

# PHÂN TÍCH XÁC SUẤT DỪNG VÀ TỈ LỆ LỖI KÍ TỰ TRONG MẠNG HỢP TÁC AF HAI CHIỀU DỪNG KÊNH TRUYỀN FADING RAYLEIGH

## OUTAGE PROBABILITY AND SER ANALYSIS OF TWO-WAY AF RELAYING NETWORKS OVER RAYLEIGH FADING CHANNEL

Đỗ Đình Thuấn

Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM

Ngày tòa soạn nhận bài 03/11/2014, ngày phân biện đánh giá 17/11/2014, ngày chấp nhận đăng 28/11/2014

### TÓM TẮT

Gần đây, các công trình nghiên cứu về mạng chuyển tiếp tập trung vào mạng chuyển tiếp hai chặng bởi vì ưu điểm về phân tập không gian qua việc hợp tác của các nút mạng và mở rộng tầm phủ sóng mà không nâng công suất phát ở các trạm gốc. Trong bài báo này phân tích chất lượng mạng chuyển tiếp hai chiều kiểu khuếch đại và chuyển tiếp dùng kênh fading Rayleigh. Công thức tính xác suất dừng qua hai chặng truyền dẫn được tính dựa trên tỉ số tín hiệu trên nhiễu của mỗi chặng. Ngoài ra, bài báo cũng phân tích tỉ lệ lỗi kí tự với nhiều tín hiệu điều chế khác nhau. Các kết quả thí nghiệm theo công thức chính xác và bằng mô phỏng chứng minh chất lượng của mạng chuyển tiếp hai chiều với ưu điểm về hiệu suất sử dụng băng thông so với mạng chuyển tiếp một chiều thông thường. Cuối cùng, những kết quả mô phỏng này đã chứng minh tính đúng đắn của các công thức phân tích.

### ABSTRACT

Recently, the two-hop relaying networks in cooperative communications fields has received considerable attracted reseachers due to spatial diversity through node cooperation and extending coverage without requiring the large transmit power at base station. In this paper, we investigate the performance of two-way amplify-and-forward relaying networks over Rayleigh fading channel. The overall outage probability of two-hop relaying networks, which exact calculated based on signal noise rate of each hop in relaying systems, is analyzed carefully. In addition, the paper also examnined symbol noise rate with different modulation schemes. The theoretical and numerical results provide acceptable performance of two-way relaying networks which have better bandwidth efficiency compared with traditional one-way relaying wireless network. Finally, we use these numerical simulations to verify the tightness of our analytical results.

### I. GIỚI THIỆU

Kênh chuyển tiếp được giới thiệu bởi Van der Meulen năm 1971 [1]. Các hệ thống vô tuyến hợp tác hay vô tuyến chuyển tiếp có một số ưu điểm so với các mạng truyền thông truyền thống, chẳng hạn như vấn đề thực thi, kết nối, và dung lượng trong khi vẫn tối thiểu hóa kinh phí đầu tư xây dựng hạ tầng mạng cố định. Kỹ thuật mạng chuyển tiếp tăng khả năng kết nối tại các nơi mà hạ tầng mạng truyền thông bị giới hạn tầm phủ sóng, và có thể áp dụng mạng chuyển tiếp này vào mạng

di động tế bào, mạng vô tuyến cục bộ WLAN, các mạng lai khác.

