Kết hợp mã hóa mạng lớp vật lý và lựa chọn nút chuyển tiếp cho kênh vô tuyến chuyển tiếp hai chiều

Combined Relay Selection and Physical Layer Network Coding for Wireless Two-Way Relay Network

Vũ Đức Hiệp và Trần Xuân Nam

Abstract: *Network coding at the physical layer - (Physical layer Network Coding: PNC) is a promising technique to increase transmission throughput over two-way relay wireless networks. In a relay network, selecting a most capable intermediate node to serve as the relay help to increase transmission performance. This paper applies the selection to the MIMO-PNC network and proposes three relay selection algorithms based on the eigenvalue, harmonic mean (harmmean) and norm of the channel matrix. It is shown that the eigenvalue based algorithm has the best BER performance.*

Key words: *PNC, selected relay, wireless network, network coding.*

I. GIỚI THIỆU

Mã hóa mạng- Network Coding (NC) lần đầu tiên được đề xuất trong [2] là một kỹ thuật hứa hẹn đạt được dung lượng max-flow min-cut trong truyền dẫn đa đường. Mã hóa mạng tuyến tính được biết như là một biện pháp hiệu quả để tăng thông lượng mạng [3]. Mã hóa mạng thông thường được áp dụng cho các mạng không dây. Truyền thông không dây từ điểm - điểm đến phương thức đa chặng có các nút chuyển tiếp. Ứng dụng của mã hóa mạng với các mạng không dây là phương pháp tiếp cận tự nhiên để tăng thông lượng của mạng.

Hệ thống MIMO đã được biết đến như một giải pháp quan trọng để tăng dung lượng kênh truyền trong môi trường pha đinh. Sự kết hợp MIMO và mã hóa mạng cho phép đạt được thông lượng của mạng tốt.

Từ vấn đề nêu trên cần làm rõ một số nội dung sau: Một là sự khác biệt của mã hóa mạng cho các mạng có dây và không dây; Hai là làm thế nào để thực hiện mã hóa mạng lớp vật lý (PNC) cho mạng không dây; Ba là làm thế nào để đạt được mã hóa trong mạng không dây MIMO; Bốn là hướng mở có thể thực hiện PNC.

Đã có nhiều công trình nghiên cứu về truyền thông hợp tác MIMO hai chiều. Timo Unger và Anja Klein trong công trình [4] đã nghiên cứu phân tích phẩm chất hệ thống chuyển tiếp hai chiều với trạm chuyển tiếp đa ăng-ten. MIMO chuyển tiếp hai chiều chỉ yêu cầu thông tin trạng thái kênh truyền CSI (Channel state information) ở các trạm chuyển tiếp qua đó làm giảm đáng kể tiếp đầu thông tin CSI (CSI signaling overhead). So sánh với các giao thức khác, hiệu suất đạt được xét về tốc độ tổng của đề xuất giao thức chuyển tiếp hai chiều MIMO là tốt hơn. Trong công trình nghiên cứu [5] Shengli Zhang cùng cộng sự đã chỉ ra rằng áp dụng trực tiếp của mã hóa mạng NC ở lớp vật lý trong mạng chuyển tiếp không dây có thể tăng gấp đôi dung lượng của hai hướng truyền thông điểm-điểm.

Công trình nghiên cứu [6] phân tích và so sánh các mô hình PNC với 2,3,4 time slot. Kết quả chỉ ra rằng đối với mô hình PNC 2 time slot cho tốc độ tổng cực đại tốt hơn các mô hình còn lại. Sungsoo Kim cùng cộng sự trong công trình nghiên cứu [7] đã kết hợp NC cho các hệ thống chuyển tiếp MIMO với bộ cân bằng trước tuyến tính trong kênh hai chiều. Mô hình đề xuất này làm tăng độ lợi ghép kênh 2 lần và cùng bậc phân tập so với chuyển tiếp một chiều. Công trình

[8] xem xét mô hình mã hóa mạng (NC) trong đó nút chuyển tiếp ước lượng từng tín hiệu x_1 và x_2 từ hai nút đầu cuối 1 và 2, sau đó thực hiện chuyển tiếp phiên bản mã hóa mạng ở dạng $x_1 \oplus x_2$ tới hai nút đầu cuối. Trong công trình [1] Zhang và Liew đã đề xuất mô hình mã hóa mạng lớp vật lý PNC (Physical Layer Network Coding) với nhiều ăng-ten được gọi là MIMO-PNC. Trong mô hình PNC, nút Chuyển tiếp không ước lượng các tín hiệu x_1 và x_2 riêng biệt mà ước lượng các phiên bản kết hợp $x_1 + x_2$ và $x_1 - x_2$ và chuyển tiếp các phiên bản này đến 2 đầu cuối. Ưu điểm của phương pháp PNC so với NC như chỉ ra ở [1] là mang lại hiệu suất BER tốt hơn do không chịu ảnh hưởng của hiện tượng lan truyền lỗi (error propagation) do tách nhầm tín hiệu một cách riêng rẽ trước khi chuyển tiếp cho các nút Đích.

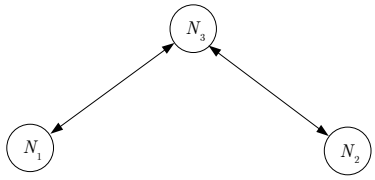
Trong bài báo này, dựa trên ý tưởng [1] đối với mô hình MIMO-PNC, chúng tôi đề xuất sử dụng kết hợp lựa chọn nút với PNC để tăng chất lượng truyền. Chúng tôi sử dụng 3 thuật toán lựa chọn nút Chuyển tiếp, cụ thể là dựa trên giá trị riêng (eigenvalue), trung bình hài hòa (harmmean) và chuẩn của ma trận kênh truyền (channel norm). Ba thuật toán đề xuất này cho phẩm chất BER tốt hơn so với mô hình không sử dụng lựa chọn nút đề xuất trong [1].

