

NÂNG CAO HIỆU NĂNG MẠNG CHUYỂN TIẾP LAI GHÉP VỆ TINH-MẶT ĐẤT TRONG VÔ TUYẾN NHẬN THỨC SỬ DỤNG KỸ THUẬT CHỌN LỰA ĂNTEN PHÁT VÀ CHỌN LỰA NGƯỜI DÙNG

Phạm Minh Quang, Lê Chu Khấn

Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông Cơ Sở Thành Phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt—Bài báo này nghiên cứu mạng chuyển tiếp lai ghép vệ tinh-mặt đất, trong đó trạm chuyển tiếp mặt đất là một trạm thứ cấp hoạt động theo phương thức vô tuyến nhận thức dạng nền. Do đó, công suất phát của trạm chuyển tiếp mặt đất bị hạn chế, đồng thời những nút đích thứ cấp cũng chịu ảnh hưởng của can nhiễu đồng kênh từ mạng sơ cấp. Bài báo đề xuất hai mô hình chọn lựa ăng-ten phát và nút đích (hay người dùng) tốt nhất để nâng cao độ tin cậy cho việc chuyển tiếp dữ liệu từ trạm chuyển tiếp thứ cấp đến nút đích được chọn. Hơn nữa, trạm chuyển tiếp có thể sử dụng kỹ thuật kết hợp chọn lựa để giải mã dữ liệu nhận được từ vệ tinh. Bài báo đưa ra các công thức tính chính xác xác suất dừng của các mô hình đề xuất. Các kết quả cho thấy hiệu năng xác suất dừng của các mô hình đề xuất sẽ tốt hơn khi tăng số ăng-ten phát và thu tại trạm chuyển tiếp mặt đất, cũng như tăng số lượng nút đích.

Từ khóa—Mạng chuyển tiếp lai ghép vệ tinh-mặt đất, vô tuyến nhận thức dạng nền, kết hợp chọn lựa, chọn lựa ăng-ten phát, chọn lựa người dùng tốt nhất.

I. GIỚI THIỆU

Sự phát triển của thông tin vệ tinh [1]-[2] đem lại nhiều tiện ích trong hầu hết các lĩnh vực từ dự báo thời tiết, thương mại, y tế, giáo dục, ... cho đến hàng hải, quân sự, khám phá vũ trụ. Đặc biệt, với khả năng cung cấp đa dạng các dịch vụ thông tin di động, thông tin vệ tinh sẽ ngày càng gần gũi với các hoạt động thường nhật của con người [3]. Ưu điểm của thông tin vệ tinh là khả năng kết nối nhanh chóng và ổn định ở khắp nơi với tốc độ cao, ở đây, các thiết bị mặt đất có thể gửi dữ liệu với nhau thông qua vệ tinh. Hay nói cách khác, vệ tinh đóng vai trò như một nút chuyển tiếp cho các thiết bị mặt đất [4]. Hơn nữa, khi những thiết bị mặt đất (hay người dùng) không thể trực tiếp nhận dữ liệu từ vệ tinh (do bị che khuất), những trạm chuyển tiếp mặt đất sẽ trung chuyển thông tin từ vệ tinh đến những người dùng này. Mô hình này với tên gọi chuyển tiếp lai ghép vệ tinh-mặt đất (HSTRN: Hybrid Satellite-Terrestrial Relay Network) đã được nghiên cứu

trong những công bố gần đây như [5]-[9]. Trong các công trình [5]-[6], các tác giả nghiên cứu mô hình HSTRN với sự xuất hiện của các trạm nghe lén trên mặt đất. Các tài liệu [6]-[7] đề xuất mô hình chọn lựa trạm chuyển tiếp mặt đất để nâng cao độ tin cậy của việc chuyển tiếp dữ liệu dưới sự ảnh hưởng của fading kênh truyền. Để nâng cao hơn nữa hiệu năng của mạng HSTRN, các tác giả trong công trình [8] đưa ra mô hình HSTRN với nhiều trạm chuyển tiếp mặt đất, nhiều thiết bị thu hợp pháp và nhiều nút nghe lén. Đồng thời, các tác giả trong tài liệu [8] cũng đề xuất phương pháp chọn lựa trạm chuyển tiếp và người dùng tối ưu để đồng thời nâng cao độ ổn định của sự truyền dữ liệu và bảo mật thông tin. Tương tự, các tác giả trong tài liệu [9] cũng đưa ra mô hình nhiều trạm chuyển tiếp mặt đất để nâng cao hiệu năng cho mạng HSTRN. Hơn nữa, các trạm chuyển tiếp mặt đất trong tài liệu [9] sử dụng kỹ thuật kết hợp tỷ lệ tối đa (MRC: Maximal Ratio Combining) để giải mã dữ liệu nhận được từ vệ tinh.

Vô tuyến nhận thức (Cognitive Radio) [10] được đề xuất bởi J. Mitola nhằm giải quyết vấn đề khan hiếm phổ tần, cũng như nâng cao hiệu quả sử dụng phổ tần. Trong mạng vô tuyến nhận thức, người dùng sơ cấp (Primary User) có thể chia sẻ phổ tần với người dùng thứ cấp (Secondary User). Tuy nhiên, người dùng thứ cấp phải hiệu chỉnh công suất phát để không làm ảnh hưởng đến chất lượng dịch vụ của mạng sơ cấp. Cụ thể, các máy phát thứ cấp phải giảm công suất phát để can nhiễu đồng kênh gây lên các máy thu sơ cấp không vượt qua ngưỡng cho phép. Phương pháp chia sẻ phổ tần này có tên gọi là chia sẻ phổ tần dạng nền (USS: Underlay Spectrum Sharing) [11]-[13]. Các công trình [14]-[20] nghiên cứu mạng HSTRN, trong đó các trạm chuyển tiếp mặt đất hoạt động theo phương thức USS. Các tài liệu [14]-[16] đề xuất mô hình HSTRN, trong đó vệ tinh đóng vai trò là một thiết bị thứ cấp. Trong [14], vệ tinh liên lạc với một người dùng thứ cấp thông qua một trạm chuyển tiếp mặt đất thứ cấp, sử dụng kỹ thuật giải mã và chuyển tiếp DF (Decode and Forward). Để nâng cao hiệu năng cho mạng HSTRN, trong công trình [15], hai trạm chuyển tiếp mặt đất thứ cấp được thiết lập để chuyển tiếp dữ liệu từ vệ tinh đến một nút đích thứ cấp, sử dụng kỹ thuật khuếch đại và chuyển tiếp AF (Amplify-and-Forward). Khác với [14]-[16], vệ tinh trong tài liệu [17] là

Tác giả liên hệ: Phạm Minh Quang,

Email: phamminhquang@ptithcm.edu.vn

Đến tòa soạn: 11/2022, chỉnh sửa: 12/2022, chấp nhận đăng: 01/2023.