Một lý do khác nữa là nhu cầu gia tăng tốc độ dữ liệu của các ứng dụng vô tuyến hiện tại và tương lai đã thúc đẩy sự phát triển của các kỹ thuật phân tập hợp tác. Truyền thông hợp tác cũng đã thu hút sự chú ý mạnh vì tăng độ tin cậy cho các tuyến truyền thông vô tuyến. Công nghệ mạng hợp tác có thể cải thiện hiệu quả của tuyến truyền dẫn với việc dùng thiết bị ở nút trung gian chuyển tín hiệu từ nút nguồn

đến nút đích. Có rất nhiều giao thức truyền thông mạng hợp tác đã đề xuất trước đây, trong đó có hai giao thức phổ biến và được nhắc đến nhiều trong các nghiên cứu là giao thức khuếch đại và chuyển tiếp AF (Amplify-and-Forward) và giao thức giải mã và chuyển tiếp DF (Decode-and-Forward) [2]. Cụ thể hơn, trong nguyên lý mạng hợp tác dùng giao thức AF, nút trung gian chỉ đơn giản khuếch đại tín hiệu thu từ nút nguồn trước khi phát tới nút đích (mà không thực hiện bất kỳ kỹ thuật giải điều chế hay giải mã tín hiệu đã thu được nào). Mặt khác, kỹ thuật chuyển tiếp AF có độ phức tạp khi thực thi thấp và được dự đoán sẽ được ứng dụng trong mạng cảm biến và mạng truyền thông giữa các phương tiện giao thông trong tương lai. Vì lý do này, bài báo sẽ tập trung đánh giá chất lượng của mạng chuyển tiếp AF. Phụ thuộc vào việc có được thông tin trạng thái kênh ở nút trung gian, hệ thống chuyển tiếp kiểu AF chia thành hai loại: chuyển tiếp có hệ số khuếch đại cố định và chuyển tiếp có hệ số khuếch đại biến đổi. Bởi vì loại chuyển tiếp độ lợi cố định không yêu cầu giá trị tức thời thông tin trạng thái kênh nên nói chung sẽ có độ phức tạp thấp nên có nhiều công bố tập trung phân tích [3, 4].

Khi áp dụng các giao thức AF và DF, các mạng hợp tác chịu suy hao hiệu suất phổ do kiểu truyền dẫn bán song công. Điều này dẫn đến các nghiên cứu mới về truyền dẫn mạng hợp tác hai chiều sẽ giải quyết được hạn chế này và sẽ đạt hiệu suất sử dụng phổ tần tăng gấp đôi so với mạng chuyển tiếp truyền thống [5]. Trong giao thức chuyển tiếp hai chiều này, hai người dùng giao tiếp với nhau qua nút chuyển tiếp trung gian cùng một lúc. Khái niệm mạng hợp tác hai chiều là ở chiều thứ nhất tín hiệu từ nút nguồn và nút đích gửi đến nút trung gian và chiều thứ hai nút trung gian cùng gửi tín hiệu đến nút nguồn và nút đích [6]. Các tác giả trong [7], đã phân tích xác suất dừng và xác suất lỗi kí tự của hệ thống giới hạn về nhiều qua các kênh fading Rayleigh.

Tuy nhiên trong viễn thông, tín hiệu tại một nút truyền trong mạng chuyển tiếp AF hai chiều phát đến một nút mạng khác vừa làm chức năng phát và thu hay vừa làm nút nguồn và nút đích. Trong bài báo này đưa ra một mô

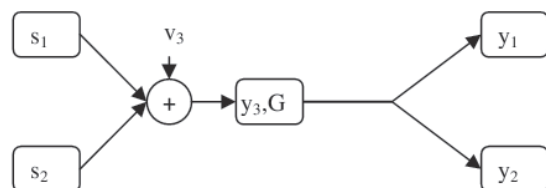
hình phân tích mạng đơn giản, phù hợp ứng dụng thực tế và đánh giá qua hai loại hệ số khuếch đại cố định và hệ số khuếch đại biến đổi với giả sử ở đầu này có một nút nguồn và một nút đích truyền đến nút trung gian ở giữa, phía đầu xa cũng sẽ gồm một nút nguồn và nút đích khác. Ngoài ra, vấn đề lựa chọn các nút trung gian AF tối ưu trong mạng chuyển tiếp hai chiều bằng các hàm tối ưu tuyến tính như trong [8]. Ngoài ra việc lựa chọn nút chuyển tiếp, đánh giá xác suất dừng với xấp xỉ hóa ngưỡng dừng dựa trên thông tin trạng thái kênh không được cập nhật thường xuyên cũng được quan tâm trong [9]. Do đó, trong bài báo này, tác giả tổng hợp và phân tích hiệu năng mạng chuyển tiếp hai chiều trong một số ngữ cảnh cụ thể dựa trên kết quả các công bố đã có.

