

PHÂN TÍCH HIỆU NĂNG MẠNG CHUYỂN TIẾP SỬ DỤNG GIAO THỨC DECODE-AND-FORWARD TRONG HỆ THỐNG VÔ TUYẾN NHẬN THỨC DẠNG NỀN SỬ DỤNG GÓI TIN NGẮN

Huỳnh Văn Hóa*, Võ Nguyễn Quốc Bảo*

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

Tóm tắt: Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một thiết kế cho mạng truyền thông sử dụng gói tin ngắn có sự hỗ trợ của nút chuyển tiếp nhằm đảm bảo chất lượng mạng cũng như hạn chế những ảnh hưởng bởi những điều kiện bất lợi của địa hình truyền nhận thông tin trong môi trường vô tuyến. Thông số để phân tích nhằm đảm bảo chất lượng mạng là tỉ lệ lỗi khối. Hơn nữa, vị trí của các nút chuyển tiếp cũng được khảo sát để kiểm chứng ảnh hưởng của điều kiện bất lợi từ địa hình. Ngoài ra, giá trị của hệ số suy hao theo các mức công suất khác nhau cũng được khảo sát trong mô hình đề xuất. Kết quả phân tích được kiểm chứng lại bởi kết quả mô phỏng Monte-Carlo.

Từ khóa: fading Rayleigh, giải mã và chuyển tiếp, nút chuyển tiếp, tỉ lệ lỗi khối, truyền thông gói tin ngắn.

I. GIỚI THIỆU

Vô tuyến nhận thức (Cognitive Radio) là một trong số những công nghệ vô tuyến đã và đang thu hút được sự chú ý không những của giới khoa học và công nghiệp mà cả những người quản lý tài nguyên vô tuyến bởi khả năng nâng cao hiệu suất sử dụng phổ tần.

Để hiện thực hóa khả năng này, hai giao thức chia sẻ phổ động đã được đề xuất trong [1] đó là giao thức dạng nền (underlay) và giao thức dạng xen kẽ (overlay). Nguyên tắc hoạt động của giao thức dạng nền là cả hai hệ thống thứ cấp và sơ cấp cùng hoạt động song song, miễn là can nhiễu của hệ thống thứ cấp gây nên cho hệ thống sơ cấp ở một mức giới hạn cho phép [2, 3]. Do đó, hệ thống thứ cấp vẫn có khả năng đáp ứng được các ứng dụng yêu cầu về thời gian thực mà vẫn đảm bảo được chất lượng hệ thống sơ cấp. Thêm nữa, do tính đơn giản nhưng hiệu quả nên giao thức dạng nền nhanh chóng thu hút được sự chú ý của giới khoa học trên toàn thế giới và góp phần thúc đẩy nhanh sự phát triển của công nghệ vô tuyến nhận thức nói riêng và truyền thông không dây nói chung. Đối với giao thức dạng xen kẽ là các máy phát thứ cấp (người dùng không được cấp phép sử dụng tần số) sẽ truy cập vào các “lỗ hổng” tạm thời của hệ thống sơ cấp [4-6]. Ưu điểm của

phương pháp này là công suất phát của mạng thứ cấp không bị giới hạn. Tuy nhiên, trong thực tế, việc tìm, phát hiện, sử dụng và chuyển giao phổ theo thời gian thực vẫn là một thách thức lớn do các giới hạn về phân cứng cũng như phương thức quản lý tài nguyên hiện nay. Vì vậy, giao thức dạng xen kẽ không thu hút được nhiều sự quan tâm như ở giao thức dạng nền. So sánh hai phương pháp kể trên, thì phương pháp underlay cho phép khắc phục nhược điểm của phương pháp overlay và cải thiện đáng kể hiệu suất sử dụng phổ tần nhưng đòi hỏi hệ thống thứ cấp phải biết được thông tin kênh truyền can nhiễu từ các máy phát thứ cấp đến máy thu sơ cấp.

Bên cạnh vô tuyến nhận thức, mạng chuyển tiếp được giới thiệu lần đầu tiên vào năm 1971 bởi Van der Meulen [7], kênh truyền chuyển tiếp (relay channel) là 1 kênh truyền thông với 3 đầu cuối. Đặc điểm dễ nhận ra của kênh truyền chuyển tiếp là sự xuất hiện của thành phần đầu cuối gọi là nút chuyển tiếp (node relay), thực hiện nhiệm vụ tiếp nhận, xử lý và truyền đi các tín hiệu mang thông tin để cải thiện hiệu năng của hệ thống. Ngoài ra, dựa vào số chặng (hop) giữa nút nguồn và nút đích, ta có thể phân loại kỹ thuật chuyển tiếp làm hai loại là chuyển tiếp hai chặng và chuyển tiếp đa chặng. Trong chuyển tiếp hai chặng, chỉ có một nút chuyển tiếp thực hiện việc truyền dữ liệu đến nút đích. Ngược lại, đối với chuyển tiếp đa chặng: số nút chuyển tiếp thực hiện việc truyền dữ liệu từ nút nguồn đến nút đích là từ 2 trở lên.

Hơn nữa, có thể phân loại kỹ thuật chuyển tiếp gồm: kỹ thuật giải mã chuyển tiếp và kỹ thuật khuếch đại chuyển tiếp. Kỹ thuật giải mã và chuyển tiếp được biểu diễn như hình vẽ bên dưới. Khi dữ liệu được truyền từ nút nguồn đến nút chuyển tiếp. Tại đây, nút chuyển tiếp sẽ thực hiện nhiệm vụ giải mã và mã hóa lại tín hiệu. Sau đó tiếp tục truyền tín hiệu đã được mã hóa tới nút đích. Kỹ thuật khuếch đại và chuyển tiếp, nút chuyển tiếp sau khi nhận được dữ liệu từ nút nguồn sẽ khuếch đại tín hiệu và tiếp tục chuyển tới nút đích.