Bài báo này được tổ chức như sau: Mô hình của hệ thống MIMO PNC được trình bày trong mục II. Mục III trình bày các phương pháp lựa chọn nút Chuyển tiếp. Các kết quả mô phỏng được chỉ ra trong mục IV và cuối cùng mục V là kết luận của bài báo.

II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

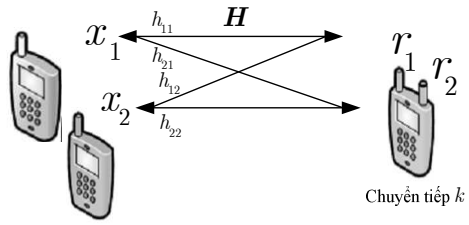
II.1. Mô hình hệ thống

Chúng tôi xem xét kênh Chuyển tiếp hai chiều tương tự [1], như minh họa trong Hình 1. Một hệ thống mạng bao gồm hai nút Cuối N_1 và N_2 trao đổi thông tin qua nút Chuyển tiếp N_3. Không có đường kết nối trực tiếp giữa hai nút Cuối. Để đơn giản giả sử các nút Cuối được trang bị 1 ăng-ten, và nút Chuyển tiếp được trang bị 2 ăng-ten.



Hình 1. Mô hình kênh chuyển tiếp hai chiều

Từ mô hình và giả thiết trên chúng ta có thể vẽ lại mô hình Chuyển tiếp thứ K với $k = 1,2...K$ hai chiều như Hình 2.



Hình 2. Mô hình hệ thống chuyển tiếp hai chiều tương đương

Việc truyền dẫn PNC bao gồm hai pha. Pha đầu tiên cả hai nút Cuối đều truyền cùng một lúc đến nút Chuyển tiếp. Giả thiết tín hiệu hai nút Cuối đến nút Chuyển tiếp với các symbol đồng bộ. Tín hiệu thu tại nút Chuyển tiếp biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} r_1 &= h_{11}x_1 + h_{12}x_2 + n_1 \\ r_2 &= h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + n_2 \end{aligned} \quad (1)$$

trong đó r_i ký hiệu tín hiệu thu được tại ăng-ten thứ i của nút Chuyển tiếp, h_{ij} là hệ số kênh Gaussian phức từ nút N_j đến ăng-ten thứ i của nút Chuyển tiếp, x_i là tín hiệu phát của nút N_i và n_j là tạp âm Gaussian phức tại ăng-ten thứ j của nút Chuyển tiếp với trung bình bằng 0 và phương sai σ^2 cho cả hai chiều.

Giả thiết các nút được điều chế BPSK. Trong pha đầu tiên, giả thiết biết thông tin về kênh đầy đủ tại nút Chuyển tiếp (nút nhận) và không có thông tin về kênh tại hai nút Cuối (nút phát). Sự ảnh hưởng của công suất phát

và pha sóng mang được thể hiện trong hệ số kênh phức. Công thức (1) được viết dưới dạng véc tơ như sau:

$$\boldsymbol{R} = \boldsymbol{HX} + \boldsymbol{N} \quad (2)$$

trong đó kí hiệu $\boldsymbol{H}$ là ma trận kênh, $\boldsymbol{X}$ là véc tơ tín hiệu phát, $\boldsymbol{N}$ là véc tơ tạp âm, $\boldsymbol{R}$ là véc tơ tín hiệu thu. Nút Chuyển tiếp cố gắng ước lượng dạng mã hóa mạng của tín hiệu hai nút Cuối nghĩa là $x_1 \oplus x_2$. Trong đó ký hiệu $\oplus$ là phép XOR. Trong pha hai, nút Chuyển tiếp phát các ước lượng gói dữ liệu được mã hóa mạng cho cả hai nút Cuối. Mỗi nút Cuối sau đó giải mã gói dữ liệu nhận được bằng cách thực hiện phép XOR giữa tín hiệu thu được với thông tin chính nó.

II.2. Mô hình tách tín hiệu MIMO-PNC

Công trình [1] đã đề xuất mô hình PNC dựa trên tách tuyến tính MIMO. Trong mô hình này nút Chuyển tiếp ước lượng $x_1 + x_2$ và $x_1 - x_2$ chứ không riêng lẻ x_1 và x_2 từ tín hiệu thu được. Sau đó nó phát cả $x_1 + x_2$ và $x_1 - x_2$ đến các nút Cuối, tín hiệu $x_1 \oplus x_2$ với phép ánh xạ PNC. Tín hiệu thu được trong (2) có thể được viết như sau [1]:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{R} &= \boldsymbol{HX} + \boldsymbol{N} \\ &= (\boldsymbol{HD}^{-1})(\boldsymbol{DX}) + \boldsymbol{N} = \hat{\boldsymbol{H}}\hat{\boldsymbol{X}} + \boldsymbol{N} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\boldsymbol{D} = 2\boldsymbol{D}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Đối với tách tuyến tính, cần phải tìm ma trận cân bằng $\boldsymbol{G}$ tương ứng với $\hat{\boldsymbol{H}}$ để tính ước lượng của $\hat{\boldsymbol{X}}$. Ước lượng của thông tin phát được tính [1]:

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{GR} = \boldsymbol{G}\hat{\boldsymbol{H}}\hat{\boldsymbol{X}} + \boldsymbol{GN} \quad (4)$$

Trường hợp tách ZF (Zero-Forcing), $\boldsymbol{G} = (\hat{\boldsymbol{H}}^H\hat{\boldsymbol{H}})^{-1}\hat{\boldsymbol{H}}^H$, còn đối với trường hợp tách MMSE (Minimum mean square error), $\boldsymbol{G} = (\sigma^2\boldsymbol{I} + \hat{\boldsymbol{H}}^H\hat{\boldsymbol{H}})^{-1}\hat{\boldsymbol{H}}^H$.