Phần còn lại của bài báo trình bày tín hiệu và mô hình hệ thống mạng chuyển tiếp AF hai chiều trong phần 2 và các phân tích xác suất dừng trong phân kế tiếp. Các kết quả mô phỏng và biện luận được nêu ra trong phần 4 và một số ý thảo luận cho kết luận trong phần cuối cùng.

## II. TÍN HIỆU VÀ PHÂN TÍCH MÔ HÌNH HỆ THỐNG MẠNG CHUYỂN TIẾP AF

Trong vô tuyến mỗi thiết bị đều nhận cả hai chức năng phát tín hiệu và xử lý khôi phục tín hiệu thu về nên thường gọi là thiết bị thu phát. Ở hình 1 trong bài báo này xem xét mô hình mạng vô tuyến gồm thiết bị phát có hai anten phát, thiết bị ở đầu xa có hai anten thu, kênh truyền từ các anten giả sử là kênh fading Rayleigh độc lập.

Bài báo này tập trung vào môi trường truyền ở đây là kênh fading Rayleigh phẳng dùng trong truyền thông mạng hợp tác 2 chiều với giao thức khuếch đại và chuyển tiếp AF.



**Hình 1.** Sơ đồ khối mạng vô tuyến chuyển tiếp AF hai chiều, gồm nút nguồn mang tín hiệu  $s$ , nút trung gian  $R$  độ lợi  $G$ , và nút đích có tín hiệu thu  $y$

Theo mô hình truyền tín hiệu mạng chuyên tiếp hai chiều trên sẽ có hai pha truyền tín hiệu hay hai bước xử lý. Trong bước đầu tiên, cả hai thiết bị phát gửi dữ liệu đến nút trung gian đồng thời. Trong bước thứ hai, nút chuyên tiếp phát tới cả hai thiết bị thu ở đích bản khuếch đại tín hiệu vừa nhận được từ thiết bị phát.

Bài báo giả sử rằng mạng chuyên tiếp hai chiều hoạt động ở chế độ truyền song công phân chia theo thời gian, nghĩa là cả kênh đường lên và kênh đường xuống chiếm cùng tần số nhưng khác về thời gian truyền thông tin.

Tín hiệu thu ở nút trung gian  $R$  trong khe thời gian đầu tiên được tính bởi

$$y_3 = h_1 s_1 + h_2 s_2 + v_3 \quad (1)$$

với  $s_i \sim CN(0, P_i)$  cho  $i=1,2$  là các kí tự tin tức phát từ các anten khác nhau có phân bố Gauss phức đối xứng vòng trung bình bằng không và công suất  $P_i$ .

Bên cạnh đó,  $v_i \sim CN(0, N_i)$  là nhiễu Gauss phức cộng ở các nút nguồn và nút trung gian với  $i=1,2,3$ . Hệ số kênh truyền từ nút nguồn thứ  $i$

đến nút trung gian kí hiệu là  $h_i, i=1,2$ .