Đối với mô hình kênh truyền chuyển tiếp thông thường, hệ thống chỉ có duy nhất một nút chuyển tiếp để trợ giúp cho đường truyền trực tiếp từ nút nguồn đến nút đích hoặc sử dụng nhiều nút chuyển tiếp ghép nối tiếp lẫn nhau tạo thành hệ thống truyền thông đa chặng. Tuy nhiên, khái niệm nút chuyển tiếp trong hệ thống thông tin vô tuyến đã được nâng cao hơn khi hệ thống sử dụng nhiều

Tác giả liên hệ: Võ Nguyễn Quốc Bảo,

Email: bao.vnq@vlu.edu.vn

Đến tòa soạn: 10/2023, chỉnh sửa: 11/2023, chấp nhận đăng 12/2023

nút chuyển tiếp cùng lúc để nhận tín hiệu (một cụm nút chuyển tiếp đặt gần nhau) với mục đích để nâng cao hiệu năng hơn nữa của hệ thống. Giả sử hệ thống gồm nút nguồn, nút đích và nhiều nút chuyển tiếp thì quá trình truyền tín hiệu từ nút nguồn đến nút đích cần sự trợ giúp của nhiều nút chuyển tiếp và tại nút đích sẽ chọn ra tín hiệu tốt nhất từ các nút chuyển tiếp để giải mã tín hiệu nhận được. Có 2 kỹ thuật chọn lựa nút chuyển tiếp, bao gồm: kỹ thuật lựa chọn nút chuyển tiếp từng phần và kỹ thuật lựa chọn nút chuyển tiếp toàn phần.

Đối với kỹ thuật lựa chọn nút chuyển tiếp từng phần thì tín hiệu từ nút nguồn tới nút đích được chia ra làm hai khe thời gian. Trong khe thời gian thứ nhất, nút nguồn truyền tín hiệu tới các nút chuyển tiếp, tại đây, các nút chuyển tiếp sẽ nhận được tín hiệu và chọn ra nút có tỉ số SNR lớn nhất. Tiếp theo, trong khe thời gian thứ hai, nút chuyển tiếp với SNR lớn nhất sẽ được chọn và truyền tới nút đích. Trong khi đó, đối với kỹ thuật lựa chọn nút chuyển tiếp toàn phần: Trong khe thời gian đầu tiên, nút nguồn phát quảng bá tín hiệu của nó đến tất cả các nút chuyển tiếp. Trong khe thời gian thứ hai, các nút chuyển tiếp sẽ chuyển tiếp dữ liệu đã nhận được từ nút nguồn đến nút đích. Tại đích, đường dữ liệu nào có SNR toàn phần lớn nhất sẽ được chọn để tiến hành giải mã.

Những đóng góp to lớn của hai kỹ thuật vô tuyến nhận thức dạng nền và kỹ thuật chuyển tiếp đã góp phần đáng kể vào sự phát triển chung của các thế hệ mạng di động như hiện nay (4G). Tuy nhiên, với sự phát triển nhanh chóng của số lượng người dùng dẫn đến lưu lượng mạng truy cập ngày một lớn hơn. Ngoài ra số lượng kết nối giữa các thiết bị cần độ trễ thấp và độ tin cậy cao thì cần phải có một giải pháp mới để đáp ứng được những yêu cầu trên. Một trong những ứng viên tiềm năng đó là truyền thông gói tin ngắn, với những tính năng mới hứa hẹn sẽ tháo gỡ được những hạn chế còn tồn đọng trong mạng di động hiện tại. Thứ nhất là hỗ trợ truyền thông tin với dung lượng lớn hơn giúp tiết kiệm được thời gian truyền nhận dữ liệu giữa các thiết bị. Bên cạnh đó, chính là khả năng truyền thông tin với thời gian thực khi mà các thiết bị và con người giao tiếp với nhau qua khoảng cách xa, với độ chính xác lên đến mức micro giây và cho phép các thiết bị đồng bộ hóa thời gian. Để kết nối các thiết bị theo thời gian thực, đồng nghĩa với việc các thiết bị cần phải truyền các gói tin đáp ứng được các yêu cầu chất lượng với sự ràng buộc về độ trễ phải cực thấp và độ tin cậy cao. Chính vì vậy, truyền thông gói tin ngắn (short packet) [8, 9] hiện đang là ứng viên hàng đầu để đáp ứng được các yêu cầu như trên và cũng đã và đang nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu khoa học trên thế giới.