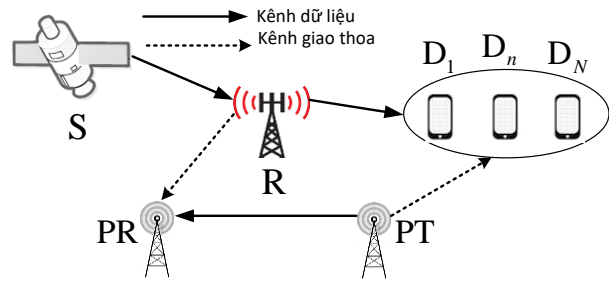
một thiết bị sơ cấp và truyền dữ liệu đến một nhóm các người dùng sơ cấp mặt đất, trong khi đó, trạm chuyển tiếp mặt đất là một thiết bị thứ cấp, nỗ lực truy nhập băng tần để truyền dữ liệu đến nút đích thứ cấp mong muốn. Các tác giả của công trình [18] đề xuất mô hình HSTRN, trong đó vệ tinh là thiết bị thứ cấp sử dụng kỹ thuật truyền đa truy nhập phi trực giao NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) để cùng lúc gửi dữ liệu đến hai đích thứ cấp khác nhau, thông qua sự hỗ trợ của một trạm chuyển tiếp thứ cấp. Bên cạnh đó, công trình [18] cũng nghiên cứu sự xuất hiện của thiết bị nghe lén xuất hiện trong mạng thứ cấp, và khảo sát sự đánh đổi giữa xác suất dừng OP (Outage Probability) và xác suất mất bảo mật IP (Intercept Probability). Tương tự [18], công trình [19] đưa ra mô hình USS HSTRN, sử dụng kỹ thuật NOMA để nâng cao tốc độ dữ liệu. Tuy nhiên, khác với [18], nhóm tác giả trong [19] xem xét trường hợp trạm chuyển tiếp mặt đất thứ cấp sử dụng kỹ thuật AF và NOMA để chuyển tiếp dữ liệu từ vệ tinh đến nhiều nút đích thứ cấp cùng lúc. Công trình [20] nghiên cứu trường hợp trạm chuyển tiếp mặt đất thứ cấp có thể hoạt động ở chế độ song công (Full-Duplex) và sử dụng NOMA để phục vụ cùng lúc hai người dùng thứ cấp.

Bài báo này đề xuất mô hình USS HSTRN, trong đó vệ tinh muốn truyền dữ liệu đến một nhóm các nút đích. Do bị che khuất, dữ liệu từ vệ tinh sẽ được chuyển tiếp đến một trong các nút đích thông qua một trạm chuyển tiếp thứ cấp. Những điểm mới và đóng góp chính của bài báo này sẽ được phân tích như sau:

- Khác với các công trình liên quan [14]-[16], [18]-[19], băng tần cấp cho hệ thống vệ tinh và hệ thống sơ cấp dưới mặt đất là khác nhau. Thật vậy, việc quy hoạch này sẽ tránh can nhiễu đồng kênh giữa hai mạng. Hơn nữa, việc các thiết bị vệ tinh trong các tài liệu [14]-[16], [18]-[19] phải ước lượng kênh giữa chúng và các thiết bị thu sơ cấp, để hiệu chỉnh công suất phát, là quá khó để triển khai trong thực tế.
- Khác với tài liệu [17], [20], bài báo này nghiên cứu mô hình chọn lựa ăngten phát và chọn lựa người dùng tốt nhất. Hơn nữa, bài báo này cũng đề xuất mô hình sử dụng kỹ thuật kết hợp chọn lựa SC (Selection combining) tại trạm chuyển tiếp thứ cấp để giải mã dữ liệu nhận được từ vệ tinh. Mặc dù kỹ thuật SC đạt được hiệu năng thấp hơn các kỹ thuật kết hợp khác như MRC hay EGC (Equal Gain Combining), nhưng việc thực hiện kỹ thuật này đơn giản hơn rất nhiều, và phù hợp khi triển khai cho mạng thứ cấp.
- Bài báo đưa ra hai phương pháp chọn lựa ăngten phát và chọn lựa người dùng để nâng cao hiệu quả chuyển tiếp dữ liệu trên mặt đất, dưới sự tác động của fading kênh truyền, hạn chế công suất phát và nhiễu đồng kênh từ mạng sơ cấp.
- Bài báo đưa ra các biểu thức toán học đánh giá chính xác xác suất dừng OP của các mô hình đề xuất.

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: Phần II trình bày nguyên lý hoạt động của mô hình USS HSTRN đề xuất. Phần III đánh giá xác suất dừng OP của các mô hình chọn lựa chọn lựa ăngten phát và chọn lựa người dùng tốt nhất. Phần IV cung cấp các kết quả mô phỏng và lý thuyết. Cuối cùng, các kết luận được đưa ra trong phần V.

II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG



Hình 1. Mô hình HSTRN hoạt động trong mạng vô tuyến nhận thức USS.

Trong Hình 1, vệ tinh S gửi dữ liệu đến các nút đích, ký hiệu D_1, D_2, \dots, D_N , với N là số nút đích. Giả sử các đích này không thể nhận dữ liệu trực tiếp từ vệ tinh do bị che khuất. Vì vậy, một trạm chuyển tiếp mặt đất R được dùng để chuyển tiếp dữ liệu giúp vệ tinh S. Giả sử, trạm R là một trạm thứ cấp, và hoạt động theo cơ chế chia sẻ phổ tần dạng nền. Do đó, trạm R phải hiệu chỉnh công suất phát để đảm bảo chất lượng dịch vụ của mạng sơ cấp không bị ảnh hưởng. Trong mạng sơ cấp, máy phát PT (Primary Transmitter) sử dụng băng tần để truyền dữ liệu đến máy thu PR (Primary Receiver). Như đã được đề cập, việc tái sử dụng tần số chỉ thực hiện tại các mạng trên mặt đất, và việc truyền dữ liệu trên mặt đất không được phép sử dụng băng tần đã cấp cho hệ thống vệ tinh.

Giả sử các thiết bị S, PT, PR và $D_n (n = 1, 2, \dots, N)$ đều chỉ có đơn ăngten, trong khi trạm thứ cấp R được trang bị với K_r ăngten phát và K_r ăngten thu. Khi nhận dữ liệu từ vệ tinh S, trạm R sử dụng kỹ thuật kết hợp chọn lựa (SC) [21]-[22] để giải mã dữ liệu. Sau khi giải mã thành công dữ liệu từ vệ tinh, trạm R tiến hành mã hóa lại và gửi đến một trong các nút đích được chọn. Để nâng cao hiệu năng cho mạng thứ cấp, trong điều kiện công suất phát giới hạn của trạm R và can nhiễu đồng kênh từ nút phát thứ cấp PT, bài báo đề xuất hai kỹ thuật chọn lựa ăngten phát và chọn lựa nút đích tốt nhất.

Ta ký hiệu P_{x^u} là công suất phát của ăngten phát thứ u của thiết bị phát X, $h_{x^u y^v}$ là hệ số kênh truyền giữa ăngten phát thứ u của thiết bị phát X và ăngten thu thứ v của thiết bị thu Y, và $\gamma_{x^u y^v} = |h_{x^u y^v}|^2$ ký hiệu độ lợi kênh tương ứng, $X, Y \in \{S, R, PT, PR, D_n\}$. Lưu ý rằng nếu các thiết bị X và Y chỉ có 01 ăngten thì ta sẽ không sử dụng các chỉ số u và v . Ta cũng ký hiệu η_{y^v} là nhiễu Gauss tại ăngten thu thứ v của thiết bị thu Y. Để đơn giản về mặt ký hiệu, ta có thể giả sử rằng tất cả nhiễu Gauss trong bài báo đều có giá trị trung bình bằng 0 và phương sai σ_0^2 .

Xét pha truyền dữ liệu đầu tiên, vệ tinh S gửi dữ liệu xuống trạm mặt đất R. Tín hiệu nhận được tại ăngten thu thứ v của trạm R là

$$y = \sqrt{P_S} h_{SR^v} x_S + \eta_{R^v}, \quad (1)$$

với $v = 1, 2, \dots, K_r$, x_S là tín hiệu của vệ tinh S.