Mỗi kênh truyền này được mô hình hóa theo phân bố fading Rayleigh độc lập với

độ lợi trung bình  $\Omega_i = E_{h_i} \{|h_i|^2\}$ ,  $E\{\cdot\}$  là phép toán tính kì vọng, nghĩa

là  $h_i \sim CN(0, \Omega_i)$ . Ngoài ra, hàm mật độ xác suất (PDF) và hàm mật độ xác suất tích lũy (CDF) của các giá trị độ lợi

kênh  $\rho_i \sim |h_i|^2$  được cho tương ứng là

$$f_{\rho_i}(x) = \frac{1}{\Omega_i} e^{-\frac{x}{\Omega_i}}, \quad F_{\rho_i}(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\Omega_i}}, \quad x \geq 0 \quad (2)$$

Giả sử rằng tất cả các nút mạng có thông tin kênh fading hoàn hảo  $h_1, h_2$ . Vì thế, nút trung gian có thể áp dụng hệ số khuếch đại

biến đổi, còn ngược lại khi chưa biết thông tin trạng thái kênh thì hệ số khuếch đại cố định được áp dụng, giá trị hệ số khuếch đại trong bài báo này chọn là loại hệ số biến đổi như sau:

$$G = \sqrt{\frac{P_3}{(\rho_1 P_1 + \rho_2 P_2 + N_3)}} \quad (3)$$

trong đó,  $P_3$  là công suất phát trung bình của nút trung gian. Khi đó, tín hiệu nhận được (xử lý ở khe thời gian thứ hai) ở các nút đích được biểu diễn là

$$y_i = h_i G y_3 + v_i \\ = h_i G (h_1 s_1 + h_2 s_2 + v_3) + v_i \quad (4)$$

$G$  ở đây là hệ số khuếch đại tại nút trung gian, có thể là loại khuếch đại biến đổi. Tại nút đích thứ  $i$  khi có thể chọn khôi phục tín hiệu

phát  $s_{r_i} (r_i \sim \frac{2}{i}, i=1,2)$  bất kì từ tín hiệu thu  $y_i$ . Giả thiết trong

trường hợp tối ưu khi có được tín hiệu  $s_i$ , giá trị kênh truyền, độ khuếch đại  $G$ , phía thu có thể loại bỏ hoàn toàn thành phần tự nhiễu  $G h_i^2 s_i$ . Trong trường hợp tối ưu này, biểu thức tính tỉ số tín hiệu trên nhiễu (SNR) từ nguồn đến đích sẽ là

$$SNR_i = \frac{(G h_1 h_2)^2 P_{r_i}}{\left[ (G h_i)^2 + 1 \right] N_i} \\ = \frac{(h_1 h_2)^2 P_{r_i}}{h_i^2 N_i + \frac{N_i}{G}} = \frac{\rho_1 \rho_2 P_{r_i}}{\rho_i N_i + \frac{N_i}{G}} \quad (5)$$

với  $P_{r_i}$  là công suất thu tín hiệu  $s_{r_i}$ .

Rõ ràng, trong công thức tính SNR từ nút nguồn đến nút đích phụ thuộc vào

SNR của đoạn từ nút nguồn đến nút trung gian (kí hiệu là  $\gamma_1$ ) và SNR của đoạn từ nút trung gian đến nút đích (kí hiệu là  $\gamma_2$ ). Biểu thức tổng quát xác định các SNR này là

$$\gamma = \frac{P|h|^2}{N}$$
 với  $P$  là công suất tại nút phát tín hiệu đang xem xét,  $h$  là kênh truyền từ nút phát đến nút đang xem xét SNR,  $N$  là hàm mật độ công suất nhiễu.

### III. ĐÁNH GIÁ BIỂU THỨC TÍNH XÁC SUẤT DỪNG VÀ SER

#### 1. Xác suất dừng

Xác suất dừng là một trong các tiêu chí đo lường phẩm chất của các hệ thống vô tuyến qua kênh truyền fading. Xác suất dừng được định nghĩa là xác suất mà giá trị SNR tương đương tức thời sẽ nhỏ hơn mức an toàn xác định trước. Nếu xác suất dừng ở trên giá trị an toàn này, chất lượng dịch vụ sẽ được thỏa mãn và giá trị xác suất dừng được tính theo giá trị ngưỡng của SNR tính theo biểu thức bên dưới

$$P_{out,i} = \Pr\{SNR_i \leq x\} \quad (6)$$

Giá trị SNR tức thời của hai chặng truyền dẫn trong hình 1 khi đó sẽ là các biến ngẫu nhiên phân bố theo hàm mũ, phụ thuộc vào kênh truyền fading Rayleigh.