Trên thực tế, các công trình nghiên cứu về vô tuyến nhận thức trong những năm trước đây thực sự là một con số đáng kể với các đóng góp ở nhiều lớp khác nhau để hình thành nên một hệ thống vô tuyến thông minh hoàn chỉnh [10-13]. Cụ thể hơn, tác giả trong [14] đã đề xuất và khảo sát hệ thống CR (Cognitive Ratio) kết hợp với hệ thống mạng femtocell để hình thành nên mạng truy nhập thế hệ mới. Ngoài ra, công trình nghiên cứu trong [15] đã đưa ra các giải thuật sắp xếp và chia sẻ tài nguyên cho mạng CR kết hợp với kỹ thuật MIMO (Multiple Input Multiple Output). Bên cạnh hướng nghiên cứu về thiết kế và đề xuất giải thuật phân phối tài nguyên, cấu hình hệ thống thì hướng đánh giá chất lượng hệ thống cũng thu hút được nhiều sự quan tâm không kém. Cụ thể hơn, tác giả trong [16] đã đánh giá toàn bộ hiệu năng của hệ thống vô tuyến nhận thức đa chặng với thông tin trạng thái kênh truyền

CSI (Channel State Information) là không hoàn hảo. Trong công trình này, tác giả đã đưa ra các thông số điều chỉnh công suất phát và giá trị lớn nhất của nó nhằm mục đích không gây can nhiễu lên hệ thống sơ cấp mà vẫn đảm bảo được chất lượng của hệ thống thứ cấp. Chất lượng của hệ thống CR với nhiều nút sơ cấp cùng tồn tại với nhiều nút thứ cấp được khảo sát trong [17], cụ thể các thông số xác suất dừng hệ thống, tỉ lệ lỗi bit, và dung lượng hệ thống đã được khảo sát với các trường hợp kênh fading chọn lọc tần số và kênh fading phẳng.

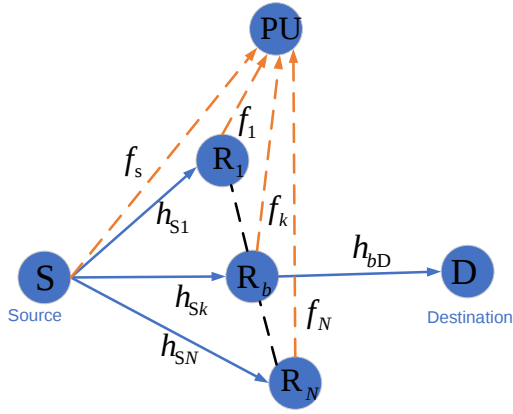
Ngoài ra, hiệu năng hệ thống chuyển tiếp với kỹ thuật lựa chọn nút chuyển tiếp tốt nhất với các kênh truyền đặc trưng đã được khảo sát trong [18], ở đó tác giả đã xác định được xác suất dừng của hệ thống với các trường hợp khác nhau của mạng chuyển tiếp. Ngoài ra, kỹ thuật lựa chọn nút chuyển tiếp trong một hệ thống mạng nhiều cell đã được khảo sát trong [19], trong đó tác giả đã khảo sát xác suất dừng của hệ thống trong một cell xác định với sự tác động của nhiễu đồng kênh từ các cell khác nhau, kết quả đã chứng minh rằng bậc phân tập của hệ thống là đầy đủ và phụ thuộc vào số lượng nút chuyển tiếp trong hệ thống. Xác suất dừng của hệ thống mạng thứ cấp sử dụng giao thức truyền tăng cường đã được khảo sát trong [20], với hệ thống thứ cấp bị ảnh hưởng can nhiễu gây ra bởi hệ thống sơ cấp, kết quả phân tích cho thấy chất lượng hệ thống thứ cấp phụ thuộc rất lớn vào can nhiễu gây ra bởi hệ thống sơ cấp và số lượng nút chuyển tiếp. Ngoài ra, những tính năng và lợi ích to lớn từ kỹ thuật chuyển tiếp nếu kết hợp với công nghệ truyền thông gói tin ngắn hứa hẹn sẽ nâng cao hiệu năng của mạng hơn nữa. Cụ thể, trong bài báo [21], các tác giả đã đề xuất mô hình mạng truyền thông gói tin ngắn kết hợp với kỹ thuật chuyển tiếp theo phương thức đa truy nhập không trực giao NOMA. Trong bài báo [22], Yifan Gu và các cộng sự đã nghiên cứu mô hình mạng truyền thông gói tin ngắn sử dụng kỹ thuật khuếch đại và chuyển tiếp (AF). Các nghiên cứu này đều chứng minh được hiệu năng vượt trội của mạng chuyển tiếp trong truyền thông gói tin ngắn. Theo tôi được biết, cho đến hiện tại vẫn chưa có công trình nghiên cứu nào cho thấy sự kết hợp của mạng chuyển tiếp trong hệ thống vô tuyến nhận thức dạng nền sử dụng truyền thông gói tin ngắn.

Cụ thể, những đóng góp chính của nghiên cứu này bao gồm: (i) chúng tôi xây dựng mô hình mạng truyền thông chuyển tiếp sử dụng gói tin ngắn. (ii) tính toán tỉ lệ lỗi khối theo mô hình đã đề xuất. (iii) là khảo sát số lượng khác nhau của nút chuyển tiếp và ảnh hưởng của chiều dài gói tin trong hệ thống và cuối cùng là (iv) với các giá trị hệ số suy hao khác nhau theo mô hình đề xuất.

Phần tiếp theo của bài báo được trình bày như sau. Phần II là mô hình hệ thống đề xuất trình bày cách thức truyền dữ liệu từ nút nguồn đến nút đích với sự hỗ trợ của các nút chuyển tiếp. Phần III trình bày phương pháp phân tích theo mô hình đề xuất để đánh giá chất lượng của hệ thống với thông số tỉ lệ lỗi khối. Phần IV là các kết quả tính toán sẽ được kiểm chứng lại bằng phần mềm Matlab dựa vào mô hình đã đề xuất. Cuối cùng là phần kết luận và hướng phát triển của đề tài.

