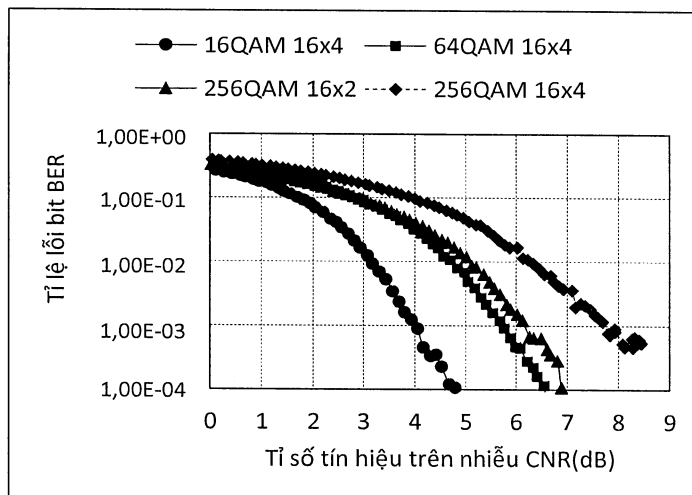
HÌNH 8



HÌNH 9



HÌNH 10



HÌNH 11