Đặt  $\beta_i = \frac{1}{\gamma_i}$ , áp dụng lý thuyết 1 trình bày trong  $\gamma_i$  [11], ta có công thức tính xác suất dừng

$$\Pr\{SNR_i \leq x\} = 1 - x\sqrt{\beta_1\beta_2}e^{-x/2(\beta_1+\beta_2)}K_1(x\sqrt{\beta_1\beta_2}) \quad (7)$$

trong đó,  $K_1(x)$  là hàm Bessel sửa đổi bậc 1 của loại 2.

Đã có rất nhiều công bố trước đây phân tích xác suất dừng theo hướng tìm các công thức tính xấp xỉ, tìm tiệm cận trên, tiệm cận dưới, nên trong bài báo này, tác giả không có ý định phân tích sâu hơn vấn đề này.

#### 2. Tỷ lệ lỗi kí tự SER (Symbol Error Rate)

Trong phần này, bài báo xem xét tỉ lệ lỗi kí tự SER của hệ thống, dùng các kỹ thuật điều chế cơ bản như BPSK (binary phase shift keying) và QPSK (quadrature phase shift keying) được mô tả như sau

$$SER_i = E\left\{Q\left(\sqrt{bSNR_i}\right)\right\}, \quad i=1,2 \quad (8)$$

trong đó,  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$  là hàm lỗi với  $b$  là các hằng số theo đặc tính của kỹ thuật điều chế như sau: BPSK ( $b=1$ ), QPSK ( $b=2$ )

Sử dụng phương pháp tích phân từng phần, biểu thức trên có thể viết lại dưới dạng sau:

$$SER_i = \frac{\sqrt{b}}{2\sqrt{\pi}} \int_0^\infty \frac{e^{-bx}}{\sqrt{x}} F_{SNR_i}(x) dx \quad (9)$$

Trong đó hàm phân bố tích lũy của tỉ số tín hiệu trên nhiễu có quan hệ với xác suất dừng là  $F_{SNR_i}(x) = P_{out,i}(x)$ .

### IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trong phần này, bài báo trình bày các kết quả mô phỏng để minh họa cho các lý thuyết đã phân tích ở trên qua mô phỏng Monte-Carlo với số lần lặp là 20000 lần. Các giá trị mô phỏng về công suất tín hiệu ở các nút nguồn, đích và trung gian được chọn là  $P_3 = 0.5P_1 = 0.5P_2$  và  $P_3 = 0.9P_1 = 0.9P_2$ .

Trong các mô phỏng xem xét hệ thống tốc độ cao với  $x = 2^5 - 1$ , hay nói khác hơn là 5 bit/kênh. Với mô hình mạng chuyển tiếp AF có hệ số khuếch đại biến đổi trong Hình 2 cho thấy khi chọn tỉ lệ phân bố công suất như  $P_3 = 0.5P_1 = 0.5P_2$  thì xác suất dừng cao hơn so với

$P_3 = 0.9P_1 = 0.9P_2$ , nghĩa là nếu chọn tỉ lệ phân bố công suất

$P_3 = 0.9P_1 = 0.9P_2$ , phẩm chất của hệ thống sẽ tốt hơn. Qua các kết quả mô phỏng cho thấy tăng công suất phát thì xác suất dừng tốt hơn, nhưng bài toán tăng công suất sẽ dẫn đến tiêu hao năng lượng nhiều hơn