Tín hiệu ước lượng của $\hat{\boldsymbol{X}}$ như sau:

$$\hat{\boldsymbol{X}} = \begin{pmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 + x_2 \\ x_1 - x_2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Theo [1] sử dụng Log Likelihood Ratio (LLR) của $x_1 \oplus x_2$ từ y_1 và y_2 như sau:

$$\begin{aligned} L(x_1 \oplus x_2 \,|\, y_1 y_2) &= \frac{P(y_1 y_2 \,|\, x_1 \oplus x_2 = 1)}{P(y_1 y_2 \,|\, x_1 \oplus x_2 = -1)} \\ &= \exp(2/\sigma_2^2 - 2/\sigma_1^2)\cosh(2y_1/\sigma_1^2)/\cosh(2y_2/\sigma_2^2) \end{aligned} \quad (6)$$

trong đó $\sigma_i^2 = \left\{\boldsymbol{G}^H\boldsymbol{G}\right\}_{i,i}\sigma^2$ là phương sai tạp âm của dòng thứ i sau kết hợp tuyến tính**.** Nguyên tắc quyết định như sau [1]:

$$\widetilde{x_1 \oplus x_2} = \begin{cases} 1 \text{ khi } L(x_1 \oplus x_2 \,|\, y_1 y_2) \geq 1 \\ -1 \text{ khi } L(x_1 \oplus x_2 \,|\, y_1 y_2) < 1 \end{cases} \quad (7)$$

Công thức (6) thể hiện Log Likelihood Ratio (LLR) của tín hiệu Chuyển tiếp là lấy tổng của LLR của mỗi luồng dữ liệu. [1] cũng chỉ ra rằng LLR có phẩm chất tốt nhất, nhưng cũng cần phải tính đến phương sai của tạp âm và được tính như sau [1]:

$$\begin{aligned} &\widetilde{x_1 \oplus x_2} = \\ &= \begin{cases} \text{sign}(\text{abs}(y_1)\text{-thr}) \text{ when } \left\{\boldsymbol{GG}^H\right\}_{1,1} < \left\{\boldsymbol{GG}^H\right\}_{2,2} \\ \text{sign}(\text{thr-abs}(y_2)) \quad \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

Để đơn giản đặt $\text{thr} = 1$, dựa trên LLR và nguyên tắc quyết định dựa vào lựa chọn (Selective) theo (8).

III. CÁC PHƯƠNG PHÁP LỰA CHỌN NÚT CHUYỂN TIẾP

Các thuật toán lựa chọn nút Chuyển tiếp được thực hiện theo mô hình phân tán tương tự như trong các tài liệu tham khảo [9-11]**.** Trong [10] nhóm tác giả đã đề xuất ba thuật toán như lựa chọn nút dựa trên chuẩn ma trận kênh (norm), lựa chọn nút dựa trên trung bình hài hòa (harmonic mean), lựa chọn nút dựa trên MSE (Maximum Square Error). Trong [10] nhóm tác giả đã đề xuất hai thuật toán như lựa chọn nút dựa trên giá trị riêng (Eigenvalue), lựa chọn nút dựa trên SNR (Signal to Noise Ratio). [10,11] đã chứng minh được rằng thuật toán lựa chọn nút dựa trên SNR cho phẩm chất BER tốt nhất, kế đến là lần lượt là các thuật toán

Eigenvalue, MSE, Harmonic mean và cuối cùng là Norm. Các thuật toán này đều được đề xuất sử dụng cho mô hình MIMO-SDM (phân chia theo không gian) sử dụng bộ tách tín hiệu đa ăng-ten ZF hoặc MMSE tại nút Đích nên việc áp dụng vào mô hình MIMO-PNC là chưa khả thi. Vì vậy để bảo đảm tính khả thi, chúng tôi chỉ đề xuất sử dụng 3 phương pháp lựa chọn nút dựa trên chuẩn ma trận kênh, lựa chọn nút dựa trên trung bình hài hòa và lựa chọn nút dựa trên giá trị riêng vào mô hình MIMO-PNC.

Điều này có nghĩa rằng các nút Chuyển tiếp $k = 1, 2, \ldots, K$ sẽ hợp tác với nhau để chọn một nút có khả năng nhất làm nút Chuyển tiếp. Để mà làm được như vậy, các nút Chuyển tiếp sẽ sử dụng thông tin về kênh có sẵn đến chúng qua các liên kết cục bộ. Giả thiết mỗi nút Chuyển tiếp đều biết kênh thuận từ các nút Cuối đến nó ký hiệu là $\boldsymbol{H}^{xk}$. Mỗi nút k sẽ tính chỉ số chất lượng kênh truyền (CQI: channel quality index) của các nút Cuối đến chính nó. Nút có CQI lớn nhất được ký hiệu là κ sẽ được lựa chọn làm nút Chuyển tiếp. Trong phần tiếp theo trình bày các phương pháp lựa chọn nút Chuyển tiếp cho kênh vô tuyến Chuyển tiếp hai chiều MIMO-PNC.

