

MẠNG CHUYỀN TIẾP ĐA CHẶNG DẠNG NỀN TRONG TRUYỀN THÔNG GÓI TIN NGẮN: ĐÁNH GIÁ TỶ LỆ LỖI KHỎI

Võ Nguyễn Quốc Bảo*, Trần Thiên Thanh#

* Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông

Trường Đại học Giao Thông Vận Tải thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt- Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất mô hình mạng chuyển tiếp đa chặng thứ cấp vô tuyến nhận thức dạng nền hoạt động trong mạng 5G đáp ứng dịch vụ truyền thông gói tin ngắn với độ tin cậy cao. Chúng tôi cũng đề xuất phương pháp đánh giá tỷ lệ lỗi khối toàn trình của hệ thống ở kênh truyền fading Rayleigh trong hai trường hợp: hoạt động ở vùng tỷ lệ nhiễu thấp và ở vùng tỷ lệ nhiễu cao. Kết quả mô phỏng Monte Carlo xác nhận tính đúng đắn của phương pháp phân tích đề xuất và chỉ ra rằng hiệu năng của hệ thống ở vùng tỷ lệ nhiễu thấp sẽ được quyết định bởi tỷ công suất phát tối đa của máy phát và ở vùng tỷ lệ nhiễu cao sẽ quyết định bởi ngưỡng can nhiễu chịu đựng tối đa của mạng sơ cấp.

Từ khóa- đa chặng, vô tuyến nhận thức, kênh truyền fading Rayleigh, truyền thông gói tin ngắn, tỷ lệ lỗi khối.

I. GIỚI THIỆU

Truyền thông đa chặng là một trong những kỹ thuật cơ bản để mở rộng vùng phủ sóng của hệ thống thông tin vô tuyến nhưng không tăng can nhiễu cho hệ thống khác. Truyền thông đa chặng đã được áp dụng trong nhiều thế hệ hệ thống thông tin vô tuyến hiện nay như 4G và 5G [1-4].

Để tăng hiệu suất sử dụng phổ tần trong bối cảnh tài nguyên phổ tần giới hạn, vô tuyến nhận thức là một giải pháp hiệu quả [5-7]. Trong 3 phương thức vô tuyến nhận thức, vô tuyến nhận thức dạng nền (Underlay approach) là một phương thức có tính thực tế cao và hiệu quả khi cho phép các mạng thứ cấp (secondary network) truyền song song với mạng sơ cấp (primary network) mà không làm ảnh hưởng đến chất lượng của hệ thống sơ cấp [8]. Hiệu năng và đặc tính của mạng đa chặng thứ cấp dạng nền đã được trong môi trường thực tế đã được nghiên cứu kỹ do Bảo và cộng sự ở các bài báo [9-20].

Trong hệ thống thông tin di động 5G, để phục vụ cho các kết nối máy-máy, ví dụ như xe tự hành, đòi hỏi độ trễ thấp và độ tin cậy cao, dẫn đến yêu cầu gói tin phải ngắn [21-25]. Chiều dài gói tin ngắn dẫn đến việc thiết kế và các đặc tính của mạng thay đổi hoàn toàn, kể cả mạng truyền thông đa chặng dạng nền.

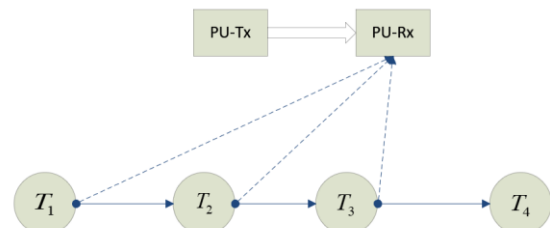
Cho đến nay, đã có một số nghiên cứu và phân tích về truyền thông chuyển tiếp gói tin ngắn, ví dụ như: [25, 26].

Tuy nhiên, chưa có một nghiên cứu đầy đủ nào về truyền thông gói tin ngắn của mạng chuyển tiếp đa chặng của mạng thứ cấp dạng nền hoạt động trên kênh truyền fading Rayleigh.

Trong bài báo này, chúng tôi tập trung vào tìm hiểu đặc tính của mạng truyền thông đa chặng dạng nền trong truyền thông gói tin ngắn. Bài báo bao gồm ba đóng góp chính là: i) Đề xuất mô hình hoạt động của hệ thống ii) Đánh giá hiệu năng chính của hệ thống ở kênh truyền fading Rayleigh thông qua các tham số hiệu năng chính và iii) Xây dựng chương trình Matlab để kiểm chứng các phân tích lý thuyết và khảo sát đặc tính của hệ thống.