Do đó, tỷ số SNR (Signal-to-Noise Ratio) trong công thức (1) được tính như sau:

$$\varphi_{SR^v} = \frac{P_S |h_{SR^v}|^2}{\sigma_0^2} = \Delta_S \gamma_{SR^v}, \quad (2)$$

với $\Delta_S = P_S / \sigma_0^2$. Như đã đưa ra trong [14]-[20] độ lợi kênh γ_{SR^v} có phân phối Shadowed-Rician, và hàm mật độ xác suất (PDF: Probability Density Function) của γ_{SR^v} được viết như sau:

$$f_{\gamma_{SR^v}}(x) = \frac{1}{2b_v} \left(\frac{2m_v b_v}{2m_v b_v + \Omega_v} \right)^{m_v} \exp\left(-\frac{x}{2b_v}\right) \times {}_1F_1\left(m_v; 1; \frac{\Omega_v x}{2b_v(2m_v b_v + \Omega_v)}\right), \quad (3)$$

với Ω_v ký hiệu công suất trung bình của thành phần Line of Sight (LOS) giữa vệ tinh S và ăng-ten thu thứ v của trạm R, $2b_v$ là công suất trung bình của thành phần đa đường, m_v là tham số đặc trưng Nakagami của kênh truyền, và ${}_1F_1(\cdot; \cdot; \cdot)$ là hàm confluent hypergeometric [23].

Để đơn giản cho việc trình bày, cũng như không mất tính tổng quát, ta có thể giả sử rằng các độ lợi kênh γ_{SR^v} là độc lập và đồng nhất (independent and identical), cụ thể $\Omega_v = \Omega$, $b_v = b$, $m_v = m$, với $\forall v = 1, 2, \dots, K_r$.

Bởi vì trạm R sử dụng kỹ thuật kết hợp SC, tỷ số SNR đạt được tại R được tính như trong [21]-[22]:

$$\varphi_{SR}^{SC} = \max_{v=1,2,\dots,K_r} (\varphi_{SR^v}). \quad (4)$$

Xét pha truyền dữ liệu thứ hai, trạm R chuyển tiếp dữ liệu nhận được đến nút đích được chọn. Giả sử trạm R sử dụng ăng-ten phát thứ u để gửi dữ liệu đến nút đích D_n .

Trong vô tuyến nhận thức dạng nền, công suất phát của ăng-ten phát thứ u của trạm thứ cấp R được thiết lập theo công thức sau (xem [24]-[25]):

$$P_{R^u} = \frac{I_{th}}{\gamma_{R^u PR}}, \quad (5)$$

với I_{th} là ngưỡng giao thoa tối đa mà mạng sơ cấp quy định để đảm bảo chất lượng dịch vụ của mạng sơ cấp.

Sau khi xác lập công suất phát, trạm R gửi dữ liệu đến nút đích D_n . Dưới sự ảnh hưởng của nhiễu đồng kênh gây ra bởi máy phát sơ cấp PT, tín hiệu nhận được tại nút đích D_n được viết như sau:

$$z = \sqrt{P_{R^u}} h_{R^u D_n} x_S + \sqrt{P_{PT}} h_{PT D_n} x_{PT} + \eta_{D_n}. \quad (6)$$

Trong công thức (6), $\sqrt{P_{PT}} h_{PT D_n} x_{PT}$ là thành phần giao thoa mà PT gây lên D_n , trong đó x_{PT} là tín hiệu mà máy phát sơ cấp PT đang gửi đến máy thu sơ cấp PR. Do đó, tỷ số SINR (Signal-to-Interference-Plus-Noise Ratio) được tính như trong công thức (7) bên dưới:

$$\begin{aligned} \varphi_{R^u D_n} &= \frac{P_{R^u} |h_{R^u D_n}|^2}{P_{PT} |h_{PT D_n}|^2 + \sigma_0^2} = \frac{(I_{th}/\gamma_{R^u PR}) \gamma_{R^u D_n}}{P_{PT} \gamma_{PT D_n} + \sigma_0^2} \\ &= \frac{(I_P/\gamma_{R^u PR}) \gamma_{R^u D_n}}{\Delta_{PT} \gamma_{PT D_n} + 1}, \end{aligned} \quad (7)$$

với $I_P = I_{th}/\sigma_0^2$ và $\Delta_{PT} = P_{PT}/\sigma_0^2$.

Kế tiếp, chúng tôi đề xuất hai mô hình chọn lựa ăng-ten phát và chọn lựa nút đích tốt nhất.

Mô hình 1 (MH1): Dựa vào công thức (7), chúng tôi đề xuất phương pháp chọn lựa ăng-ten phát và chọn lựa nút đích tối ưu như sau:

$$\varphi_{R^a D_b} = \max_{u=1,2,\dots,K_r} \left(\max_{n=1,2,\dots,N} (\varphi_{R^u D_n}) \right), \quad (8)$$

với a là ăng-ten phát tốt nhất được chọn bởi trạm R và D_b là người dùng tốt nhất được chọn. Công thức (8) có nghĩa rằng tỷ số SINR đạt được tại đích D_b khi trạm R sử dụng ăng-ten phát a sẽ đạt giá trị cực đại.

Tuy nhiên, để thực hiện mô hình MH1, mạng thứ cấp phải ước lượng chính xác các hệ số kênh giao thoa $h_{PT D_n}$, tuy nhiên, việc ước lượng này phức tạp và tốn nhiều thời gian để thực hiện.

Mô hình 2 (MH2): Từ lập luận trên, chúng tôi xem xét phương pháp chọn lựa đơn giản hơn như sau:

$$\gamma_{R^c D_d} = \max_{u=1,2,\dots,K_r} \left(\max_{n=1,2,\dots,N} (\gamma_{R^u D_n}) \right), \quad (9)$$

với c là ăng-ten phát được chọn bởi trạm R và D_d là người dùng tốt nhất trong MH2. Công thức (9) có nghĩa rằng MH2 chọn lựa ăng-ten phát và người dùng dựa vào độ lợi của kênh dữ liệu giữa trạm R và các nút đích.

Để thực hiện việc chọn ăng-ten phát tốt nhất và người dùng tốt nhất [26]-[27] trong các mô hình MH1 và MH2, trạm R và những người dùng D phải hợp tác với nhau. Đầu tiên, trạm R sẽ gửi các thông điệp điều khiển từ các ăng-ten của R đến các người dùng. Từ đó, các người dùng D có thể ước lượng kênh truyền giữa các ăng-ten của R và người dùng thứ cấp.

Trong MH2: các người dùng thứ cấp chỉ gửi các thông tin kênh truyền giữa chúng và các ăng-ten của R để R chọn ăng-ten tốt nhất và người dùng tốt nhất, như đưa ra trong công thức (9).

Trong MH1: các người dùng D còn phải ước lượng kênh giao thoa giữa máy phát sơ cấp PT đến các người dùng thứ cấp D. Sau khi ước lượng tất cả các kênh truyền kể trên, các người dùng D sẽ gửi tất cả các thông tin này về trạm thứ cấp. Nhờ đó, trạm R sẽ xác định được ăng-ten tốt nhất và người dùng tốt nhất, như trong công thức (8).

Bởi vì việc ước lượng chính xác các hệ số kênh giao thoa giữa máy phát sơ cấp PT và các người dùng D là quá phức tạp nên việc triển khai MH1 khó khăn hơn rất nhiều, khi so với MH2.