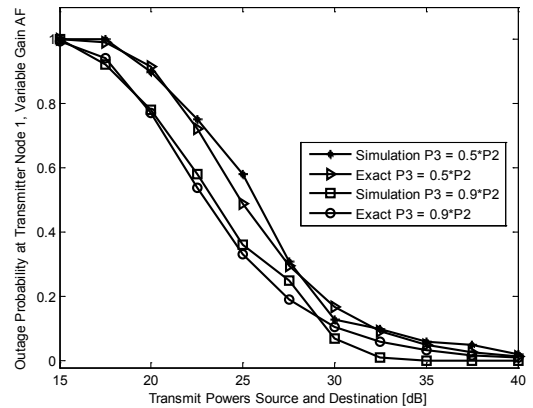
vốn là vấn đề không mong muốn khi phát triển các công nghệ vô tuyến chuyên tiếp có dùng các nút trung gian cấu hình đơn giản hơn và tiêu thụ công suất ít hơn các nút chính.

Trong kết quả mô phỏng tiếp theo ở Hình 3 và Hình 4, bài báo đề cập đến tỉ lệ lỗi kí tự SER của phương pháp tính qua mô phỏng và dùng công thức tính chính xác qua các kỹ thuật điều chế khác nhau. Qua mô phỏng cho thấy SER dùng điều chế BPSK ít lỗi hơn so với QPSK. Lưu ý rằng trong phạm vi bài báo này cũng chưa đề cập đến tỉ số SER trên mô hình hệ thống thực tế hoàn chỉnh mà chỉ dựa vào công thức tính lý thuyết. Trong giới hạn của kiến thức mà tác giả có được, các đánh giá về SER chỉ theo công thức lý thuyết chính xác cũng là hạn chế của các công bố khác về mạng chuyển tiếp cho tới thời điểm hiện nay.

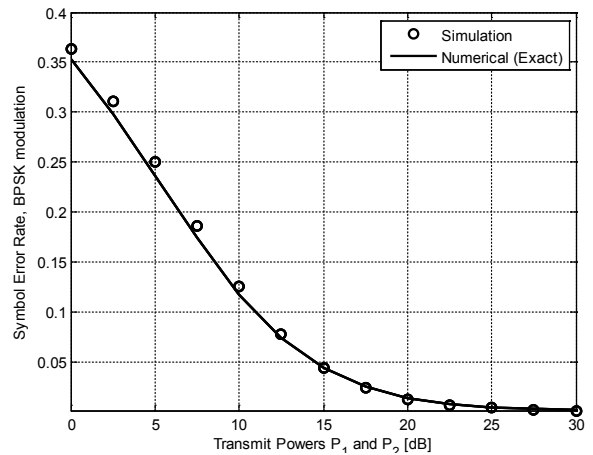
## V. KẾT LUẬN

Bài báo này đã dẫn ra biểu thức tính tỉ số tín hiệu trên nhiễu SNR cho mô hình truyền dẫn mạng chuyển tiếp AF hai chiều dựa trên các phân tích biểu thức toán học tính xác suất dừng. Các kết quả mô phỏng cho thấy một lựa chọn tỉ lệ phân bổ công suất giữa các nút nguồn, nút trung gian và nút đích phù hợp sẽ cho giá trị xác suất dừng tối ưu, từ đó xác định ngưỡng phẩm chất của toàn hệ thống phù hợp cho các triển khai sản xuất thiết bị vô tuyến mạng chuyển tiếp hợp tác trong tương lai. Ngoài ra, bài báo cũng nêu các công thức tính tỉ số lỗi kí tự với các kỹ thuật điều chế phổ biến gồm BPSK và QPSK.