Phần còn lại của bài báo được trình bày như sau. Phần II sẽ trình bày mô hình của hệ thống đề xuất. Phần III sẽ đề xuất phương pháp phân tích hiệu năng của hệ thống dưới dạng tỷ lệ lỗi khối. Trong Phần IV, chúng tôi sẽ tiến hành mô phỏng Monte-Carlo để kiểm chứng lại các kết quả lý thuyết trong phần III và khảo sát đặc tính của hệ thống đề xuất. Cuối cùng là phần kết luận của bài báo.

II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG



Hình 1: Mô hình mạng chuyển tiếp đa chặng dạng nền trong truyền thông gói tin ngắn.

Xem xét một hệ thống vô tuyến nhận thức bao gồm mạng sơ cấp, ký hiệu là PU, và một mạng thứ cấp (ký hiệu là SU). Mạng sơ cấp bao gồm máy phát sơ cấp (PU-Tx) và máy thu sơ cấp (PU-Rx). Mạng thứ cấp là mạng đa chặng với K chặng chuyển tiếp thông tin từ nút nguồn (ký hiệu là T_0) đến nút đích (ký hiệu là T_K) thông qua $K-1$ nút chuyển tiếp ký hiệu từ T_1 đến T_{K-1} .

Tác giả liên hệ: Võ Nguyễn Quốc Bảo

Email: baovng@ptithcm.edu.vn

Đến tòa soạn: 10/2020, chỉnh sửa: 11/2020, chấp nhận đăng: 12/2020

Mạng thứ cấp hoạt động dựa trên chế độ dạng nền, nghĩa là các máy phát của mạng thứ cấp phải điều chỉnh công suất phát để không gây quá can nhiễu (ngưỡng chịu đựng can nhiễu của máy thu) của mạng sơ cấp. Quá trình truyền thông tin gói tin ngắn giữa nút nguồn và nút đích trong mạng thứ cấp diễn ra trong K khe thời gian trực giao. Chúng ta cũng giả sử rằng các nút mạng đều được trang bị đơn anten và hoạt động ở chế độ đơn công.

Xét xét chặng thứ k , gọi h_k và f_k lần lượt là hệ số kênh truyền của kênh truyền từ $T_{k-1} \rightarrow T_k$ và $T_{k-1} \rightarrow \text{PU-RX}$. Gọi P_k là công suất phát của chặng thứ k , ta có P_k trong chế độ phát dạng nền như sau [16, 27]:

$$P_k = \min \left(P_m, \frac{I_p}{|f_k|^2} \right) \quad (1)$$

với P_m là công suất phát lớn nhất của các nút phát thứ cấp và I_p là mức độ can nhiễu tối đa mà mạng sơ cấp chịu đựng được.

Khi các nút chuyển tiếp sử dụng kỹ thuật giải mã và chuyển tiếp cố định, chúng ta có tỷ số tín hiệu trên nhiễu tương đương của hệ thống là [28-30]

$$\gamma_{\text{e2e}} = \min_k \gamma_k. \quad (2)$$

III. TỶ LỆ LỖI KHỐI

Giả sử rằng các chặng là độc lập thống kê với nhau, ta có tỷ lệ lỗi bit toàn trình của hệ thống như sau [16]:

$$\begin{aligned} \text{BLER}_{\text{e2e}} &= \sum_{u=1}^K \text{BLER}_u \prod_{v=u+1}^K (1 - 2\text{BLER}_v) \\ &= \frac{1}{2} \left[1 - \prod_{k=1}^K (1 - 2\text{BLER}_k) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

với BLER_k là tỷ lệ lỗi bit trung bình của chặng thứ k .

Ở đây, chúng ta xem xét hai trường hợp thực tế, cụ thể là $P_m \square \frac{I_p}{|f_k|^2}$ và $P_m \square \frac{I_p}{|f_k|^2}$. Sau đây, chúng ta sẽ xem xét lần lượt hai trường hợp.