Giả sử tất cả các kênh truyền giữa các thiết bị dưới mặt đất đều là kênh fading Rayleigh. Vì vậy, độ lợi kênh $\gamma_{X^u Y^v}$ sẽ có phân phối mũ, với hàm mật độ xác suất (PDF) và hàm phân phối tích lũy (CDF: Cumulative Distribution Function) lần lượt là:

$$\begin{aligned} f_{\gamma_{X^u Y^v}}(x) &= \lambda_{X^u Y^v} \exp(-\lambda_{X^u Y^v} x), \\ F_{\gamma_{X^u Y^v}}(x) &= 1 - \exp(-\lambda_{X^u Y^v} x), \end{aligned} \quad (10)$$

với $\lambda_{X^u Y^v}$ bằng nghịch đảo giá trị trung bình của độ lợi kênh $\gamma_{X^u Y^v}$, cụ thể $\lambda_{X^u Y^v} = 1/\bar{\gamma}_{X^u Y^v}$. Giả sử các kênh dữ liệu và giao thoa độc lập và đồng nhất, ta có:

$$\lambda_{R^u PR} = \lambda_{R^u D_n} = \lambda_{RD} = \lambda_{PT D_n} = \lambda_{PTD} (\forall u, n). \quad (11)$$

Tiếp đến, ta định nghĩa xác suất dừng là xác suất mà tỷ số SNR hoặc SINR tại một thiết bị thu nhỏ hơn một ngưỡng xác định trước. Ngược lại, ta giả sử rằng thiết bị thu này có thể giải mã thành công dữ liệu.

Theo định nghĩa trên, xác suất mà nút đích được chọn nhận được dữ liệu thành công (SP: Successful Decoding) trong mô hình MHj (j = 1, 2) được tính như sau:

$$SP_j = \Pr(\varphi_{SR}^{SC} \geq \psi_{S,th}) \times \Pr(\varphi_{R^e D_f} \geq \psi_{P,th}), \quad (12)$$

với $\psi_{S,th}$ và $\psi_{P,th}$ là các ngưỡng đã được xác định trước, $e \in \{a, c\}$ và $f \in \{b, d\}$. Công thức (12) có nghĩa rằng đích D_f nhận dữ liệu thành công khi sự truyền dữ liệu trên cả hai pha đều thành công.

Do đó, xác suất dừng tại nút đích thứ cấp D_f trong MHj được tính như sau:

$$\begin{aligned} OP_j &= 1 - SP_j \\ &= 1 - \Pr(\varphi_{SR}^{SC} \geq \psi_{S,th}) \times \Pr(\varphi_{R^e D_f} \geq \psi_{P,th}) \\ &= 1 - \left[1 - \underbrace{\Pr(\varphi_{SR}^{SC} < \psi_{S,th})}_{OP_1} \right] \times \left[1 - \underbrace{\Pr(\varphi_{R^e D_f} < \psi_{P,th})}_{OP_2^{MHj}} \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Trong công thức (13), OP_1 và OP_2^{MHj} lần lượt là xác suất dừng ở pha truyền dữ liệu thứ nhất và pha truyền dữ liệu thứ hai trong mô hình MHj. Hơn nữa, ta có thể quan sát rằng xác suất dừng ở chặng thứ nhất của MH1 và MH2 là giống nhau. Do đó, mô hình MH1 đạt được hiệu năng OP tốt hơn mô hình MH2 bởi vì phương pháp chọn anten phát và chọn lựa nút đích tối ưu vì mô hình MH1 sử dụng thông tin trạng thái kênh truyền của cả kênh dữ liệu và kênh giao thoa.

III. ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG HỆ THỐNG

3.1 Xác suất dừng OP_1

Từ các công thức (2) và (4), ta tính được xác suất dừng ở pha truyền dữ liệu đầu tiên giữa vệ tinh S và trạm mặt đất R như sau:

$$\begin{aligned} OP_1 &= \Pr\left(\max_{v=1,2,\dots,K_r}(\varphi_{SR^v}) < \psi_{S,th}\right) \\ &= \prod_{v=1}^{K_r} \Pr(\varphi_{SR^v} < \psi_{S,th}) = \left[\Pr(\gamma_{SR^v} < \rho_{S,th})\right]^{K_r} \\ &= \left[F_{\gamma_{SR^v}}(\rho_{S,th})\right]^{K_r}, \end{aligned} \quad (14)$$

với $\rho_{S,th} = \psi_{S,th} / \Delta_S$, và $F_{\gamma_{SR^v}}(\cdot)$ là hàm CDF của γ_{SR^v} .

Dựa vào mối liên hệ giữa hàm CDF và hàm PDF, ta có:

$$F_{\gamma_{SR^v}}(\rho_{S,th}) = \int_0^{\rho_{S,th}} f_{\gamma_{SR^v}}(t) dt. \quad (15)$$

Kết hợp các công thức (3), (14) và (15), ta đạt được biểu thức tính chính xác xác suất dừng OP_1 như sau:

$$OP_1 = \left[\int_0^{\rho_{S,th}} \left(\frac{1}{2b} \left(\frac{2mb}{2mb + \Omega} \right)^m \exp\left(-\frac{x}{2b}\right) \right) \times {}_1F_1\left(m; 1; \frac{\Omega x}{2b(2mb + \Omega)}\right) dt \right]^{K_r}. \quad (16)$$

3.2 Xác suất dừng OP_2^{MH1}

Sử dụng công thức (8), ta có thể viết lại xác suất dừng OP_2^{MH1} dưới dạng sau:

$$\begin{aligned} OP_2^{MH1} &= \Pr\left(\max_{u=1,2,\dots,K_r} \left(\max_{n=1,2,\dots,N} (\varphi_{R^u D_n}) \right) < \psi_{P,th}\right) \\ &= \prod_{u=1}^{K_r} \Pr\left(\max_{n=1,2,\dots,N} (\varphi_{R^u D_n}) < \psi_{P,th}\right). \end{aligned} \quad (17)$$

Từ công thức (7), ta thấy rằng các biến ngẫu nhiên $\varphi_{R^u D_n}$ không độc lập với nhau vì chúng có thành phần chung đó là $\gamma_{R^u PR}$. Do đó, để tính xác suất $\Pr\left(\max_{n=1,2,\dots,N} (\varphi_{R^u D_n}) < \psi_{P,th}\right)$, ta cần viết lại xác suất này dưới dạng sau:

$$\begin{aligned} \Pr\left(\max_{n=1,2,\dots,N} (\varphi_{R^u D_n}) < \psi_{P,th}\right) &= \\ \int_0^{+\infty} \underbrace{\Pr\left(\max_{n=1,2,\dots,N} \left(\frac{(I_p/x) \gamma_{R^u D_n}}{\Delta_{PT} \gamma_{PTD_n} + 1} \right) < \psi_{P,th}\right)}_{A(x)} f_{\gamma_{R^u PR}}(x) dx. \end{aligned} \quad (18)$$