II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất mô hình mạng chuyển tiếp sử dụng giao thức Decode-and-Forward trong hệ thống vô tuyến nhận thức dạng nền sử dụng gói tin ngắn như trong *Hình 1*.



Hình 1. Mô hình đề xuất mạng chuyển tiếp trong hệ thống vô tuyến nhận thức dạng nền sử dụng gói tin ngắn

Hệ thống chuyển tiếp sử dụng truyền thông gói tin ngắn được trình bày như trong Hình 1. Trong đó, hệ thống thứ cấp bao gồm một nút nguồn (S), một nút đích (D) và N nút chuyển tiếp, $N = (1, 2, b, \dots, N)$ cùng tồn tại với hệ thống sơ cấp đại diện bởi một máy thu sơ cấp PU. Giả sử đường truyền trực tiếp từ nguồn đến đích là không tồn tại do khoảng cách xa hoặc có nhiều vật cản giữa nguồn và đích, trong khi các nút chuyển tiếp nằm gần vật cản hoặc giữa nút nguồn và nút đích. Mỗi nút mạng thứ cấp và sơ cấp trong hệ thống được trang bị một ăng-ten và hoạt động ở chế độ bán song công.

Kênh truyền của hệ thống đề xuất được giả sử là kênh truyền fading Rayleigh không thay đổi trong một chu kỳ truyền dữ liệu nhưng thay đổi trong các chu kỳ tiếp theo. Gọi h_{sk} và h_{bd} là hệ số kênh truyền dữ liệu từ nút nguồn đến nút chuyển tiếp thứ k và từ nút chuyển tiếp thứ b đến nút đích D. f_s và f_k lần lượt là kênh can nhiễu từ máy phát thứ cấp S đến máy thu sơ cấp PU và từ R_k đến PU. Ta có độ lợi kênh truyền $|h_{sk}|^2$, $|h_{bd}|^2$, $|f_s|^2$ và $|f_k|^2$ có dạng phân bố mũ với thông số lần lượt là λ_{sk} , λ_{bd} , λ_s và λ_k . Hơn nữa, để đơn giản trong quá trình tính toán, ta giả sử $\lambda_{sk} = \lambda_s$, $\lambda_{fk} = \lambda_f$.

Hệ thống đề xuất sử dụng giao thức dạng nền với công suất phát của các máy phát thứ cấp bị ràng buộc bởi hệ số can nhiễu cực đại I_{PU} :

$$P_i = \frac{I_{PU}}{|f_i|^2}, \quad (1)$$

với $i \in \{S, k\}$.

Giả sử thông tin trạng thái kênh truyền CSI được biết tại tất cả các máy thu. Thông tin truyền từ nút nguồn đến nút đích được giả sử diễn ra trong hai khe thời gian. Trong khe thời gian đầu tiên, nút nguồn S truyền tín hiệu đến tất cả các nút chuyển tiếp. Tín hiệu nhận được tại nút chuyển tiếp thứ k là

$$y_k = \sqrt{P_s} h_{sk} x + n_k, \quad (2)$$

với n_k là nhiễu trắng cộng (nhiễu Gauss) tại nút chuyển tiếp thứ k có giá trị trung bình bằng không và phương sai

N_0 , và x là thông tin của nút nguồn mang năng lượng $E\{x\} = 1$ với $E\{\cdot\}$ là toán tử kỳ vọng. Đồng thời, tại thời điểm này, hệ thống lựa chọn ra nút chuyển tiếp có SNR tốt nhất sẽ tiến hành giải mã được tín hiệu đã nhận được từ S. Ngược lại, các nút chuyển tiếp còn lại sẽ giữ im lặng và không thực hiện gì cả.

Trong khe thời gian thứ hai, nút chuyển tiếp có mức SNR tốt nhất sẽ chuyển tiếp dữ liệu đã nhận được từ S sau khi đã giải mã và mã hóa lại theo kỹ thuật DF đến nút đích. Tín hiệu nhận được tại nút đích từ nút chuyển tiếp thứ b là

$$y_D = \sqrt{P_b} h_{bd} x + n_D. \quad (3)$$

Từ (2) và (3), ta có tỷ số tín hiệu trên nhiễu trong khe thời gian thứ nhất và thứ hai lần lượt là

$$\gamma_{sk} = \frac{P_s |h_{sk}|^2}{N_0}, \quad \gamma_{bd} = \frac{P_b |h_{bd}|^2}{N_0}. \quad (4)$$

Đặt $\gamma_k = \min(\gamma_{sk}, \gamma_{bd})$ là SNR tương đương toàn trình của đường dữ liệu qua nút chuyển tiếp thứ k .

A. Phân tích hiệu năng hệ thống

Để tính được tỉ lệ lỗi khối, đầu tiên phải tính được hàm CDF và PDF của từng đường dữ liệu dưới điều kiện $|f_k|^2$.