A. Trường hợp 1

Khi $P_m \square \frac{I_p}{|f_k|^2}$, dẫn đến công suất phát ở chặng thứ k là

$$P_k = \min \left(P_m, \frac{I_p}{|f_k|^2} \right) \approx \frac{I_p}{|f_k|^2}. \quad (4)$$

Ta có tỷ số tín hiệu trên nhiễu của chặng thứ k là

$$\gamma_k = \frac{P_k |h_k|^2}{N_0} = \frac{I_p |h_k|^2}{N_0 |f_k|^2}. \quad (5)$$

Ở kênh truyền Rayleigh fading, hàm CDF và PDF của γ_k là phân số của hai biến ngẫu nhiên hàm mũ lần lượt là [31]

$$F_{\gamma_k}(\gamma) = \frac{\gamma}{\gamma + \alpha_k} \quad (6)$$

và

$$f_{\gamma_k}(\gamma) = \frac{\alpha_k}{(\gamma + \alpha_k)^2} \quad (7)$$

$$\text{với } \alpha_k = \frac{I_p \lambda_{h,k}}{N_0 \lambda_{f,k}}.$$

Ở đây, chúng ta xem xét truyền gói tin ngắn và mỗi khối truyền có chiều dài là m (channel use). Khi m có giá trị đủ lớn, ví dụ $m > 100$, chúng ta có thể xấp xỉ BLER_k như sau [32]

$$\text{BLER}_k \approx \mathbb{E}_{\gamma_k} \left\{ Q \left(\frac{C(\gamma_k) - r}{\sqrt{V(\gamma_k)/m}} \right) \right\} \quad (8)$$

với $C(\gamma_k)$ và $V(\gamma_k)$ lần lượt là dung lượng Shannon của kênh truyền và là hàm tính toán sự méo dạng kênh truyền theo tỷ số tín hiệu trên nhiễu, cụ thể

$$C(\gamma_k) = \log_2(1 + \gamma_k), \quad (9)$$

$$V(\gamma_k) = \left(1 - \frac{1}{(1 + \gamma_k)^2} \right) (\log_2 e)^2. \quad (10)$$

Khi nút nguồn (T_0) truyền σ bit thông tin tới nút đích (T_K) qua K khe thời gian trực giao, chúng ta có tốc độ lỗi khối tương đương của hệ thống K chặng là $r = \frac{\sigma}{m/K} = \frac{\sigma K}{m}$. Kết hợp (8), (9), và (10), ta có

$$\text{BLER}_k \approx \int_0^{\infty} Q \left(\frac{C(\gamma_k) - r}{\sqrt{V(\gamma_k)/m}} \right) f_{\gamma_k}(\gamma_k) d\gamma_k. \quad (11)$$

Tích phân ở (11) không tồn tại dạng đóng do sự phức tạp của hàm $Q(\cdot)$ và đối số. Để tính toán (11), chúng ta sử dụng xấp xỉ của hàm $Q(\cdot)$, cụ thể chúng ta biểu diễn hàm $Q(\cdot)$ lại như sau [33]:

$$Q \left(\frac{C(\gamma_k) - r}{\sqrt{V(\gamma_k)/m}} \right) \approx \begin{cases} 1, & \gamma_k \leq \rho_1 \\ \frac{1}{2} - \nu \sqrt{m} (\gamma_{AB} - \theta), & \rho_1 < \gamma_k < \rho_2 \\ 0, & \gamma_k \geq \rho_2 \end{cases} \quad (12)$$

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

Thay thế (12) vào (11), chúng ta có [26]

$$\text{BLER}_k \approx \nu \sqrt{m} \int_{\rho_L}^{\rho_H} F_{\gamma_k}(\gamma_k) d\gamma_k. \quad (13)$$

Thay thế (6) vào (13) và thực hiện tích phân, ta có [34]

$$\begin{aligned} \text{BLER}_k &\approx \nu \sqrt{m} \int_{\rho_L}^{\rho_H} \frac{\gamma}{\gamma + \alpha_k} d\gamma \\ &= \nu \sqrt{m} \left[\rho_H - \rho_L - \alpha_k \log \left(\frac{\rho_H + \alpha_k}{\rho_L + \alpha_k} \right) \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{BLER}_{e2e} = \frac{1}{2} \left[1 - \prod_{k=1}^K \left\{ 1 - 2\nu\sqrt{m} \left[\rho_H - \rho_L - \alpha_k \log \left(\frac{\rho_H + \alpha_k}{\rho_L + \alpha_k} \right) \right] \right\} \right] \quad (15)$$

$$\text{BLER}_{e2e} = \frac{1}{2} \left[1 - \prod_{k=1}^K \left\{ 1 - 2\nu\sqrt{m} \left[\rho_H - \rho_L + \bar{\gamma}_k \left(\exp \left(-\frac{\rho_H}{\bar{\gamma}_k} \right) - \exp \left(-\frac{\rho_L}{\bar{\gamma}_k} \right) \right) \right] \right\} \right] \quad (22)$$

$$\text{BLER}_{e2e} \approx \begin{cases} \sum_{k=1}^K \nu\sqrt{m} \left[\rho_H - \rho_L - \alpha_k \log \left(\frac{\rho_H + \alpha_k}{\rho_L + \alpha_k} \right) \right], & P_m \square \frac{I_p}{|f_k|^2} \\ \sum_{k=1}^K \frac{\nu\sqrt{m}}{\bar{\gamma}_k} \left(\frac{\rho_H^2 - \rho_L^2}{2} \right), & P_m \square \frac{I_p}{|f_k|^2} \end{cases} \quad (25)$$

Cuối cùng, thay thế (14) vào (3), ta cuối cùng có được dạng đóng tỷ lệ lỗi khối hệ thống của Trường hợp 1 là như (15).