III.1. Lựa chọn nút chuyển tiếp dựa trên giá trị riêng (Eigenvalue) của kênh

Ý tưởng của lựa chọn nút Chuyển tiếp này dựa trên giá trị riêng xuất phát từ thực tế rằng trong các hệ thống MIMO trị riêng của ma trận kênh là được xem như là độ lợi năng lượng của kênh [11,12]. Kết quả là kênh mà có giá trị riêng lớn hơn sẽ có độ lợi năng lượng hơn. Giá trị riêng của kênh $\boldsymbol{H}^{ab}$ là giải phương trình đặc trưng sau đây

$$\det(\boldsymbol{H}^{ab} - \lambda \boldsymbol{I}) = 0, \tag{9}$$

Trong đó $\boldsymbol{I}$ là một ma trận dạng $N \times N$ và $\det(\cdot)$ là đa thức đặc trưng của ma trận được hình thành bởi $\boldsymbol{H}^{ab} - \lambda \boldsymbol{I}$. Ma trận $\boldsymbol{H}^{ab}$ là một ma trận phức $(N \times N)$ sẽ có N giá trị riêng khác nhau. Ma trận $\boldsymbol{H}^{ab}$ xem xét ở đây có dạng (2×2) sẽ có 2 giá trị riêng được cho bởi:

$$\lambda_{1,2}^{ab} = \frac{(h_{11}^{ab} + h_{22}^{ab}) \pm \sqrt{(h_{11}^{ab} + h_{22}^{ab})^2 - 4(h_{11}^{ab} h_{22}^{ab} - h_{12}^{ab} h_{21}^{ab})}}{2} \tag{10}$$

Để có được CQI thì mỗi nút Chuyển tiếp k đầu tiên sẽ lựa chọn $\lambda^k = \min\left(\lambda_{1,2}^{xk}\right)$ và sau đó tính $\mathrm{CQI}^k = \lambda^k$. Thuật toán lựa chọn max-min dựa trên giá trị riêng được tóm tắt ở dạng pseudocode (mã giả) như trong bảng 1. Điều chú ý rằng với trường hợp số ăng-ten lớn $(N > 2)$, việc tính toán giá trị riêng như trong công thức (10) là không còn chính xác và vì vậy phải sử dụng các thuật toán để tính giá trị riêng của ma trận bậc cao.

Bảng 1. Thuật toán lựa chọn nút Chuyển tiếp dựa trên giá trị riêng (eigen value) của kênh

Input:	K, $\boldsymbol{H}^{xk}$
for	$k = 1$ to K
	Tính $\lambda_{1,2}^{xk}$ theo (10)
	Lựa chọn $\lambda^k = \min\left\{\lambda_{1,2}^{xk}\right\}$
	tính $\mathrm{CQI}_k = \lambda^k$
	Lựa chọn $\kappa = \arg\max_k \{\mathrm{CQI}_k\}$
end for	
Output:	nút κ là chuyển tiếp r

III.2. Lựa chọn nút chuyển tiếp theo chuẩn của véc-tơ kênh (channel norm)

Ý tưởng chính của thuật toán này là đánh giá độ lợi kênh MIMO cho Chuyển tiếp hai chiều. Tiêu chí sử dụng để đánh giá độ lợi kênh MIMO là chuẩn (norm) của ma trận kênh [9,10]. Thuật toán này cũng được mở rộng cho trường hợp kênh Chuyển tiếp hai chiều, chỉ số CQI tương ứng với nút Chuyển tiếp k được cho bởi công thức sau:

$$\mathrm{CQI}_k = \min\left\{\left\|\boldsymbol{H}^{xk}\right\|_2^2\right\} \tag{11}$$

$$\kappa = \arg\max_k \{\mathrm{CQI}_k\} \tag{12}$$

trong đó $\left\|\boldsymbol{H}\right\|_2^2$ biểu diễn chuẩn Frobenious của $\boldsymbol{H}$.

Nút Chuyển tiếp tốt nhất sẽ được lựa chọn theo công thức (12). Chi tiết thuật toán lựa chọn nút Chuyển tiếp theo chuẩn của véc-tơ kênh ở dạng pseudocode (mã giả) được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Thuật toán lựa chọn nút Chuyển tiếp theo chuẩn của véc-tơ kênh (channel norm)

Input:	K, $\boldsymbol{H}^{xk}$
for	$k = 1$ to K
	tính CQI_k theo (11)
	Lựa chọn $\kappa = \arg\max_k \{\mathrm{CQI}_k\}$
end for	
Output:	nút κ là chuyển tiếp r

III.3. Lựa chọn nút chuyển tiếp theo tiêu chuẩn trung bình hài hoà (harmonic mean)

Trong trường hợp này các nút Chuyển tiếp sẽ sử dụng trung bình hài hòa (harmonic mean) thành phần biên độ của kênh làm tiêu chí lựa chọn [9,10]. Thuật toán lựa chọn dựa trên cực đại hóa trung bình hài hòa cũng có thể được mở rộng cho trường hợp kênh Chuyển tiếp hai chiều. Mỗi nút Chuyển tiếp tồn tại một liên kết như Hình 2. Kênh MIMO trên một liên kết có chứa 2x2 kênh thành phần. Vì vậy, trung bình hài hòa của độ lợi kênh trong trường hợp này sẽ được tính như sau:

$$\mathrm{CQI}_k = \frac{2}{\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\frac{1}{\left|h_{ij}^{xk}\right|^2}} \qquad (13)$$

Dựa trên chỉ số chất lượng kênh truyền này và công thức (12), có thể biểu diễn thuật toán lựa chọn nút Chuyển tiếp theo tiêu chuẩn trung bình hài hoà ở dạng pseudocode như Bảng 3.