Thay (1) vào (4), ta có

$$\gamma_{sk} = \frac{I_{PU} |h_{sk}|^2}{|f_s|^2 N_0}, \quad \gamma_{kd} = \frac{I_{PU} |h_{kd}|^2}{|f_k|^2 N_0}. \quad (5)$$

Sau một số bước tính toán, ta có kết quả của hàm CDF và PDF của γ_{sk} lần lượt như sau:

Kết quả hàm CDF của γ_{sk} là

$$\begin{aligned} F_{\gamma_{sk}}(z) &= \Pr(\gamma_{sk} < z) \\ &= \Pr\left(\frac{I_{PU} |h_{sk}|^2}{N_0 |f_s|^2} < z\right), \\ &= \frac{z}{z + \alpha} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{với } \alpha = \frac{a \lambda_{h_{sk}}}{\lambda_{f_s}}, \quad a = \frac{I_{PU}}{N_0}.$$

Kết quả hàm PDF của γ_{sk} là

$$f_{\gamma_{sk}}(z) = \frac{\alpha}{(z + \alpha)^2}. \quad (7)$$

Tương tự, ta cũng tính được kết quả hàm CDF và PDF của γ_{kd} lần lượt là

$$\begin{aligned} F_{\gamma_{kd}}(z) &= \Pr(\gamma_{kd} < z) \\ &= \frac{z}{z + \beta}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{BLER}_{S_k} = \nu \sqrt{m} \left[-\text{Gamma}[1+N] \times \left(\rho_H \left(\frac{\rho_H}{\alpha} \right)^N {}_2F_1 \left[N, 1+N, 2+N, -\frac{\rho_H}{\alpha} \right] - \rho_L \left(\frac{\rho_L}{\alpha} \right)^N {}_2F_1 \left[N, 1+N, 2+N, -\frac{\rho_L}{\alpha} \right] \right) \right] \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{BLER}_{bD} &\approx \nu \sqrt{m} \int_{\rho_L}^{\rho_H} F_{\gamma_{bD}}(\gamma) d\gamma \\ &\approx \nu \sqrt{m} \int_{\rho_L}^{\rho_H} \left(\frac{\gamma}{\gamma + \beta} \right) d\gamma \\ &\approx \nu \sqrt{m} \left[-\rho_L + \rho_H + \beta \text{Log}(\rho_L + \beta) - \beta \text{Log}(\rho_H + \beta) \right] \end{aligned} \quad (18)$$

$$\text{với } \beta = \frac{a\lambda_{hD}}{\lambda_{fs}}.$$

$$f_{\gamma_{bD}}(z) = \frac{\beta}{(z + \beta)^2}. \quad (9)$$

B. Tỷ lệ lỗi khối của hệ thống

Trong truyền thông gói tin ngắn, khi chiều dài khối tin đủ lớn, tỉ lệ lỗi khối (BLER) trung bình được xấp xỉ như trong [9, Eq. (59)] và [23, Eq. (4)], theo từng chặng. Cụ thể, trong mô hình đề xuất, BLER của chặng thứ nhất là

$$\text{BLER}_{S_k} \approx E_{\gamma_{S_k}} \left\{ Q \left(\frac{C(\gamma_{S_k}) - r}{\sqrt{V(\gamma_{S_k})/m}} \right) \right\}, \quad (10)$$

$$\text{với } E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f_X(x) dx.$$

Viết lại biểu thức (10) ở dạng tường minh, ta có BLER trung bình được tính lại như sau:

$$\text{BLER}_{S_k} \approx \int_0^{\infty} Q \left(\frac{C(\gamma_{S_k}) - r}{\sqrt{V(\gamma_{S_k})/m}} \right) f_{\gamma_{S_k}}(\gamma) d\gamma, \quad (11)$$

với $f_X(x)$ là hàm mật độ xác suất của biến ngẫu nhiên X .

Trong (11), để tính hàm $Q \left(\frac{C(\gamma_{S_k}) - r}{\sqrt{V(\gamma_{S_k})/m}} \right)$ rất phức

tạp nên sẽ khó tìm ra biểu thức dạng tường minh (close-form expression). Áp dụng [24, Eq. (14)], chúng tôi tiến hành xấp xỉ hàm $Q(\cdot)$ như sau:

$$\begin{aligned} &Q \left(\frac{C(\gamma_{S_k}) - r}{\sqrt{V(\gamma_{S_k})/m}} \right) \approx Z(\gamma_{S_k}), \text{ với} \\ &Z(\gamma_{S_k}) = \begin{cases} 1, & \gamma_{S_k} \leq \rho_L \\ \frac{1}{2} - \nu \sqrt{m}(\gamma_{S_k} - \theta), & \rho_L < \gamma_{S_k} < \rho_H \\ 0, & \gamma_{S_k} \geq \rho_H \end{cases} \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{với } \nu &= \frac{1}{2\pi\sqrt{2^{r-1}}}, \quad \theta = 2^r - 1, \quad \rho_H = \theta + \frac{1}{2\nu\sqrt{m}} \text{ và} \\ \rho_L &= \theta - \frac{1}{2\nu\sqrt{m}}. \end{aligned}$$

Thay (12) vào (11), $\text{BLER}_{\gamma_{S_k}}$ được tính như sau:

$$\begin{aligned} \text{BLER}_{S_k} &= \int_0^{\infty} Z(\gamma_{S_k}) f_{\gamma_{S_k}}(\gamma) d\gamma \\ &= \nu \sqrt{m} \int_{\rho_L}^{\rho_H} F_{\gamma_{S_k}}(\gamma) d\gamma. \end{aligned} \quad (13)$$

Thay (6) vào (13), ta có kết quả của BLER_{S_k} là

$$\text{BLER}_{S_k} = \nu \sqrt{m} \int_{\rho_L}^{\rho_H} \left(\frac{\gamma}{\gamma + \alpha} \right)^N d\gamma. \quad (14)$$

Dựa vào phần mềm mathematica, tích phân của công thức (14) có kết quả như (15) ở đầu trang bên trên.