Tiếp đến, xét xác suất $A(x)$ trong (18), ta có:

$$\begin{aligned} A(x) &= \Pr\left(\max_{n=1,2,\dots,N} \left(\frac{(I_p/x) \gamma_{R^u D_n}}{\Delta_{PT} \gamma_{PTD_n} + 1} \right) < \psi_{P,th}\right) \\ &= \prod_{n=1}^N \Pr\left(\frac{I_p}{x} \frac{\gamma_{R^u D_n}}{\Delta_{PT} \gamma_{PTD_n} + 1} < \psi_{P,th}\right) \\ &= \prod_{n=1}^N \Pr\left(\gamma_{R^u D_n} < \frac{\Delta_{PT} \psi_{P,th} x}{I_p} \gamma_{PTD_n} + \frac{\psi_{P,th} x}{I_p}\right) \\ &= \prod_{n=1}^N \Pr(\gamma_{R^u D_n} < \omega_{1,th} x \gamma_{PTD_n} + \omega_{2,th} x) \\ &= \prod_{n=1}^N \int_0^{+\infty} F_{\gamma_{R^u D_n}}(\omega_{1,th} xy + \omega_{2,th} x) f_{\gamma_{PTD_n}}(y) dy, \end{aligned} \quad (19)$$

với

$$\omega_{1,th} = \frac{\Delta_{PT} \psi_{P,th}}{I_p}, \omega_{2,th} = \frac{\psi_{P,th}}{I_p}. \quad (20)$$

Sử dụng công thức (9) và (10), ta có:

$$F_{\gamma_{R^u D_n}}(\omega_{1,th} xy + \omega_{2,th} x) = 1 - \exp(-\lambda_{RD} \omega_{2,th} x) \times \exp(-\lambda_{RD} \omega_{1,th} xy), \quad (21)$$

$$f_{\gamma_{PTD_n}}(y) = \lambda_{PTD} \exp(-\lambda_{PTD} y). \quad (22)$$

Thay (21) và (22) vào công thức (19), sau khi thực hiện các phép biến đổi, ta đạt được:

$$\begin{aligned}
 A(x) &= \prod_{n=1}^N \left[1 - \exp(-\lambda_{RD} \omega_{2,th} x) \right. \\
 &\quad \left. \times \int_0^{+\infty} \exp(-\lambda_{RD} \omega_{1,th} xy) \lambda_{PTD} \exp(-\lambda_{PTD} y) dy \right] \\
 &= \prod_{n=1}^N \left[1 - \frac{\lambda_{PTD}}{\lambda_{PTD} + \lambda_{RD} \omega_{1,th} x} \exp(-\lambda_{RD} \omega_{2,th} x) \right] \\
 &= \left[1 - \frac{\lambda_{PTD}}{\lambda_{PTD} + \lambda_{RD} \omega_{1,th} x} \exp(-\lambda_{RD} \omega_{2,th} x) \right]^N.
 \end{aligned} \tag{23}$$

Để có thể sử dụng $A(x)$ cho các tính toán tiếp theo, ta viết lại (23) dưới dạng sau:

$$\begin{aligned}
 A(x) &= \left[1 - \frac{\omega_{3,th}}{\omega_{3,th} + x} \exp(-\lambda_{RD} \omega_{2,th} x) \right]^N \\
 &= 1 + \sum_{r=1}^N (-1)^r \frac{C_N^r (\omega_{3,th})^r}{(\omega_{3,th} + x)^r} \exp(-r \lambda_{RD} \omega_{2,th} x),
 \end{aligned} \tag{24}$$

với

$$\omega_{3,th} = \frac{\lambda_{PTD}}{\lambda_{RD} \omega_{1,th}}.$$

Tiếp đến, thay công thức (24) và hàm PDF $f_{\gamma_{R^cPR}}(x) = \lambda_{RPR} \exp(-\lambda_{RPR} x)$ vào công thức (18), ta đạt được công thức (25):

$$\begin{aligned}
 &\Pr \left(\max_{n=1,2,\dots,N} (\varphi_{R^cD_n}) < \psi_{P,th} \right) = 1 + \\
 &\sum_{r=1}^N (-1)^r C_N^r \lambda_{RPR} (\omega_{3,th})^r \\
 &\times \int_0^{+\infty} \frac{\exp(-(\lambda_{RPR} + r \lambda_{RD} \omega_{2,th}) x)}{(\omega_{3,th} + x)^r} dx.
 \end{aligned} \tag{25}$$

Tiến hành đổi biến: $y = \frac{x + \omega_{3,th}}{\omega_{3,th}}$, ta có:

$$\begin{aligned}
 &\Pr \left(\max_{n=1,2,\dots,N} (\varphi_{R^cD_n}) < \psi_{P,th} \right) = 1 + \\
 &\sum_{r=1}^N (-1)^r C_N^r \lambda_{RPR} \omega_{3,th} \exp((\lambda_{RPR} + r \lambda_{RD} \omega_{2,th}) \omega_{3,th}) \\
 &\times \int_1^{+\infty} \frac{\exp(-(\lambda_{RPR} + r \lambda_{RD} \omega_{2,th}) \omega_{3,th} y)}{y^r} dy.
 \end{aligned} \tag{26}$$

Hơn nữa, sử dụng định nghĩa của hàm tích phân mũ exponential integral function) bậc n :

$$E_n(x) = \int_1^{+\infty} \frac{\exp(-xt)}{t^n} dt, \tag{27}$$

ta đạt được công thức tính chính xác

$$\begin{aligned}
 &\Pr \left(\max_{n=1,2,\dots,N} (\varphi_{R^cD_n}) < \psi_{P,th} \right) \text{ như sau:} \\
 &\Pr \left(\max_{n=1,2,\dots,N} (\varphi_{R^cD_n}) < \psi_{P,th} \right) = 1 + \\
 &\sum_{r=1}^N (-1)^r C_N^r \lambda_{RPR} \omega_{3,th} \exp((\lambda_{RPR} + r \lambda_{RD} \omega_{2,th}) \omega_{3,th}) \\
 &\times E_r((\lambda_{RPR} + r \lambda_{RD} \omega_{2,th}) \omega_{3,th}).
 \end{aligned} \tag{28}$$

Từ (17), (18) và (28), ta có được công thức tính chính xác xác suất dừng ở chặng thứ 2 trong MH1 như sau:

$$\begin{aligned}
 OP_2^{MH1} &= \\
 &\left[1 + \sum_{r=1}^N (-1)^r C_N^r \lambda_{RPR} \omega_{3,th} \exp((\lambda_{RPR} + r \lambda_{RD} \omega_{2,th}) \omega_{3,th}) \right. \\
 &\quad \left. \times E_r((\lambda_{RPR} + r \lambda_{RD} \omega_{2,th}) \omega_{3,th}) \right]^{K_r}.
 \end{aligned} \tag{29}$$

Cuối cùng, thay (16) và (29) vào (13), ta được công thức tính chính xác xác suất dừng của mô hình MH1.