Bảng 3. Thuật toán lựa chọn nút Chuyển tiếp theo tiêu chuẩn trung bình hài hòa

Input:	K, $\boldsymbol{H}^{xk}$
for	$k = 1$ to K
	tính CQI_k theo (13)
	Lựa chọn $\kappa = \arg\max_k \{\mathrm{CQI}_k\}$
end for	
Output:	nút κ là chuyển tiếp r

IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

IV.1. Mô hình mô phỏng

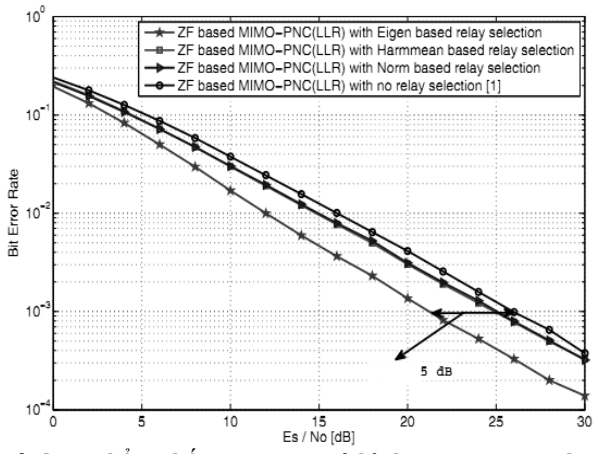
Để chứng minh lợi thế của các thuật toán trên đối với mô hình kênh Chuyển tiếp hai chiều MIMO-PNC, chúng tôi có thực hiện khác nhau mô phỏng Monte-Carlo để có được BER trung bình. Trong kịch bản mô phỏng đầu tiên, chúng tôi sử dụng một mô hình đơn giản với ba nút, tức là 2 nút Cuối và 1 nút Chuyển tiếp. Để lựa chọn nút Chuyển tiếp, chúng tôi giả định rằng có hai nút Chuyển tiếp trong vùng phủ sóng của 2 nút Cuối. Các thuật toán lựa chọn nút sẽ được sử dụng để chọn nút tốt nhất làm nút Chuyển tiếp. Các kênh giữa 2 nút Cuối đến các nút Chuyển tiếp được giả định chịu ảnh hưởng của pha-đinh Rayleigh không tương quan. Các nút Cuối được trang bị một ăng-ten, nút Chuyển tiếp được trang bị hai ăng-ten và truyền tín hiệu BPSK trên hai nhánh song song. Năng lượng symbol trung bình của mỗi nút được chuẩn hóa là E_s. Nút Chuyển tiếp sử dụng bộ kết hợp ZF, MMSE trong phần II (0) để ước lượng tín hiệu phát. Từ tín hiệu ước lượng này sẽ được mã hóa theo phép ánh xạ modul-2 (XOR) bằng phương pháp LLR hoặc Selective để phát quảng bá tới hai nút Cuối. Trong mô phỏng thứ hai, chúng tôi sử dụng một mô hình tương tự nhưng tỷ số E_b/N_0 là cố định, trong khi số lượng các nút Chuyển tiếp tăng lên để phân tích hiệu quả của việc lựa chọn một nút Chuyển tiếp từ một số lượng lớn các nút. Trong tất cả các mô phỏng, BER của trường hợp không lựa chọn nút [1] cũng được vẽ lên để so sánh.

IV.2. Phân tích hiệu suất

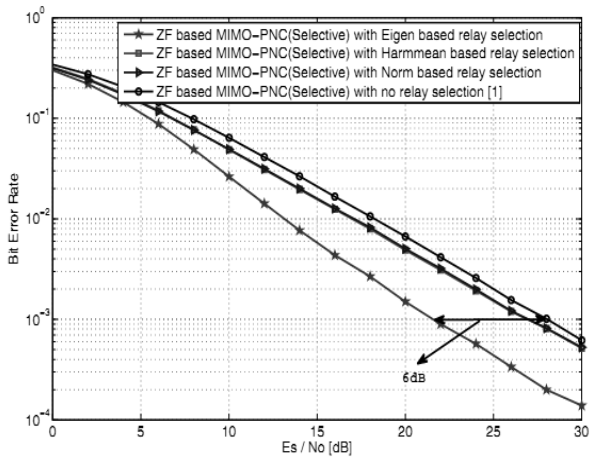
Hình 3 và Hình 4 so sánh hiệu suất BER trung bình thu được của các thuật toán đề xuất so với trường hợp không lựa chọn nút mà [1] đề xuất trong mô hình MIMO-PNC sử dụng tách ZF (LLR và Selective).

Từ Hình 3 và Hình 4 chúng ta thấy rõ ràng ba thuật toán được đề xuất có hiệu suất BER tốt hơn trong trường hợp không lựa chọn nút mà [1] đã đề xuất, tại tất cả khu vực E_b/N_0 thấp, và E_b/N_0 cao. Cụ thể, tại $\mathrm{BER} = 10^{-3}$ thuật toán đề xuất lựa chọn nút Chuyển tiếp dựa trên giá trị riêng của ma trận kênh có tỉ số

E_b/N_0 tốt hơn $5\,\mathrm{dB}$ (sử dụng tách ZF-LLR) và $6\,\mathrm{dB}$ (sử dụng tách ZF-Selective) trong khi thuật toán đề xuất dựa trên chuẩn của véc-tơ kênh và trung bình hài hòa cải thiện đạt được 1dB. Rõ ràng khoảng cách giữa thuật toán đề xuất lựa chọn nút dựa trên Eigenvalue là lớn hơn nhiều so với các thuật toán đề xuất còn lại.