Ở vùng tỷ lệ tín hiệu trên nhiều cao, khi đó $\text{BLER}_k \square 1$, ta có thể xấp xỉ (15) như sau [16]:

$$\begin{aligned} \text{BLER}_{e2e} &\approx \sum_{k=1}^K \text{BLER}_k \\ &= \sum_{k=1}^K \nu\sqrt{m} \left[\rho_H - \rho_L - \alpha_k \log \left(\frac{\rho_H + \alpha_k}{\rho_L + \alpha_k} \right) \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

B. Trường hợp 2

Khi $P_m \square \frac{I_p}{|f_k|^2}$, (4) dẫn đến

$$P_k = \min \left(P_m, \frac{I_p}{|f_k|^2} \right) \approx P_m. \quad (17)$$

Từ (17), chúng ta có tỷ số tín hiệu trên nhiều của chặng thứ k là

$$\gamma_k = \frac{P_k |h_k|^2}{N_0} \approx \frac{P_m |h_k|^2}{N_0}. \quad (18)$$

Quan sát dạng của (18), chúng ta thấy rằng tỷ số tín hiệu trên nhiều của chặng k sẽ là hệ thống truyền thông không vô tuyến nhận thức. Ở kênh truyền Rayleigh fading, hàm CDF và PDF của γ_k trong Trường hợp 2 lần lượt là

$$F_{\gamma_k}(\gamma) = 1 - \exp \left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_k} \right) \quad (19)$$

và

$$f_{\gamma_k}(\gamma) = \frac{1}{\bar{\gamma}_k} \exp \left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_k} \right) \quad (20)$$

với $\bar{\gamma}_k = \frac{P_m \lambda_{h,k}}{N_0}$.

Sử dụng phương pháp tương tự như Trường hợp 1, chúng ta thay thế (19) vào (13) và thực hiện tích phân, ta có kết quả như sau

$$\begin{aligned} \text{BLER}_k &\approx \nu\sqrt{m} \int_{\rho_L}^{\rho_H} F_{\gamma_k}(\gamma_k) d\gamma_k \\ &= \nu\sqrt{m} \int_{\rho_L}^{\rho_H} \left[1 - \exp \left(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_k} \right) \right] d\gamma \\ &= \nu\sqrt{m} \left[\rho_H - \rho_L + \bar{\gamma}_k \left(\exp \left(-\frac{\rho_H}{\bar{\gamma}_k} \right) - \exp \left(-\frac{\rho_L}{\bar{\gamma}_k} \right) \right) \right] \end{aligned} \quad (21)$$

Chúng ta thực hiện thay thế (21) vào (3), chúng ta cuối cùng có được dạng đóng của tỷ lệ lỗi khối của hệ thống trong Trường hợp 2 là như (22). Ở vùng tỷ lệ tín hiệu trên nhiều cao, $\text{BLER}_k \square 1$, ta có thể xấp xỉ (22) là tổng tỷ lệ lỗi khối của tất cả các chặng như sau:

$$\text{BLER}_{e2e} \approx \sum_{k=1}^K \text{BLER}_k, \quad (22)$$

trong đó BLER_k có thể được xấp xỉ bằng cách sử dụng tính chất xấp xỉ của hàm mũ, cụ thể $1 - e^{-\frac{x}{a}} \approx \frac{x}{a}$, chúng ta viết lại (21) như sau:

$$\begin{aligned} \text{BLER}_k &= \nu\sqrt{m} \int_{\rho_L}^{\rho_H} \frac{\gamma}{\bar{\gamma}_k} d\gamma \\ &= \frac{\nu\sqrt{m}}{\bar{\gamma}_k} \left(\frac{\rho_H^2 - \rho_L^2}{2} \right). \end{aligned} \quad (23)$$

Thay thế (23) vào (3), ta có dạng xấp xỉ đơn giản cho như sau:

$$\text{BLER}_{e2e} \approx \sum_{k=1}^K \frac{\nu\sqrt{m}}{\bar{\gamma}_k} \left(\frac{\rho_H^2 - \rho_L^2}{2} \right). \quad (24)$$

Kết hợp (16) và (24), ta viết lại công thức dạng đóng tổng quát cho BLER_{e2e} trong cả hai trường hợp như (25).

V. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trong phần này, chúng tôi sẽ tiến hành mô phỏng để khảo sát đặc tính của mô hình đề xuất và kiểm chứng các kết quả phân tích ở trên. Chúng ta xem xét mô hình truyền đa chặng tuyến tính nghĩa là các nút mạng bao gồm nút nguồn, nút đích và các nút chuyển tiếp được đặt trên một đường thẳng với tọa độ nút nguồn là (0,0), tọa độ nút đích là (1,0) và tọa độ các nút chuyển tiếp thứ k là $(\frac{k}{K}, 0)$. Chúng ta cũng giả sử rằng tọa độ của nút nghe lén là $E(x_E, y_E)$.

ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG CHUYỂN TIẾP ĐA CHẶNG TRONG TRUYỀN THÔNG SỬ DỤNG GÓI TIN NGẮN

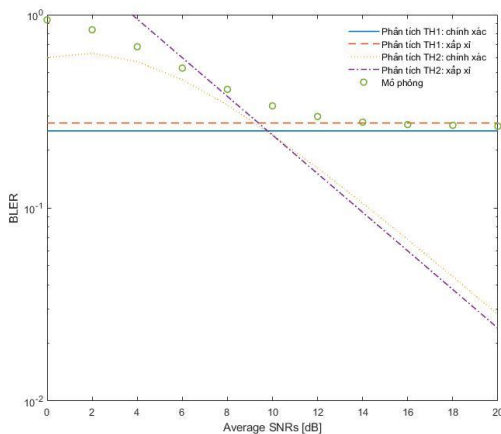
Để tích hợp hiệu ứng suy hao đường truyền vào mô hình xem xét, chúng ta sử dụng mô hình suy hao đường truyền

đơn giản nghĩa là $\lambda_{XY} = L_0 \left(\frac{d_0}{d_{XY}} \right)^{-\eta}$ với L_0 và d_0 là hệ

số điều chỉnh mô hình, d_{XY} là khoảng cách giữa $X \rightarrow Y$ và η là hệ số suy hao đường truyền. Các tham số hệ thống mô phỏng là cho trong Bảng 1 sau ngoại trừ các thay đổi cụ thể cho từng trường hợp cụ thể.

Bảng 1: Thông số mô phỏng.

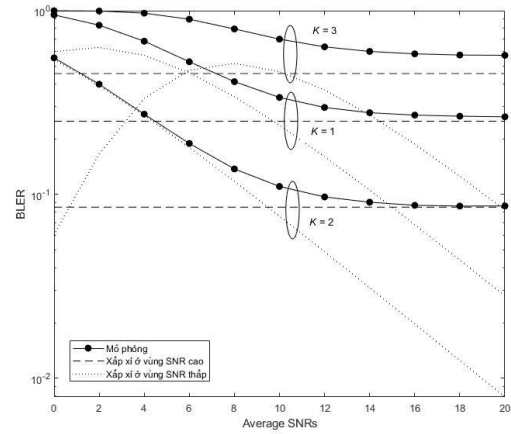
TT	Tham số	Giá trị	Ghi chú
1	σ	256	
2	m	256	
3	L_0	1	
4	η	3	Có thể thay đổi từ 2 đến 6 tùy theo môi trường truyền
5	N_0	1	Là giá trị chuẩn hóa nhằm mục đích kiểm chứng tính đúng đắn của kết quả phân tích. Trong thực tế có thể là từ -90 dBm đến -60 dBm
6	$\frac{I_p}{N_0}$	10	Đơn vị: dB
7	K	2	Số chặng
8	$E(x_E, y_E)$	(0.5, 1)	Tọa độ nút E



Hình 2: So sánh kết quả phân tích xấp xỉ ở vùng tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu cao và thấp với kết quả mô phỏng