3.3 Xác suất dừng OP_2^{MH2}

Tương tự các công thức (17) và (19), ta có thể viết:

$$\begin{aligned}
 OP_2^{MH2} &= \Pr(\varphi_{R^cD_d} < \psi_{P,th}) \\
 &= \Pr \left(\frac{(I_P / \gamma_{R^cPR}) \gamma_{R^cD_d}}{\Delta_{PT} \gamma_{PTD_d} + 1} < \psi_{P,th} \right) \\
 &= \Pr \left(\gamma_{R^cD_d} < \frac{\Delta_{PT} \psi_{P,th}}{I_P} \gamma_{R^cPR} \gamma_{PTD_d} + \frac{\psi_{P,th}}{I_P} \gamma_{R^cPR} \right) \\
 &= \Pr(\gamma_{R^cD_d} < \omega_{1,th} \gamma_{R^cPR} \gamma_{PTD_d} + \omega_{2,th} \gamma_{R^cPR}) \\
 &= \int_0^{+\infty} \int_0^{+\infty} F_{\gamma_{R^cD_d}}(\omega_{1,th} xy + \omega_{2,th} x) f_{\gamma_{PTD_d}}(y) f_{\gamma_{R^cPR}}(x) dy dx.
 \end{aligned} \tag{30}$$

Sử dụng công thức (9), ta đạt được hàm CDF $F_{\gamma_{R^cD_d}}(x)$

như sau:

$$\begin{aligned}
 F_{\gamma_{R^cD_d}}(x) &= \Pr \left(\max_{u=1,2,\dots,K_i} \left(\max_{n=1,2,\dots,N} (\gamma_{R^cD_n}) \right) < x \right) \\
 &= [1 - \exp(-\lambda_{RD} x)]^{NK_i} \\
 &= 1 + \sum_{q=1}^{NK_i} (-1)^q C_{NK_i}^q \exp(-q \lambda_{RD} x).
 \end{aligned} \tag{31}$$

Thay công thức (31) và các hàm PDF $f_{\gamma_{R^cPR}}(x) = \lambda_{RPR} \exp(-\lambda_{RPR} x)$ và $f_{\gamma_{PTD_d}}(y) = \lambda_{PTD} \exp(-\lambda_{PTD} y)$ vào công thức (30), sau khi tính lớp tích phân thứ nhất, ta có:

$$\begin{aligned}
 OP_2^{MH2} &= 1 + \sum_{q=1}^{NK_i} (-1)^q C_{NK_i}^q \\
 &\times \int_0^{+\infty} \frac{\omega_{4,th} \lambda_{RPR}}{\omega_{4,th} + x} \exp(-(\lambda_{RPR} + q \lambda_{RD} \omega_{2,th}) x) dx,
 \end{aligned} \tag{32}$$

với

$$\omega_{4,th} = \frac{\lambda_{PTD}}{q \lambda_{RD} \omega_{1,th}}.$$

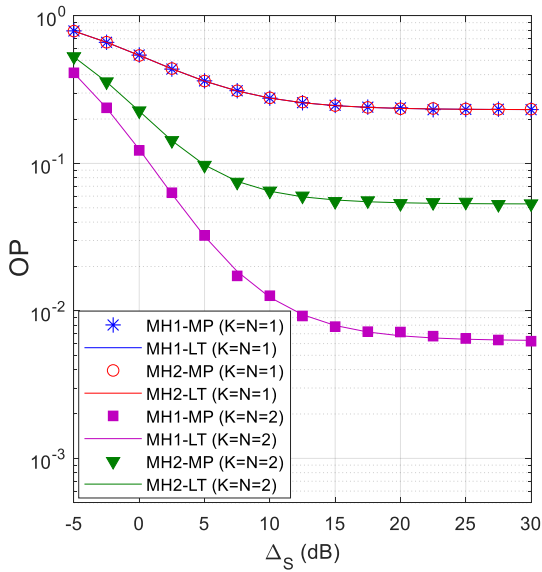
Tiếp tục tính tích phân trong công thức (32), ta đạt được:

$$\begin{aligned}
 OP_2^{MH2} &= 1 + \sum_{q=1}^{NK_i} (-1)^q C_{NK_i}^q \lambda_{RPR} \omega_{4,th} \\
 &\quad \times \exp((\lambda_{RPR} + q \lambda_{RD} \omega_{2,th}) \omega_{4,th}) \\
 &\quad \times E_1((\lambda_{RPR} + q \lambda_{RD} \omega_{2,th}) \omega_{4,th}).
 \end{aligned} \tag{33}$$

Cuối cùng, thay (16) và (32) vào (13), ta được công thức tính chính xác xác suất dừng của mô hình MH2.

IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ LÝ THUYẾT

Trong phần này, chúng tôi thực hiện các kết quả mô phỏng (MP) và lý thuyết (LT) xác suất dừng OP của hai mô hình MH1 và MH2. Đối với kênh Shadowed-Rician, các tham số kênh truyền được thiết lập như trong các tài liệu [5], [7]: $m = 10.1$, $b = 0.126$ và $\Omega = 0.835$. Để đơn giản trong việc mô tả và phân tích các xu hướng hiệu năng hệ thống, ta có thể giả sử số ăng ten phát và thu tại trạm thứ cấp R bằng nhau và bằng K ($K_t = K_r = K$), và mối liên hệ giữa Δ_S , Δ_{PT} và I_p như sau: $\Delta_{PT} = 0.5\Delta_S$, $I_p = 0.1\Delta_S$. Đối với các kênh truyền Rayleigh fading giữa các thiết bị trên mặt đất, các tham số kênh truyền được cố định giá trị như sau: $\lambda_{PTPR} = 1$, $\lambda_{PTD} = 1$, $\lambda_{RPR} = 1$ và $\lambda_{RD} = 0.5$.



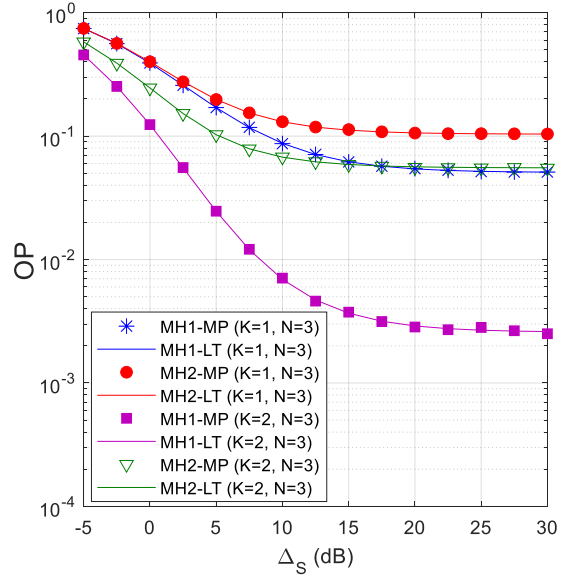
Hình 2. OP của MH1 và MH2 vẽ theo Δ_S (dB) với $\psi_{S,th} = \psi_{P,th} = 0.15$.

Hình 2 vẽ xác suất dừng OP của MH1 và MH2 theo Δ_S (dB). Như ta có thể thấy, xác suất dừng của cả hai mô hình giảm khi tăng Δ_S . Tuy nhiên, khi Δ_S lớn thì OP của MH1 và MH2 sẽ hội tụ về những giá trị hằng và không phụ thuộc Δ_S . Thật vậy, bởi vì ta đã thiết lập $\Delta_{PT} = 0.5\Delta_S$, $I_p = 0.1\Delta_S$ nên khi Δ_S lớn, tỷ số SINR trong công thức (7) sẽ được xấp xỉ như sau:

$$\varphi_{R^u D_n} \approx \frac{\Delta_S \rightarrow +\infty (I_p / \gamma_{R^u PR}) \gamma_{R^u D_n}}{\Delta_{PT} \gamma_{PTD_n}} = \frac{0.1 \gamma_{R^u D_n}}{0.5 \gamma_{R^u PR} \gamma_{PTD_n}} \quad (34)$$

