

ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG CƠ CHẾ ĐA TRUY CẬP PHI TRỰC GIAO NOMA CHO ĐƯỜNG LÊN CỦA MẠNG 5G

Lê Đoàn Nguyên, Hà Đắc Bình

Khoa Điện- Điện Tử

Trường Đại Học Duy Tân

Đà Nẵng, Vietnam

Email: doannguyen.dtu@gmail.com, hadacbinh@duytan.edu.vn

Tóm tắt—Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu đánh giá hiệu năng của cơ chế phi trực giao (NOMA) trong đường lên của mạng 5G. Mô hình được khảo sát trong bài báo này gồm 1 trạm cơ sở và 2 người dùng với hệ số kênh truyền, khoảng cách... khác nhau. Chúng tôi nghiên cứu các biểu thức liên quan đến thông số như xác suất dừng hệ thống, thông lượng hệ thống, xác suất lỗi kí tự. Ngoài ra tôi còn khảo sát hiệu năng của hệ thống này theo các thông số như khoảng cách, công suất phát. Sau đó các biểu thức sẽ được kiểm chứng bằng cách vẽ các biểu đồ với công cụ Matlab để kiểm nghiệm.

Từ khóa—đa truy cập phi trực giao; NOMA; đánh giá hiệu năng; xác suất dừng hệ thống, xác suất lỗi kí tự

I. GIỚI THIỆU

Sự phát triển mạnh mẽ của thiết bị di động không dây đòi hỏi hệ thống thông tin di động tiên tiến đáp ứng nhu cầu này. Mạng 5G có nhiều ưu điểm như chất lượng cao, tốc độ cao, độ trễ thấp... nên mạng 5G là xu hướng nghiên cứu về việc phát triển mạng không dây trong tương lai. Trong mạng 5G có nhiều công nghệ mới khác nhau như NOMA, OMA, MIMO... Kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) được biết đến với nhiều ưu điểm như cung cấp cùng tần số, cùng mã cho người dùng trong cùng một thời gian với các mức công suất phát khác nhau.

Đánh giá hiệu năng của hệ thống thông tin di động là việc quan trọng và cần thiết vì hiệu năng càng cao thì hệ thống hoạt động càng hiệu quả. Để đánh giá hiệu năng của hệ thống thông tin di động thường được đánh giá qua các thông số sau xác suất dừng hệ thống, thông lượng hệ thống, xác suất lỗi kí tự. Gần đây, có một số công trình nghiên cứu về kỹ thuật NOMA. Nhóm tác giả [1] khảo sát về đường lên và đường xuống của NOMA, so sánh giữa hai kỹ thuật NOMA và OMA, phân bổ tần số, năng lượng... trong NOMA. Ở nghiên cứu [2] nhóm tác giả nghiên cứu về hiệu năng lớp vật lý của hệ thống như xác suất dừng hệ thống, thông lượng hệ thống, xác suất lỗi kí tự với mạng chuyển tiếp truyền năng lượng. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất mô hình hệ thống mạng chuyển tiếp không dây truyền

năng lượng. Nhóm tác giả [3] khảo sát về khả năng bảo mật lớp vật lý trong đường truyền lên (up link) của hệ thống NOMA.

Không giống như các nghiên cứu trên, ở bài báo này tôi nghiên cứu về hiệu năng của kỹ thuật đa truy cập phi trực giao cho đường lên của hệ thống 5G. Trong bài báo này tôi báo cáo các nghiên cứu khoa học như sau :

-Đề xuất mô hình hệ thống

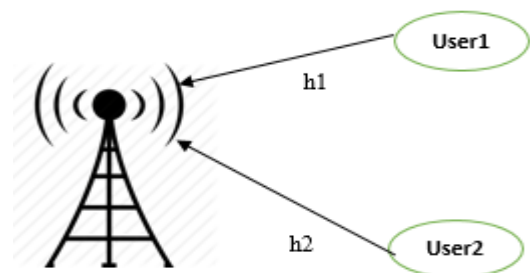
-Tìm các biểu thức tính xác suất dừng hệ thống, thông lượng của hệ thống, xác suất lỗi bit/ kí tự.

-Khảo sát hệ thống theo các thông số khoảng cách, công suất phát.