Trong mô hình đề xuất này, chúng tôi lựa chọn kỹ thuật lựa chọn nút chuyển tiếp từng phần (Partial Relay Selection - PRS), tức là trong k nút chuyển tiếp lựa chọn ra nút chuyển tiếp có SNR cao nhất để chuyển tín hiệu đến nút đích. Giả sử R_b là nút chuyển tiếp được lựa chọn, ta có

$$b = \arg \max_{k=1, \dots, K} \gamma_{S_k}, \quad (15)$$

Tương tự, tiếp theo là BLER tại chặng thứ hai, dữ liệu truyền từ nút chuyển tiếp tốt nhất đến D được tính toán và có kết quả như (16) ở đầu trang.

Kỹ thuật giải mã và chuyển tiếp có lựa chọn (SDF) là một kỹ thuật được áp dụng tại nút chuyển tiếp với cơ chế là nếu nút chuyển tiếp không giải mã đúng dữ liệu nhận được thì sẽ không chuyển tiếp thông tin đến nút tiếp theo [25].

Giả sử các nút chuyển tiếp sử dụng kỹ thuật SDF nên tỉ lệ lỗi khối toàn trình được tính theo công thức

$$\text{BLER}_{e2e} = \text{BLER}_{S_b} + (1 - \text{BLER}_{S_b}) \text{BLER}_{bD}. \quad (16)$$

III. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

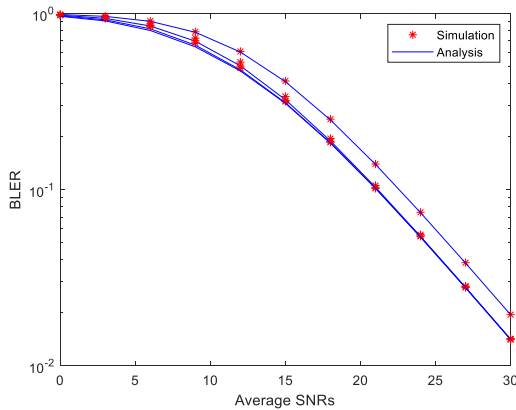
Trong phần này, chúng tôi sử dụng phương pháp mô phỏng Monte-Carlo trên phần mềm MATLAB và sách mô phỏng [26] để kiểm chứng kết quả lý thuyết đã được phân tích trong mô hình đề xuất.

A. Tham số kênh truyền và hệ thống

Để đơn giản và không mất tính tổng quát, chúng tôi xem xét mô hình đề xuất được đặt trong mặt phẳng tọa độ Đề-các hai chiều, với nút nguồn và nút đích thứ cấp có tọa độ lần lượt nằm tại vị trí $(0,0)$ và $(1,0)$. Hơn nữa, vị trí của nút nguồn và nút đích được giả sử là không thay đổi trong suốt quá trình mô phỏng. Máy thu sơ cấp, các nút chuyển tiếp được đặt tại các tọa độ lần lượt là (x_{PU}, y_{PU}) , (x_{Ri}, y_{Ri}) . Tiếp theo, xét kênh truyền chuẩn hóa với công suất nhiễu là $\sigma^2 = 0\text{ dBm}$. Các thông số để thực hiện mô phỏng như sau: số bit thông tin là $\beta = 256$ và chiều dài khối $m = 256$. Tương tự như các thông số trong [27], độ lợi kênh trung bình được tính theo mô hình suy hao trong không gian tự do là $\Omega_k = d_k^{-\eta}$, với η là hệ số suy hao của kênh truyền (giá trị của η là từ 2 đến 6). Trong mô hình đề xuất, chúng tôi sử dụng $\eta = 3$. Ngoài ra, chúng tôi cũng giả sử rằng công suất phát của nút nguồn thứ cấp và nút chuyển tiếp là bằng nhau và giá trị được khảo sát là từ 0 dBm đến 30 dBm.

C. Kết quả mô phỏng và thảo luận

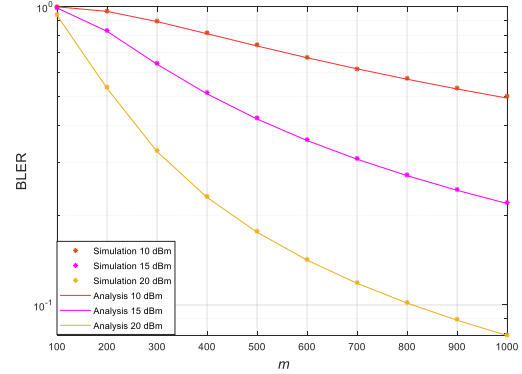
Hình 2 trình bày ảnh hưởng của số nút chuyển tiếp trong mô hình đề xuất lên BLER của hệ thống



Hình 2. Ảnh hưởng của số nút chuyển tiếp lên xác suất lỗi khối của hệ thống

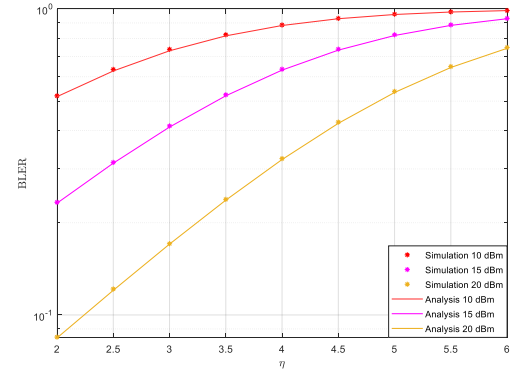
Đầu tiên, chúng tôi sẽ khảo sát ảnh hưởng của số nút chuyển tiếp lên hiệu năng của hệ thống như Hình 2. Rõ ràng, với số lượng nút chuyển tiếp nhiều hơn sẽ cho ta thấy chất lượng hệ thống được cải thiện. Cụ thể, theo Hình 2, với số lượng nút chuyển tiếp là 2 tốt hơn so với 1. Ngoài ra, khi số lượng nút chuyển tiếp lớn hơn 2 thì tỉ lệ lỗi khối gần như không giảm. Điều này thể hiện rằng hiệu năng của hệ thống tốt hơn khi chỉ cần tối đa 2 nút chuyển tiếp. Hình 2 cũng cho ta thấy được kết quả đường lý thuyết (Analysis) gần như trùng khớp với các đường mô phỏng (Simulation), đặc biệt là ở mức SNR cao.