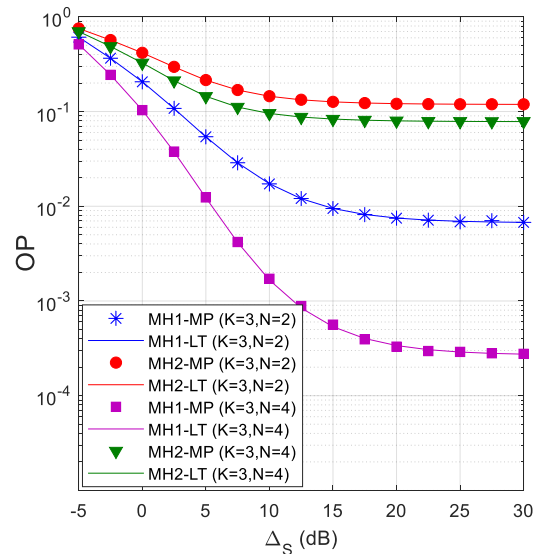
Ta có thể thấy rằng tỷ số SINR $\varphi_{R^u D_n}$ trong công thức (34) không phụ thuộc vào Δ_S , và đây chính là nguyên nhân tại sao OP của MH1 và MH2 cũng không phụ thuộc vào Δ_S . Tiếp tục quan sát Hình 2, ta thấy rằng khi $K=N=1$, OP của MH1 và MH2 là giống nhau. Ta cũng lưu ý rằng mô hình $K=N=1$ chính là mô hình chọn lựa người dùng và ăng ten phát ngẫu nhiên. Do đó, khi $K=N=1$, hai mô hình đề xuất có hiệu năng dừng bằng hiệu năng dừng của mô hình chọn lựa ngẫu nhiên. Khi $K=N=2$, do các mô hình đề xuất MH1 và MH2 khai thác được độ lợi phân tập cao hơn nên các mô hình MH1 và MH2 đạt được giá trị OP thấp hơn hẳn mô hình

chọn lựa ngẫu nhiên. Hơn nữa, khi $K=N=2$, OP của MH1 thấp hơn hẳn MH2. Hình 2 cũng cho thấy các kết quả mô phỏng (MP) trùng với các kết quả lý thuyết (LT), điều này chứng tỏ các phân tích lý thuyết trong Phần III là chính xác.



Hình 3. OP của MH1 và MH2 vẽ theo Δ_S (dB) với $\psi_{S,th} = \psi_{P,th} = 0.15$.

Hình 3 vẽ xác suất dừng OP của MH1 và MH2 theo Δ_S (dB). Tương tự như Hình 2, ta thấy rằng MH1 đạt được giá trị OP thấp hơn MH2 với các giá trị khác nhau của K và N . Như đã trình bày trong công thức số (8), mô hình MH1 là mô hình tối ưu bởi vì tỷ số SINR đạt được là cực đại. Trong trường hợp $K=2$ và $N=3$, ta thấy rằng khoảng cách hiệu năng của MH1 và MH2 lớn hơn khi so với trường hợp $K=1$ và $N=3$. Ta cũng lưu ý rằng trường hợp $K=1$ và $N=3$ tương ứng với mô hình chọn lựa ăng ten phát ngẫu nhiên. Do đó, các mô hình đề xuất MH1 và MH2 đạt được hiệu năng dừng tốt hơn mô hình chọn lựa ăng ten phát ngẫu nhiên.



Hình 4. OP của MH1 và MH2 vẽ theo Δ_S (dB) với $\psi_{S,th} = \psi_{P,th} = 0.35$.

Hình 4 vẽ xác suất dừng OP của MH1 và MH2 theo Δ_s (dB). Hình 4 cho ta thấy xác suất dừng của MH1 và MH2 nhỏ hơn trong các Hình 2 và Hình 3, bởi vì số ăngten tại trạm chuyển tiếp và số nút đích trong Hình 4 lớn hơn các hình trước đây. Hình 4 cũng cho thấy hiệu năng OP của MH1 tốt hơn rất nhiều khi so sánh với MH2. Hơn nữa, khi tăng số nút đích (N) từ 2 lên 4, OP của MH1 cũng giảm đáng kể, trong khi OP của MH2 chỉ giảm nhẹ.

V. KẾT LUẬN

Bài báo nghiên cứu hiệu năng xác suất dừng của mạng chuyển tiếp lai ghép vệ tinh-mặt đất hoạt động trong môi trường vô tuyến nhận thức dạng nền. Dưới sự ràng buộc công suất phát và sự ảnh hưởng của can nhiễu đồng kênh từ mạng sơ cấp, bài báo đã đưa ra hai mô hình chọn lựa ăngten phát và nút đích tốt nhất để nâng cao chất lượng chuyển tiếp dữ liệu trên mặt đất. Các kết quả đạt được cho thấy rằng xác suất dừng của các mô hình đề xuất giảm đáng kể khi tăng số ăngten phát và thu tại trạm chuyển tiếp mặt đất và tăng số lượng nút đích. Hơn nữa, MH1 luôn đạt được hiệu năng xác suất dừng tốt hơn MH2, và khoảng cách hiệu năng sẽ càng lớn khi số ăngten và số nút đích tăng. Ngược lại, việc triển khai MH2 trong thực tế lại đơn giản hơn nhiều khi so với MH1. Các kết quả cũng cho ta thấy rằng, do sự ảnh hưởng của nhiễu đồng kênh từ mạng sơ cấp, cả hai mô hình MH1 và MH2 đề xuất đều không đạt được độ lợi phân tập (độ lợi phân tập bằng 0).

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông Cơ Sở Thành Phố Hồ Chí Minh với mã số đề tài 06-HV-2021-RD_VT2.

REFERENCES

- [1] P. Wood, "Mobile Satellite Services for Travellers," IEEE Communications Magazine, vol. 29, no. 11, pp. 32-35, Nov. 1991.
- [2] B. Evans, M. Werner, E. Lutz, M. Bousquet, G.E. Corazza, G. Maral and R. Rumeau, "Integration of Satellite and Terrestrial Systems in Future Multimedia Communications," IEEE Wireless Communications, vol. 12, no. 5, pp. 72-80, Oct. 2005.
- [3] S. Chen, S. Sun and S. Kang, "System Integration Of Terrestrial Mobile Communication and Satellite Communication —the Trends, Challenges and Key Technologies in B5G and 6G," China Communications, vol. 17, no. 12, pp. 156-171, Dec. 2020.
- [4] K. Guo, D. Guo, Y. Huang, X. Wang and B. Zhang, "Performance Analysis of a Dual-Hop Satellite Relay Network with Hardware Impairments," in Proc. of 25th Wireless and Optical Communication Conference (WOCC), Chengdu, China, pp. 1 - 5, May 2016.
- [5] Q. Huang, M. Lin, K. An, J. Ouyang and W. Zhu, "Secrecy Performance of Hybrid Satellite-Terrestrial Relay Networks in the Presence of Multiple Eavesdroppers," IET Communications, vol. 12, no. 1, pp. 26-34, Jan. 2018.
- [6] W. Cao, Y. Zou, Z. Yang and J. Zhu, "Relay Selection for Improving Physical-Layer Security in Hybrid Satellite-Terrestrial Relay Networks," IEEE Access, vol. 6, pp. 65275-65285, Oct. 2018.
- [7] H. Wu, Y. Zou, W. Cao, Z. Chen, T. A. Tsiftsis, M. R. R. Bhatnagar and R. C. De Lamare, "Impact of Hardware Impairments on Outage Performance of Hybrid Satellite-