Phần còn lại của bài báo như sau : Mô tả mô hình của hệ thống trong phần II. Phân tích xác suất dừng hệ thống, thông lượng hệ thống, xác suất lỗi bit/ kí tự hệ thống được thực hiện ở phần III. Kết quả mô phỏng và phân tích kết quả khảo sát hệ thống ở phần IV. Phần V là phần kết luận.

II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG VÀ KÊNH TRUYỀN

Trong nghiên cứu này tôi khảo sát mô hình hệ thống như hình 1. Trong hệ thống này bao gồm một trạm cơ sở, hai người dùng user1 và user2 với khoảng cách giữa hai user đến trạm cơ sở khác nhau, hệ số kênh truyền khác nhau. Trong bài báo này tôi đề xuất kịch bản như sau :



Hình 1. Mô hình hệ thống NOMA uplink

+ Hệ thống chỉ có một trạm cơ sở và hai người dùng với hệ số kênh truyền và khoảng cách từ mỗi người dùng đến trạm cơ sở là khác nhau.

+ Giả sử có tất cả thông tin về trạng thái kênh truyền.

+ Kênh truyền từ người dùng đến trạm cơ sở là kênh fading Rayleigh.

Hệ thống được đề xuất hoạt động theo phương thức sau: Khi truyền theo đường lên người dùng i truyền tín hiệu s_i với công suất truyền p_i . Đối với đường lên của NOMA tín hiệu mà trạm cơ sở nhận được là:

$$y = \frac{\sqrt{p_1} h_1 s_1}{\sqrt{d_1^{\sigma_1}}} + \frac{\sqrt{p_2} h_2 s_2}{\sqrt{d_2^{\sigma_2}}} + n_0 \quad (1)$$

trong đó h_i , d_i , σ_i lần lượt là hệ số kênh truyền và khoảng cách, hệ số suy hao từ người dùng đến trạm cơ sở. n_0 là nhiễu trắng phức Gaussian có trung bình bằng 0 và công suất là N_0 .

Trong đường lên của NOMA, tín hiệu s_1 , s_2 được truyền cùng tần số, ở trạm cơ sở sử dụng bộ lọc can nhiễu SIC (successive interference canceller) để tách hai tín hiệu s_1 , s_2 từ hai người dùng. SIC sẽ phát hiện tín hiệu của người dùng có mức năng lượng lớn hơn tương đương với khoảng cách xa hơn sau đó sẽ lấy tín hiệu nhận được trừ cho tín hiệu vừa phát hiện sẽ được tín hiệu của người dùng gần hơn.

Ta có tỉ số công suất tín hiệu trên nhiễu (SINR) và can nhiễu (SNR nếu có) ở trạm cơ sở :

Đối với người dùng 1:

$$\text{SINR1} = X1 = \frac{P_1 |h_1|^2 / d_1^{\sigma_1}}{N_0 + P_2 |h_2|^2 / d_2^{\sigma_2}} = \frac{\gamma_{01} \gamma_1}{1 + \gamma_{02} \gamma_2} \quad (2)$$

Đối với người dùng 2:

$$\text{SNR2} = X2 = \frac{P_2 |h_2|^2 / d_2^{\sigma_2}}{N_0} = \gamma_{02} \gamma_2 \quad (3)$$

$$\text{Trong đó : } \gamma_{01} = \frac{P_1}{N_0}; \gamma_{02} = \frac{P_2}{N_0}; \gamma_1 = \frac{|h_1|^2}{d_1^{\sigma_1}}; \gamma_2 = \frac{|h_2|^2}{d_2^{\sigma_2}};$$

Xét kênh truyền từ người dùng đến trạm cơ sở là kênh truyền Fading Rayleigh ta có CDF và PDF của mỗi người dùng là :

$$F_{\gamma_i}(x) = 1 - e^{-\lambda_i x} \quad (4)$$

$$f_{\gamma_i}(x) = \lambda_i e^{-\lambda_i x} \quad (5)$$

$$F'_{\gamma_i}(x) = 1 - e^{-\lambda'_i x} \quad (6)$$

$$f'_{\gamma_i}(x) = \lambda'_i e^{-\lambda'_i x} \quad (7)$$

Với $\lambda_i = \frac{d_i^{\sigma_i}}{E(|h_i|^2)}$, $\lambda'_i = \frac{d_i^{\sigma_i}}{E(|h'_i|^2)}$, trong đó $E(.)$ là toán tử kỳ vọng của biến ngẫu nhiên.