Tiếp theo, chúng tôi khảo sát tỉ lệ lỗi khối BLER là một hàm theo độ dài khối m như Hình 3 để tìm ra m tối ưu cho hệ thống đã đề xuất.



Hình 3. Ảnh hưởng của chiều dài gói tin với hệ thống

Hình 4 mô tả giá trị của hệ số suy hao kênh truyền theo BLER theo mức công suất lần lượt là 10, 15 và 20 dBm và các giá trị của η thay đổi từ 2 đến 6. Rõ ràng, khi tăng hệ số kênh truyền lên, về mặt tổng thể, ta thấy rằng giá trị BLER trong 3 trường hợp cũng tăng theo. Ngoài ra, trong Hình 4, khi giá trị công suất phát khác nhau cũng dẫn đến tỉ lệ lỗi khối cũng được giảm đáng kể. Cụ thể, ta thấy rằng, khi giá trị công suất phát càng cao thì BLER càng có xu hướng giảm.



Hình 4. Ảnh hưởng của hệ số suy hao trong hệ thống

IV. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất mạng chuyển tiếp sử dụng góttin ngắn trong hệ thống vô tuyến nhận thức dạng nền. Theo kênh truyền fading Rayleigh, chúng tôi đã đưa ra biểu thức dạng đóng cho tỉ lệ lỗi khối của mô hình đề xuất. Bên cạnh đó, chúng tôi cũng đã đưa ra được biểu thức tính tiệm cận của hệ thống ở dải công suất phát cao. Các kết quả phân tích số trong mô hình đề xuất đều trùng khớp với kết quả mô phỏng Monte-Carlo. Cuối cùng, khi xét tổng quan về hệ thống, rõ ràng, nếu xét yếu tố số lượng nút chuyển tiếp trong hệ thống, ta thấy rằng với các thông số đã thiết lập thì với giá trị số nút chuyển tiếp bằng 2 là đảm bảo phát huy được hiệu năng của hệ thống.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông trong đề tài có mã số 07-2023-HV-VT2.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Goldsmith, S. A. Jafar, I. Maric, and S. Srinivasa, "Breaking spectrum gridlock with cognitive radios: An information theoretic perspective," *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, no. 5, pp. 894-914, 2009.
- [2] T. Q. Duong, V. N. Q. Bao, and H.-J. Zepernick, "Exact outage probability of cognitive AF relaying with underlay spectrum sharing," *Electronics letters*, vol. 47, no. 17, pp. 1001-1002, 2011.
- [3] T. W. Ban, W. Choi, B. C. Jung, and D. K. Sung, "Multi-user diversity in a spectrum sharing system," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, no. 1, pp. 102-106, 2009.
- [4] K. Lee and A. Yener, "Cth17-4: Outage performance of cognitive wireless relay networks," in *IEEE Globecom 2006*, 2006: IEEE, pp. 1-5.
- [5] H. A. Suraweera, P. J. Smith, and N. A. Surobhi, "Exact outage probability of cooperative diversity with opportunistic spectrum access," in *ICC Workshops-2008 IEEE International Conference on Communications Workshops*, 2008: IEEE, pp. 79-84.
- [6] V. N. Q. Bao, T. D. Nguyen, and D. C. Hoang, "Incremental cooperative diversity for wireless networks under opportunistic spectrum access," in *The 2011 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2011)*, 2011: IEEE, pp. 121-126.
- [7] E. C. Van Der Meulen, "Three-terminal communication channels," *Advances in applied Probability*, vol. 3, no. 1, pp. 120-154, 1971.
- [8] Y. Polyanskiy, H. V. Poor, and S. Verdú, "Channel coding rate in the finite blocklength regime," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 56, no. 5, pp. 2307-2359, 2010.
- [9] W. Yang, G. Durisi, T. Koch, and Y. Polyanskiy, "Quasi-static multiple-antenna fading channels at finite blocklength," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 60, no. 7, pp. 4232-4265, 2014.
- [10] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive radio: making software radios more personal," *IEEE personal communications*, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, 1999.
- [11] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," *IEEE journal on selected areas in communications*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, 2005.
- [12] B. Wang and K. R. Liu, "Advances in cognitive radio networks: A survey," *IEEE Journal of selected topics in signal processing*, vol. 5, no. 1, pp. 5-23, 2010.
- [13] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, "A survey on spectrum management in cognitive radio networks," *IEEE Communications magazine*, vol. 46, no. 4, pp. 40-48, 2008.
- [14] L. Huang, G. Zhu, and X. Du, "Cognitive femtocell networks: an opportunistic spectrum access for future indoor wireless coverage," *IEEE wireless communications*, vol. 20, no. 2, pp. 44-51, 2013.
- [15] E. Driouch and W. Ajib, "Downlink scheduling and resource allocation for cognitive radio MIMO networks," *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 62, no. 8, pp. 3875-3885, 2013.
- [16] V. N. Q. Bao, T. Q. Duong, and C. Tellambura, "On the performance of cognitive underlay multihop networks with imperfect channel state information," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 61, no. 12, pp. 4864-4873, 2013.
- [17] K. J. Kim, T. Q. Duong, M. El Kashlan, P. L. Yeoh, H. V. Poor, and M. H. Lee, "Spectrum sharing single-carrier in the presence of multiple licensed receivers," *IEEE transactions on wireless communications*, vol. 12, no. 10, pp. 5223-5235, 2013.
- [18] T. T. Duy and H.-Y. Kong, "Performance analysis of two-way hybrid decode-and-amplify relaying scheme with relay selection for secondary spectrum access," *Wireless Personal Communications*, vol. 69, pp. 857-878, 2013.
- [19] G. Chen, Y. Gong, and J. Chambers, "Study of relay selection in a multi-cell cognitive network," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 2, no. 4, pp. 435-438, 2013.
- [20] H. Huang, Z. Li, J. Si, and R. Gao, "Outage analysis of underlay cognitive multiple relays networks with a direct link," *IEEE communications letters*, vol. 17, no. 8, pp. 1600-1603, 2013.
- [21] X. Lai, Q. Zhang, and J. Qin, "Cooperative NOMA short-packet communications in flat Rayleigh fading channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 6, pp. 6182-6186, 2019.
- [22] Y. Gu, H. Chen, Y. Li, L. Song, and B. Vucetic, "Short-packet two-way amplify-and-forward relaying," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 25, no. 2, pp. 263-267, 2017.
- [23] Y. Yu, H. Chen, Y. Li, Z. Ding, and B. Vucetic, "On the performance of non-orthogonal multiple access in short-packet communications," *IEEE Communications Letters*, vol. 22, no. 3, pp. 590-593, 2017.
- [24] B. Makki, T. Svensson, and M. Zorzi, "Finite block-length analysis of the incremental redundancy HARQ," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 3, no. 5, pp. 529-532, 2014.
- [25] M. Khafagy, A. Ismail, M.-S. Alouini, and S. Aissa, "On the outage performance of full-duplex selective decode-and-forward relaying," *IEEE Communications Letters*, vol. 17, no. 6, pp. 1180-1183, 2013.
- [26] V. Bảo, "Mô phỏng hệ thống truyền thông," *Nhà Xuất Bản Khoa Học và Kỹ Thuật*, p. 268, 2020.
- [27] A. Goldsmith, *Wireless communications*. Cambridge university press, 2005.

ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF FORWARDING NETWORKS USING THE DECODE-AND-FORWARD PROTOCOL IN UNDERLAY COGNITIVE RADIO SYSTEMS USING SHORT PACKETS

Abstract: In this paper, we propose a design for a communication network using short packets with the support of forwarding nodes to ensure network quality and limit the effects of adverse terrain conditions for information transmission in the wireless environment. The parameter to analyze to ensure network quality is the block error rate. Moreover, the position of the relay nodes is also investigated to verify the impact of adverse conditions from the terrain. In addition, the value of the attenuation coefficient at different power levels is also investigated in the proposed model. The analysis results are validated by Monte-Carlo simulation results.

Keywords: fading Rayleigh, Decode and Forward, Relay, Blocklength Error Rate, Short Packet.



Huỳnh Văn Hóa, Tốt nghiệp Thạc sĩ chuyên ngành viễn thông tại Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông Cơ Sở Tại Thành Phố Hồ Chí Minh vào năm 2018. Hiện nay, Th. S Hóa là giảng viên của bộ môn Thông Tin Quang, Khoa Viễn Thông 2, Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông Cơ Sở Tại Thành Phố Hồ Chí Minh. Hướng

ngghiên cứu chính hiện tại đang quan tâm gồm: thông tin vô tuyến, truyền thông hợp tác, vô tuyến nhận thức, bảo mật vật lý, mật phản xạ thông minh và truyền thông gói tin ngắn.

Email: huynhvanhoa@ptithcm.edu.vn



Võ Nguyễn Quốc Bảo, Tốt nghiệp Tiến sĩ chuyên ngành vô tuyến tại Đại học Ulsan, Hàn Quốc vào năm 2010. Hiện nay, TS. Bảo là giáo sư của Trường Đại Học Văn Lang. TS. Bảo hiện là thành viên chủ chốt (senior member) của IEEE và là tổng biên tập kỹ thuật của tạp chí REV Journal on Electronics and Communication. TS. Bảo đồng thời là biên tập viên (editor) của nhiều tạp chí khoa học chuyên ngành uy tín trong và ngoài nước, ví dụ:

Transactions on Emerging Telecommunications Technologies (Wiley ETT), VNU Journal of Computer Science and Communication Engineering. TS. Bảo đã tham gia tổ chức nhiều hội nghị quốc gia và quốc tế, ví dụ: ATC (2013, 2014), NAFOSTED-NICS (2014, 2015, 2016), REV-ECIT 2015, ComManTel (2014, 2015), và SigComTel 2017. Hướng nghiên cứu hiện tại đang quan tâm bao gồm: vô tuyến nhận thức, truyền thông hợp tác, truyền song công, bảo mật lớp vật lý và thu thập năng lượng vô tuyến.

Email: bao.vnq@vlu.edu.vn