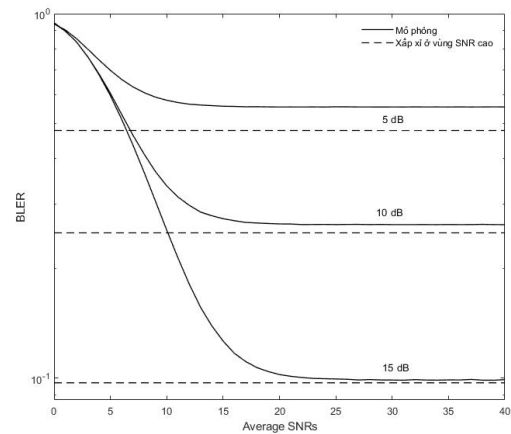
Trong Hình 2, chúng ta so sánh kết quả phân tích ở vùng tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu thấp và cao. Chúng ta thấy rằng các kết quả là phù hợp như dự đoán, nghĩa là hiệu năng của hệ thống ở dạng tỷ lệ lỗi khối trung bình ở vùng tỷ lệ nhiễu thấp sẽ cải thiện khi tỷ số tín hiệu trên nhiễu tăng. Tuy nhiên tỷ lệ lỗi khối sẽ bị bão hòa ở vùng tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu cao. Kết quả trong Hình 2 chỉ ra rằng các phương

pháp phân tích đề xuất là đúng đắn.



Hình 3: Ảnh hưởng của số chặng lên tỷ lệ lỗi khối của hệ thống.

Hình 2.5 cho chúng ta thấy ảnh hưởng của số chặng lên tỷ lệ lỗi khối của truyền thông gói tin ngắn. Chúng ta xem xét 3 trường hợp, 1 chặng, 2 chặng và 3 chặng. Lưu ý rằng trường hợp 1 chặng nghĩa là trường hợp hệ thống truyền điểm nối điểm là trường hợp chúng ta có thể xem là tham chiếu khi muốn so sánh với hệ thống truyền đa chặng. Kết quả trong Hình 2.5 chỉ ra rằng tăng số chặng sẽ không luôn luôn cải thiện tỷ lệ lỗi khối của hệ thống. Cụ thể trong 3 trường hợp xem xét, tỷ lệ lỗi khối tốt nhất cho trường hợp 2 chặng, tiếp theo đến 1 chặng và xấu nhất là trường hợp 3 chặng. Quan sát này dẫn đến một bài toán tối ưu mới mà cần phải xem xét là số chặng tối ưu của hệ thống.



Hình 4: Ảnh hưởng của mức độ chịu đựng can nhiễu của mạng sơ cấp lên hiệu năng mạng thứ cấp.

Trong Hình 2.6, chúng ta xem xét ảnh hưởng của mức độ chịu đựng can nhiễu của mạng sơ cấp lên tỷ lệ lỗi khối trong truyền tin gói tin ngắn của hệ thống thứ cấp. Chúng

ta xem xét 3 trường hợp là $\frac{I_p}{N_0}$ lần lượt bằng 5, 10, và 15

dB, khi chúng ta thay đổi tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu trung bình của hệ thống từ 0 đến 40 dB và các tham số khác là không thay đổi. Chúng ta thấy rõ rằng ở vùng tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu thấp, khi tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu tăng thì hiệu năng của hệ thống. Tuy nhiên, đến một mức giới hạn, quy định bởi $\frac{I_p}{N_0}$, hiệu năng của hệ thống sẽ bị giới hạn. Quan sát này đề xuất chúng ta rằng muốn tăng hiệu năng của hệ

thông thứ cấp chúng ta phải xem xét điểm tỷ số tín hiệu trên nhiễu mà hệ thống hoạt động, và từ đó sẽ chọn giải pháp tăng tỷ số tín hiệu trên nhiễu của hệ thống thứ cấp hay cải thiện hiệu năng chống can nhiễu của mạng sơ cấp. Ngoài ra Hình 2.6 cũng chỉ ra rằng xấp xỉ tỷ lệ lỗi khối sẽ gần với kết quả mô phỏng (là kết quả chính xác) khi mà giá trị $\frac{I_p}{N_0}$ tăng lên, nghĩa là điều kiện xấp xỉ thỏa mãn hơn.

V. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất mô hình mạng chuyên tiếp đa chặng thứ cấp vô tuyến nhận thức dạng nền trong truyền thông gói tin ngắn và đề xuất phương pháp đánh giá tỷ lệ lỗi khối toàn trình của hệ thống ở kênh truyền fading Rayleigh trong hai trường hợp: hoạt động ở vùng tỷ lệ nhiễu thấp và ở vùng tỷ lệ nhiễu cao. Thông qua kết quả mô phỏng, chúng tôi đã chỉ ra rằng mở rộng vùng phủ sóng bằng cách tăng số lượng các chặng không phải luôn là một giải pháp tốt, nghĩa là với một tỷ lệ QoS cho trước, sẽ tồn tại một chặng cho hiệu năng tốt nhất. Bên cạnh đó, chúng ta cũng có thể thấy rằng hiệu năng của hệ thống ở vùng tỷ lệ nhiễu thấp sẽ được quyết định bởi tỷ công suất phát tối đa của máy phát và ở vùng tỷ lệ nhiễu cao sẽ quyết định bởi ngưỡng can nhiễu chịu đựng tối đa của mạng sơ cấp.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông trong đề tài có mã số 13-HV-2020-RD_VT2.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. Zheng, B. Fan, Z. Ma, G. Liu, X. Shen, and W. Wang, "Multihop cellular networks toward LTE-advanced," *Vehicular Technology Magazine, IEEE*, vol. 4, no. 3, pp. 40-47, 2009.
- [2] T. Nguyen, T. Do, V. N. Q. Bao, D. B. d. Costa, and B. An, "Performance Analysis of Multihop Cognitive WPCNs with Imperfect CSI," in *2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2019, pp. 1-6.
- [3] T. V. Nguyen, T. Do, V. N. Q. Bao, D. B. d. Costa, and B. An, "On the Performance of Multihop Cognitive Wireless Powered D2D Communications in WSNs," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 69, no. 3, pp. 2684-2699, 2020.
- [4] R. C. Carrano, L. C. S. Magalhaes, D. C. M. Saade, and C. V. N. Albuquerque, "IEEE 802.11s Multihop MAC: A Tutorial," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 13, no. 1, pp. 52-67, 2011.
- [5] V. N. Q. Bao, L. Q. Cuong, L. Q. Phu, T. D. Thuan, L. M. Trung, and N. T. Quy, "Spectrum Survey in Vietnam: Occupancy Measurements and Analysis for Cognitive Radio Applications," in *The 2011 International Conference on Advanced Technologies for Communications*, Da Nang, Vietnam, 2011, pp. 135-143.
- [6] W. Beibei and K. J. R. Liu, "Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey," *Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of*, vol. 5, no. 1, pp. 5-23, 2011.
- [7] J. Mitola, III and G. Q. Maguire, Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal," *IEEE Personal Communications*, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, 1999.
- [8] 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.
- [9] N. T. Y. Linh and V. N. Q. Bao, "Performance Enhancement of Random Cognitive Radio Networks with Non-orthogonal Multiple Access," in *2019 25th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, 2019, pp. 516-520.
- [10] H. V. Hoa and V. N. Q. Bao, "Outage Performance of Cooperative Underlay Cognitive Radio with Non-Orthogonal Multiple Access," in *2019 25th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, 2019, pp. 527-532.
- [11] T. Tu Lam, V. N. Q. Bao, and A. Beongku, "On the performance of outage probability in underlay cognitive radio with imperfect CSI," in *Advanced Technologies for Communications (ATC), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 125-130.
- [12] H. V. Toan, V. N. Q. Bao, and K. N. Le, "Performance analysis of cognitive underlay two-way relay networks with interference and imperfect channel state information," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, journal article vol. 2018, no. 1, p. 53, March 06 2018.
- [13] N. H. Giang, V. N. Q. Bao, and H. Nguyen-Le, "Effect of CSI Imperfection on Cognitive Underlay Transmission over Nakagami-m Fading Channel," 2015.
- [14] C. Nguyen Van, V. N. Q. Bao, and N. Nguyen Luong, "On the performance of cognitive underlay Alamouti space-time coding schemes," in *Advanced Technologies for Communications (ATC), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 23-27.
- [15] G. Nguyen Hong, V. N. Q. Bao, and N.-L. Hung, "Cognitive underlay communications with imperfect CSI: Network design and performance analysis," in *Advanced Technologies for Communications (ATC), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 18-22.
- [16] V. N. Q. Bao, T. Q. Duong, and C. Tellambura, "On the Performance of Cognitive Underlay Multihop Networks with Imperfect Channel State Information," *Communications, IEEE Transactions on*, vol. 61, no. 12, pp. 4864-4873, 2013.
- [17] T. Luu Pham and V. N. Q. Bao, "Outage performance analysis of dual-hop AF relaying system with underlay spectrum sharing," in *Advanced Communication Technology (ICACT), 2012 14th International Conference on*, 2012, pp. 481-486.
- [18] K. Ho Van and V. N. Q. Bao, "Symbol Error Rate of Underlay Cognitive Relay Systems over Rayleigh Fading Channel," *IEICE Transactions on Communications*, vol. E95.B, no. 5, pp. 1873-1877, 2012.
- [19] V. N. Q. Bao and T. Q. Duong, "Exact outage probability of cognitive underlay DF relay networks with best relay selection," *IEICE transactions on communications*, vol. 95, no. 6, pp. 2169-2173, 2012.
- [20] T. 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.
- [21] D.-S. Yoo, W. E. Stark, K.-P. Yar, and S.-J. Oh, "Coding and Modulation for Short Packet Transmission," *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, vol. 59, no. 4, pp. 2104-2109, May 2010.
- [22] B. Lee, S. Park, D. J. Love, H. Ji, and B. Shim, "Packet Structure and Receiver Design for Low Latency Wireless Communications With Ultra-Short Packets," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 66, no. 2, pp. 796-807, 2018.
- [23] G. Durisi, T. Koch, and P. Popovski, "Toward Massive, Ultrareliable, and Low-Latency Wireless Communication