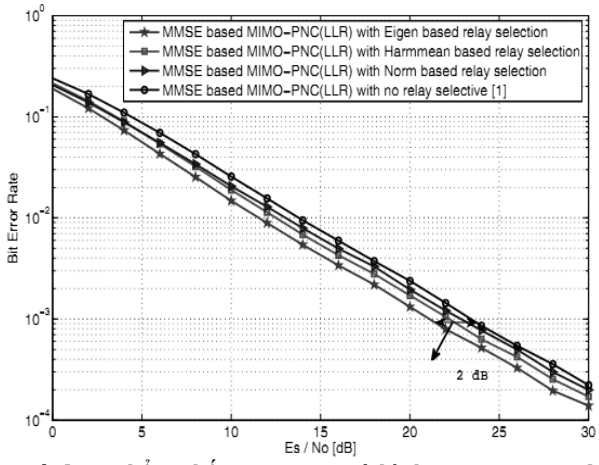


Hình 3. Phẩm chất BER của mô hình MIMO-PNC dựa trên ZF (LLR) cho các trường hợp lựa chọn nút khác nhau và không lựa chọn nút, 2 nút chọn 1

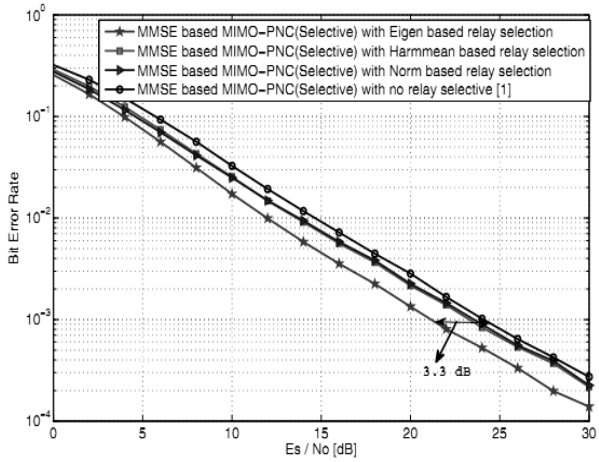


Hình 4. Phẩm chất BER của mô hình MIMO-PNC dựa trên ZF (Selecttive) cho các trường hợp lựa chọn nút khác nhau và không lựa chọn nút, 2 nút chọn 1

Hình 5 và Hình 6 so sánh hiệu suất BER trung bình thu được của các thuật toán đề xuất so với trường hợp không lựa chọn nút mà [1] đề xuất trong mô hình MIMO-PNC sử dụng tách MMSE (LLR và Selective). Hình 5 và Hình 6 chúng ta thấy rõ ràng ba thuật toán được đề xuất (Eigenvalue, norm, Harmmean) có hiệu suất BER tốt hơn trong trường hợp không lựa chọn nút mà [1] đã đề xuất, tại tất cả khu vực E_b/N_0 thấp, và E_b/N_0 cao. Cụ thể, tại $\mathrm{BER} = 10^{-3}$ thuật toán đề xuất lựa chọn nút Chuyển tiếp dựa trên giá trị riêng của ma trận kênh có tỉ số E_b/N_0 tốt hơn $2\,\mathrm{dB}$ (sử dụng tách MMSE -LLR) và khoảng $3,3\,\mathrm{dB}$ (sử dụng tách MMSE-Selective) trong khi thuật toán đề xuất dựa trên trung bình hài hòa (Harmmean) cải thiện được $1\,\mathrm{dB}$ (sử dụng tách MMSE-LLR, Selective). Thuật toán đề xuất dựa trên chuẩn (norm) cải thiện lần lượt là $0,5\,\mathrm{dB}$ (sử dụng tách MMSE-LLR) và $0,8\,\mathrm{dB}$

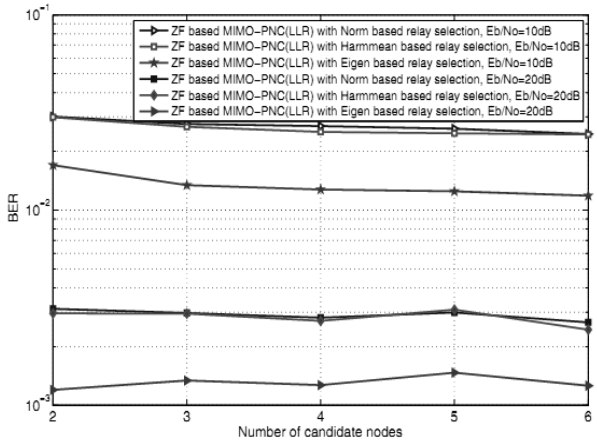


Hình 5. Phẩm chất BER của mô hình MIMO-PNC dựa trên MMSE (LLR) cho các trường hợp lựa chọn nút khác nhau và không lựa chọn nút, 2 nút chọn 1

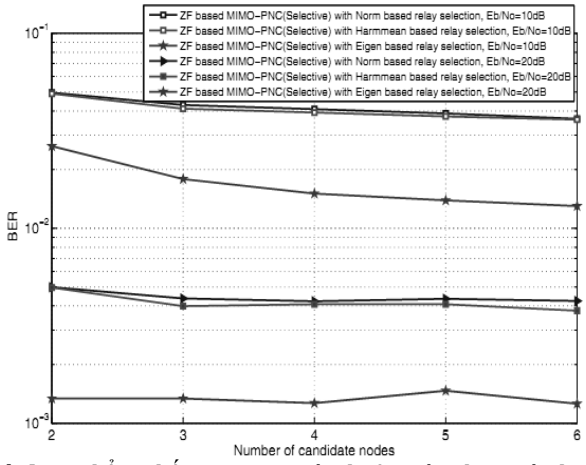


Hình 6. Phẩm chất BER của mô hình MIMO-PNC dựa trên MMSE (Selective) cho các trường hợp lựa chọn nút khác nhau và không lựa chọn nút, 2 nút chọn 1