- Terrestrial Relay Systems," IEEE Access, vol. 7, pp. 35103 – 35112, Mar. 2019.
- [8] V. Bankey and P. K. Upadhyay, "Physical Layer Security of Multiuser Multirelay Hybrid Satellite-Terrestrial Relay Networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 3, pp. 2488-2501, Mar. 2019.
- [9] C. Zhang, H. Lin, Y. Huang and L. Yang, "Performance of Integrated Satellite-Terrestrial Relay Network with Relay Selection and Outdated CSI," IEEE Access, vol. 8, pp. 169652-169662, Sept. 2020.
- [10] J. Mitola and J. Maguire, "Cognitive radio: making software radios more personal," IEEE Personal Commun., vol. 6, no. 4, pp. 13–18, Aug. 1999.
- [11] Y. Liu, L. Wang, T. T. Duy, M. El-kashlan, Trung Q. Duong, "Relay Selection for Security Enhancement in Cognitive Relay Networks," IEEE Wireless Communications Letters, vol. 4, no. 1, pp. 46-49, Feb. 2015.
- [12] P. N. Son and T. T. Duy, "Performance Analysis of Underlay Cooperative Cognitive Full-duplex Networks with Energy-Harvesting Relay," Computer Communications, vol. 122, pp. 9-19, Jun. 2018.
- [13] T. T. Duy, P. T. D. Ngoc, T. T. Phuong, "Performance Enhancement for Multihop Cognitive DF and AF Relaying Protocols under Joint Impact of Interference and Hardware Noises: NOMA for Primary Network and Best-Path Selection for Secondary Network," Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2021, ID 8861725, pp. 1-15, Apr. 2021.
- [14] K. An, J. Ouyang, M. Lin and T. Liang, "Outage Analysis of Multi-Antenna Cognitive Hybrid Satellite-Terrestrial Relay Networks With Beamforming," IEEE Communications Letters, vol. 19, no. 7, pp. 1157-1160, July 2015.
- [15] Z. Li, F. Xiao, S. Wang, T. Pei and J. Li, "Achievable Rate Maximization for Cognitive Hybrid Satellite-Terrestrial Networks With AF-Relays," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 36, no. 2, pp. 304-313, Feb. 2018.
- [16] K. Guo, K. An, B. Zhang, Y. Huang and G. Zheng, "Outage Analysis of Cognitive Hybrid Satellite-Terrestrial Networks With Hardware Impairments and Multi-Primary Users," IEEE Wireless Communications Letters, vol. 7, no. 5, pp. 816-819, Oct. 2018.
- [17] V. Singh, S. Solanki and P. K. Upadhyay, "Cognitive Relaying Cooperation in Satellite-Terrestrial Systems With Multiuser Diversity," IEEE Access, vol. 6, pp. 65539-65547, Oct. 2018.
- [18] H. -N. Nguyen, et al., "Reliable and Secure Transmission in Multiple Antennas Hybrid Satellite-Terrestrial Cognitive Networks Relying on NOMA," IEEE Access, vol. 8, pp. 215044-215056, Dec. 2020.
- [19] N. -T. Nguyen, H. -N. Nguyen, N. -L. Nguyen, A. -T. Le, D. -T. Do and M. Voznak, "Enhancing Spectrum Efficiency or Multiple Users in Hybrid Satellite-Terrestrial Networks," IEEE Access, vol. 9, pp. 50291-50300, Mar. 2021.
- [20] V. Singh and P. K. Upadhyay, "Exploiting FD/HD Cooperative-NOMA in Underlay Cognitive Hybrid Satellite-Terrestrial Networks," IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, (Online First) doi: 10.1109/TCCN.2021.3089164.
- [21] P. T. Tin, P. M. Nam, T. T. Duy, T. T. Phuong, M. Voznak, "Secrecy Performance of TAS/SC-based Multi-hop Harvest-to-Transmit Cognitive WSNs under Joint Constraint of Interference and Hardware Imperfection," Sensors MDPI, vol. 19, no. 5, (1160), March 2019.
- [22] P. M. Nam, T. T. Duy, P. V. Ca, "End-to-end Security-Reliability Analysis of Multi-hop Cognitive Relaying Protocol with TAS/SC-based Primary Communication, Total Interference Constraint and Asymmetric Fading Channels," International Journal of Communication Systems, vol. 32, no. 2, pp. 1-16, Jan. 2019.

- [23] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, "Table of Integrals, Series, and Products. 7th ed. Academic Press, 2007.
- [24] T. D. Hieu, T. T. Duy, S. G. Choi, "Secrecy Performance of a Generalized Partial Relay Selection Protocol in Underlay Cognitive Networks," International Journal of Communication Systems, vol. 31, no. 17, pp. 1-17, Nov. 2018.
- [25] P. N. Son, T. T. Duy, H. V. Khuong, "SIC-Coding Schemes for Underlay Two-Way Relaying Cognitive Networks," Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2020, ID 8860551, pp. 1-17, Aug. 2020.
- [26] N. N. Tan, T-D Tran, T. T. Phuong and M. Voznak, "Performance Evaluation of User Selection Protocols in Random Networks with Energy Harvesting and Hardware Impairments," Advances in Electrical and Electronic Engineering, vol. 14, no. 4, pp. 372-377, Nov. 2016.
- [27] T-D Tran and P. N. Son, "A Novel Adaptive Spectrum Access Protocol in Cognitive Radio with Primary Multicast Network, Secondary User Selection and Hardware Impairments," Telecommunication Systems, vol. 65, no. 3 , pp. 525-538, Jun. 2017.



Lê Chu Khấn nhận bằng cử nhân tại Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh vào năm 1996, và bằng thạc sĩ vào năm 2004 tại Đại Học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh. ThS. Lê Chu Khấn hiện đang công tác tại Khoa Viễn thông 2 thuộc Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông cơ sở tại TP. Hồ Chí Minh. Hướng nghiên cứu hiện tại đang quan tâm bao gồm: thông tin vệ tinh, vô tuyến nhận thức, phân tích hiệu năng mạng vô tuyến, bảo mật trong mạng thông tin vô tuyến.

Email: lckhan@ptithcm.edu.vn

PERFORMANCE ENHANCEMENT FOR COGNITIVE HYBRID SATELLITE-TERRESTRIAL RELAY NETWORKS USING TRANSMIT ANTENNA SELECTION AND USER SELECTION

Abstract: In this paper, we study hybrid satellite-terrestrial relay networks, where the terrestrial station is a secondary device operating on an underlay cognitive radio approach. As a result, transmit power of the terrestrial station is limited, and the secondary destinations are suffered from co-channel interference caused by the primary transmitter. This paper proposes two joint antenna selection and destination (user) selection methods to enhance reliability of the data transmission between the terrestrial station and the selected destination. In addition, the terrestrial station can use selection-combining technique for decoding the signals received from the satellite. This paper derives exact expressions of outage probability for two proposed methods. The results present that the outage performance of the proposed methods is better with the increasing of the number of transmit and receive antennas at the terrestrial station as well as increasing the number of destinations.

Keywords: hybrid satellite-terrestrial relay network, underlay cognitive, selection-combining, transmit antenna selection, best-user selection scheme.



Phạm Minh Quang nhận bằng cử nhân và bằng thạc sĩ tại Trường Đại Học Khoa Học Tự Nhiên, Đại Học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh vào năm 2007 và năm 2012. ThS. Phạm Minh Quang hiện đang công tác tại Khoa Viễn thông 2 thuộc Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông cơ sở tại TP. Hồ Chí Minh. Hướng nghiên cứu hiện tại đang quan tâm bao gồm: thông tin vô tuyến, kỹ thuật thu thập năng lượng vô tuyến, phân tích hiệu năng mạng vô tuyến.

Email: phamminhquang@ptithcm.edu.vn