- With Short Packets," *Proceedings of the IEEE*, vol. 104, no. 9, pp. 1711-1726, 2016.
- [24] R. Devassy, G. Durisi, G. C. Ferrante, O. Simeone, and E. Uysal, "Reliable transmission of short packets through queues and noisy channels under latency and peak-age violation guarantees," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 37, no. 4, pp. 721-734, 2019.
- [25] J. Chen, L. Zhang, Y.-C. Liang, X. Kang, and R. Zhang, "Resource Allocation for Wireless-Powered IoT Networks With Short Packet Communication," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 18, no. 2, pp. 1447-1461, 2019.
- [26] V. N. Q. Bao and T. T. Thanh, "Performance Analysis of Partial Relay Selection Networks with Short Packet Communications," in *2019 6th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS)*, 2019, pp. 23-26.
- [27] V. N. Q. Bao and T. Q. Duong, "Outage Analysis of Cognitive Multihop Networks under Interference Constraints," *IEICE Trans Commun*, vol. E95-B, no. 03, pp. 1019-1022, Mar. 2012.
- [28] M. O. Hasna and M.-S. Alouini, "Outage Probability of Multihop Transmission Over Nakagami Fading Channels," *IEEE Communications Letters*, vol. 7, no. 5, pp. 216-218, May 2003.
- [29] V. N. Q. Bao and H. Y. Kong, "Performance analysis of decode-and-forward relaying with partial relay selection for multihop transmission over Rayleigh fading channels," *Communications and Networks, Journal of*, vol. 12, no. 5, pp. 433-441, 2010.
- [30] V. N. Q. Bao, T. Q. Duong, A. Nallanathan, and C. Tellambura, "Effect of Imperfect Channel State Information on the Performance of Cognitive Multihop Relay Networks," in *Global Communications Conference (GLOBECOM), 2013 IEEE*, 2013, pp. 3458-3463.
- [31] 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.
- [32] Y. Gu, H. Chen, Y. Li, L. Song, and B. J. I. S. P. L. Vucetic, "Short-packet two-way amplify-and-forward relaying," vol. 25, no. 2, pp. 263-267, 2017.
- [33] V. N. Q. Bao, L. P. Tuyen, H. H. J. R. J. o. E. Tue, and Communications, "A survey on approximations of one-dimensional Gaussian Q-function," vol. 5, no. 1-2, 2016.
- [34] D. Zwillinger, *Table of integrals, series, and products*. Elsevier, 2014.

COGNITIVE UNDERLAY MULTIHOP RELAY NETWORKS RELAYS IN SHORT PACKETS: BLOCK ERROR RATE ANALYSIS

Abstract— In this paper, we propose cognitive underlay multihop relay networks with 5G short packets in 5G communications. We also suggest a novel approach to evaluate the system performance in terms of system block (frame) error rate in low and high operating signal-to-noise ratios (SNRs). Monte Carlo simulation is used to verify the proposed analysis approach and to confirm the system advantages over the conventional direct transmission system. The numerical results show that the secondary system performance at low and high SNRs is determined by the maximum transmit powers of secondary transmitters and the maximum allowable interference levels of the primary receivers, respectively.

Keywords—mutihop communications, congive radio, fading Rayleigh, short packet communications, block error rate.



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 phó giáo sư của Bộ Môn Vô Tuyến, Khoa Viễn Thông 2, Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông Cơ Sở Thành Phố Hồ Chí Minh và đồng thời là giám đốc của phòng thí nghiệm nghiên cứu vô tuyến (WCOMM). 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.



Tran Thien Thanh is an assistant professor at Ho Chi Minh City University of Transport, Vietnam. She received the B. Eng. degree, the M. Eng. degree, and the Ph.D. degree in Electrical Engineering from Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam, in 2001 and 2003, respectively. Since 2009, she has been with Faculty of Information Technology, Ho Chi Minh City University of Transport, Vietnam. Her research interests include networking and wireless communications.