Trong hai phương pháp tách tín hiệu (ZF, MMSE) chúng ta thấy phương pháp tách MMSE cho phẩm chất BER tốt hơn so với phương pháp tách ZF khi sử dụng thuật toán lựa chọn nút Chuyển tiếp dựa vào chuẩn (norm) hay trung bình hài hòa (harmmean), còn thuật toán lựa chọn nút Chuyển tiếp dựa vào giá trị riêng của ma trận kênh cho phẩm chất BER gần như giống nhau cho cả hai phương pháp tách ZF hay MMSE, cụ thể xét E_b / N_0= 30 dB từ các Hình 3, Hình 4, Hình 5 và Hình 6 phẩm chất BER = $1,5 \times 10^{-4}$. Điều này khá thú vị khi sử dụng phương pháp tách ZF chúng ta chỉ cần biết thông tin trạng thái về kênh truyền, trong khi đó phương pháp tách MMSE ngoài thông tin trạng thái kênh truyền chúng ta còn phải biết phương sai của tạp âm.

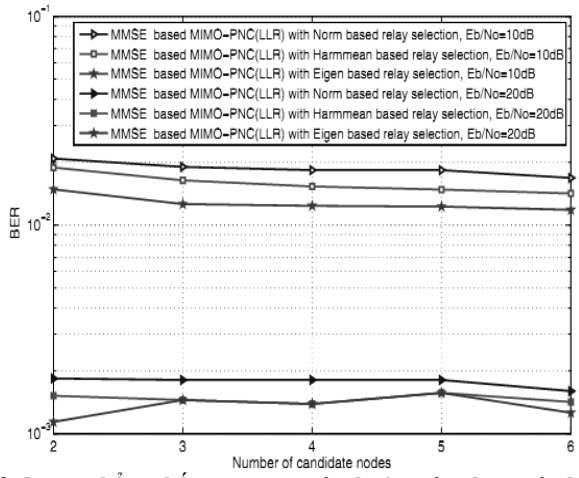


Hình 7. Phẩm chất BER của các thuật toán chọn nút theo số nút ứng cử trong trường hợp tách ZF (LLR)



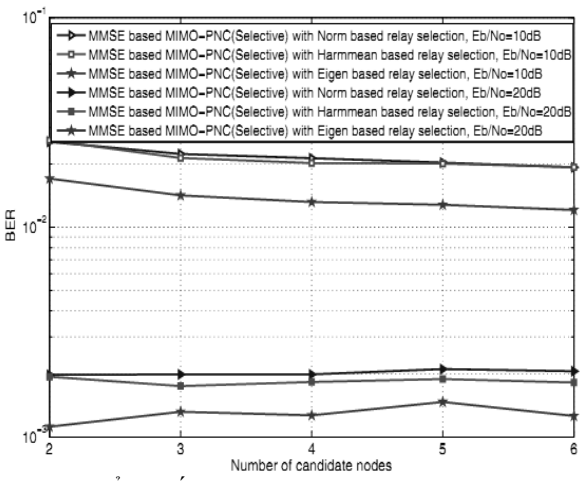
Hình 8. Phẩm chất BER của các thuật toán chọn nút theo số nút ứng cử trong trường hợp tách ZF (Selective)

Hình 7, Hình 8, Hình 9 và Hình 11 chúng tôi minh họa hiệu suất BER của ba thuật toán thu được tại E_b / N_0= 10 dB, 20 dB đối với trường hợp số nút trung gian ứng cử lần lượt bằng $2, 3, 4, 5, 6$. Có thể thấy rằng trong ba thuật toán đề xuất thì thuật toán lựa chọn nút dựa trên giá trị riêng của ma trận kênh là tốt nhất, kế đến là thuật toán lựa chọn nút dựa trên trung bình hài hòa (harmmean) của kênh và cuối cùng là thuật toán lựa chọn nút dựa trên chuẩn của ma trận kênh (channel norm). Tuy nhiên, tương tự như [10,11] điều thú vị là việc tăng số lượng các nút Chuyển tiếp không đạt được cải thiện tốt hơn, điều này đã được giải thích trong [10]. Bên cạnh đó, điều này cũng có thể là do thực tế suy hao đường truyền đã không được tích hợp vào mô hình kênh. Điều này vẫn cần có những khảo sát thêm để đánh giá.



Hình 10. Phẩm chất BER của các thuật toán chọn nút theo số nút ứng cử trong trường hợp tách MMSE (LLR)

Từ các kết quả mô phỏng có thể thấy rằng thuật toán lựa chọn nút dựa trên giá trị riêng mang lại hiệu quả tốt nhất, kế đến là thuật toán dựa trên trung bình hài hòa, và cuối cùng là thuật toán dựa trên chuẩn của ma trận kênh. Điều này có thể được giải thích thông qua ý nghĩa độ lợi kênh của giá trị riêng kênh truyền. Lựa chọn kênh với trị riêng lớn nhất tương tương với kênh có độ lợi lớn nhất và vì vậy mang lại phẩm chất BER tốt nhất. Thuật toán trung bình hài hòa vượt trội so với chuẩn ma trận do tránh được trường hợp một trong hai chặng bị ảnh hưởng lớn của pha-đinh.