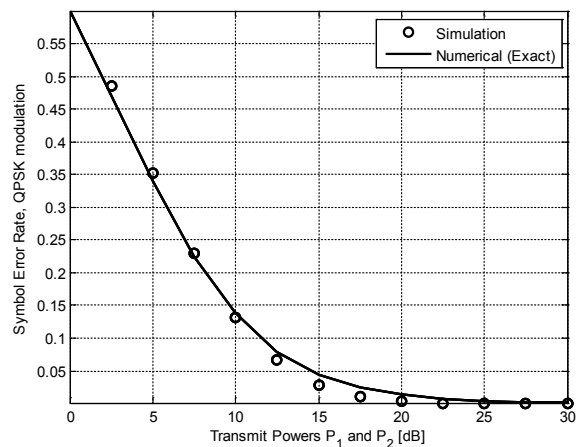
Trong hướng phát triển tiếp theo của bài báo là mở ra hướng kết hợp MIMO và mạng chuyển tiếp AF theo dạng thiết bị nguồn dùng hai anten phát hai anten thu và nút trung gian dùng 1 anten thu, 1 anten phát, tín hiệu được khuếch đại ở nút trung gian theo hai hệ số khuếch đại và truyền đến nút đích dùng 2 anten phát, 2 anten thu. Đối với MIMO, việc xử lý tín hiệu phát cũng như tại bộ cân bằng kênh rất phức tạp khi tăng số anten phát và thu, nên việc chọn số anten phát và thu là 2 anten sẽ phù hợp với điều kiện sản xuất phần cứng thực tế. Việc kết hợp này sẽ tận dụng ưu điểm mạng MIMO và mạng chuyển tiếp.



Hình 2. Xác suất dừng mạng chuyển tiếp AF hai chiều hệ số khuếch đại biến đổi



Hình 3. SER của mạng chuyển tiếp AF hai chiều dùng điều chế BPSK



Hình 4. SER của mạng chuyển tiếp AF hai chiều dùng điều chế QPSK

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] V. d. Meulen, “*Three-terminal communication channels,*” *Adv. Appl. Prob.*, vol. 3, pp. 120–154, 1971.
- [2] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, “*Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior,*” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 50, pp. 3062–3080, 2004.
- [3] D. B. Costa and M. D. Yacoub, “*Dual-hop transmissions with semi-blind relays over Nakagami-m fading channels,*” *Electronics Lett.*, vol. 44, pp. 214–216, 2008.
- [4] R. Louie, Y. Li, H. A. Suraweera, and B. Vucetic, “*Performance analysis of beamforming in two-hop amplify and forward relay networks with antenna correlation,*” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, pp. 3131–3142, 2009.
- [5] P. Popovski and H. Yomo, “*Physical network coding in two-way wireless relay channels*” in *the IEEE International Conference on Communications (ICC’07, Glasgow, UK. Piscataway, NJ, USA, June 2007,* pp. 707-712.
- [6] Y. Ye, T.-H. Chang, J. Ge, W.-K. Ma, and P. C. Ching, “*Achieving full cooperative and frequency diversity in bit-interleaved coded two-way relay networks,*” in *Proc. of Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Shanghai, China, Apr. 2013,* pp. 3254 - 3259.
- [7] S. S. Ikki and S. Aissa, “*Performance analysis of two-way amplify-and-forward relaying in the presence of co-channel interferences,*” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 60, pp. 933–939, 2012.
- [8] C. Xiong and X. Li, “*Optimal relay selections in two-way amplify-and-forward networks,*” in *47th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS), Baltimore, MD, 20-22 March 2013,* pp. 1-5.
- [9] K.-S. Hwang, M. Ju, and M.-S. Alouini, “*On the Outage Performance of Two-Way Amplify-and-Forward Relaying with Outdated CSI over Multiple Relay Network,*” in *Proc. of IEEE 24th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Comm.*, London, UK, 2013, pp. 1-5.
- [10] R. S. Ganesh, J. JayaKumari, and L. P. Akhila, “*Channel estimation analysis in MIMO-OFDM wireless systems,*” in *2011 International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies (ICSCCN), Thuckafay, July 2011,* pp. 399 - 403.
- [11] M. Hasna and M.-S. Alouini, “*End-to-end performance of transmission systems with relays over Rayleigh fading channels,*” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 2, pp. 1126–1131, 2003