Hình 11. Phẩm chất BER của các thuật toán chọn nút theo số nút ứng cử trong trường hợp tách MMSE (Selective)

V. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất sử dụng kết hợp lựa chọn nút Chuyển tiếp với PNC để tăng chất lượng truyền. Chúng tôi sử dụng ba thuật toán lựa chọn nút Chuyển tiếp cho mạng Chuyển tiếp hai chiều MIMO-PNC. Tất cả các thuật toán đều đạt được cải thiện phẩm chất BER so với không lựa chọn nút Chuyển tiếp mà [1] đã đề xuất. Thuật toán lựa chọn nút Chuyển tiếp dựa trên giá trị riêng của ma trận kênh được thể hiện là ứng viên tốt nhất về mặt phẩm chất BER. Các thuật toán nêu trên đều dựa trên mô hình lựa chọn nút phân tán (distributed) và vì vậy rất thích hợp cho mạng Ad-hoc, mạng thông tin di động tế bào.

LỜI CẢM ƠN

Công trình được thực hiện trong khuôn khổ Đề tài Nghị định thư mã số 39/2012/HĐ/NĐT do Bộ Khoa học và Công nghệ tài trợ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S. ZHANG AND S. C. LIEW, "*Physical layer network coding with multiple antennas*", in The 2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'10), April 2010.

[2] R. AHLSWEDE, N. CAI, S. Y. R. LI, R. W. YEUNG, "*Network information flow*", IEEE Trans. Inform. Theory, vol.46, No.4, 2000, pp. 1204-1216.

[3] S. Y. R. LI, R. W. YEUNG AND N. CAI, "*Linear network coding*", IEEE Trans. Inform. Theory, vol.49, No.2, pp. 1204-1216, Feb. 2003.

[4] T. UNGER AND A. KLEIN, "*On the Performance of Two-Way Relaying with Multiple-Antenna Relay Stations*", in Proc. of 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, Budapest, Hungary, July 2007.

[5] S. ZHANG, S. C. LIEW AND P. P. LAM, "*Hot topic: Physical layer network coding*", ACM MobiCom '06, Sept. 2006, pp. 358-365.

[6] R. H. Y. LOUIE, Y. LI AND B. VUCETIC, "*Practical Physical Layer Network Coding for Two-Way Relay Channels: Performance Analysis and Comparison*", IEEE Trans. Wireless Communication, vol.9, No.2, February 2010, pp. 764-777.

[7] S. KIM AND J. CHUN, "*Network Coding with Linear MIMO Pre-equalizer using modulo In Two-way channel*", in The 2008 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'08), 2008.

[8] Y. LI, R. H. Y. LOUIE, "*Relay Selection with Network Coding in Two-Way Relay Channels*", IEEE Transactions on Communications, vol.59, No. 9, Nov. 2010, pp. 4489-4499.

[9] BLETSAS, A., "*A simple cooperative diversity method based on network path selection*", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.24, No.3, March 2003, pp. 659-672.

[10] TRAN, X. N., NGUYEN, V. H., BUI, T. T., DINH, T. C., "*Distributed relay selection for MIMO-SDM cooperative networks*", IEICE Transactions on Communications, vol.E95-B, March 2012, pp. 1170-1179.

[11] D. H. VU, Q. T. DO, X. N. TRAN AND V. N. Q. BAO, "*Improved Relay Selection for MIMO-SDM Cooperative Communications*" Lecture Notes in Electrical Engineering (LNEE), Springer, vol. 240, 2013, pp. 919-926.

[12] ANDERSEN, J. B., "*Array gain and capacity for known random channels with multiple element arrays*

at both ends", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.18, No.11, 2000, pp. 2172-2178.

Nhận bài ngày: 25/05/2013

SƠ LƯỢC VỀ TÁC GIẢ

VŨ ĐỨC HIỆP

Sinh năm 1976 tại Nam Định.

Tốt nghiệp Cử nhân Thông tin Quân sự, Khoa Vô tuyến điện, Trường sĩ quan CHKT Thông tin năm 1999; Kỹ sư ngành Điện-Điện tử tại Học viện Kỹ thuật Quân sự năm 2006; Thạc sỹ Kỹ thuật điện tử tại Học viện Kỹ thuật Quân sự năm 2009.

Hiện là Nghiên cứu sinh tại khoa Vô tuyến điện tử, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

Hướng nghiên cứu chính bao gồm: Kỹ thuật truyền dẫn MIMO, các phương pháp tách tín hiệu MIMO, truyền thông hợp tác.

ĐT: 0979.365.045

Email: vdhiep76@gmail.com

TRẦN XUÂN NAM

Sinh năm 1971 tại Thanh Hóa.

Tốt nghiệp thủ khoa chuyên ngành Kỹ sư Thông tin, Khoa Vô tuyến điện tử, Học viện Kỹ thuật Quân sự năm 1993; Thạc sỹ Kỹ thuật viễn thông của Trường Đại học Kỹ thuật Sydney, Australia năm 1998; Tiến sỹ Kỹ thuật Điện tử của Trường Đại học Điện-Thông tin, Nhật Bản năm 2003; Nhận chức danh Phó Giáo sư năm 2009.

Hiện là Phó Chủ nhiệm Khoa Vô tuyến điện tử, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

Hướng nghiên cứu chính bao gồm: Kỹ thuật truyền dẫn MIMO, các phương pháp tách tín hiệu MIMO, kỹ thuật xử lý không gian thời gian, mã không gian-thời gian, truyền thông hợp tác.

ĐT: 069-515384

Email: namtx@mta.edu.vn