III. PHÂN TÍCH HIỆU NĂNG HỆ THỐNG.

3.1 Xác suất dừng hệ thống.

Xác suất dừng hệ thống là xác suất mà tỉ số công suất tín hiệu trên nhiễu tức thời đầu cuối SNR khi $R < R_t$ với R_t là ngưỡng thông lượng của hệ thống. Xác suất dừng hệ thống được tính như sau

Từ (2), (4) và (5) ta có xác suất dừng hệ thống như sau:

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= F_{\gamma}(\gamma_0) = \Pr \left(\frac{\gamma_{01} \gamma_1}{1 + \gamma_{02} \gamma_2} < \gamma_0 \right) \\ &= \Pr \left(\gamma_1 < \frac{\gamma_0 (1 + \gamma_{02} \gamma_2)}{\gamma_{01} \gamma_1} \right) \\ &= \int_0^{\infty} F_{\gamma_1} \left(\frac{\gamma_0 (1 + \gamma_{02} \gamma_2)}{\gamma_{01} \gamma_1} \right) f_{\gamma_2}(\gamma_2) d\gamma_2 \\ &= 1 - \frac{\lambda_2 \gamma_{01}}{\gamma_{01} \lambda_1 \gamma_{02} + \lambda_2 \gamma_{01}} e^{-\frac{\gamma_0 \lambda_1}{\gamma_{01}}} \end{aligned} \quad (8)$$

Trong đó: $F_{\gamma}(\gamma_0)$ là CDF của SNR tức thời.

3.2 Thông lượng hệ thống.

Trong NOMA tín hiệu s_1 , s_2 được truyền đi cùng tần số, nhưng mức năng lượng khác nhau. Khi máy trạm cơ sở nhận được tín hiệu và giải mã s_1 nó sẽ trừ những thành phần của s_1 chứa trong tín hiệu y mà nó nhận được sau đó sẽ giải mã s_2 vậy thông lượng τ được biểu diễn theo công thức :

$$\tau = \frac{(1 - P_{\text{out}})R}{2} \quad (9)$$

Trong đó: P_{out} : xác suất dừng hệ thống.

$$R = \log_2(1 + \gamma_0)$$

3.3 Xác suất lỗi ký tự.

Xác suất lỗi ký tự trung bình (ASEP) là xác suất ký tự mất đi trên đường truyền trong một đơn vị thời gian. Xác suất lỗi ký tự trung bình là một tham số rất quan trọng dùng để đánh giá hiệu năng mạng vô tuyến và nó được tính như sau :

$$P_s = \int_0^{+\infty} \omega Q(\sqrt{\theta\gamma}) f(\gamma) d\gamma$$

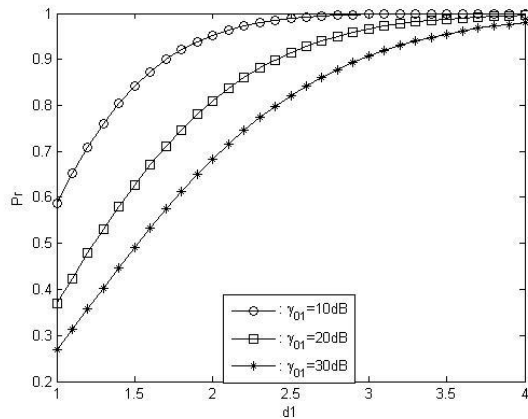
$$P_s = \frac{\omega}{2\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} F\left(\frac{t}{\theta}\right) e^{-\frac{t}{2}} t^{-\frac{1}{2}} dt \quad (10)$$

Trong đó : $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ là hàm Q của Gaussian. ω và θ là hằng số của kênh truyền phụ thuộc vào mỗi loại điều chế và giải điều chế, $f(\gamma)$: hàm PDF của SNR hoặc SINR.(10) sẽ được tính cụ thể ở phụ lục A.

IV.KẾT QUẢ PHÂN TÍCH VÀ THẢO LUẬN.

4.1 Ảnh hưởng của khoảng cách lên xác suất dừng hệ thống của user1.

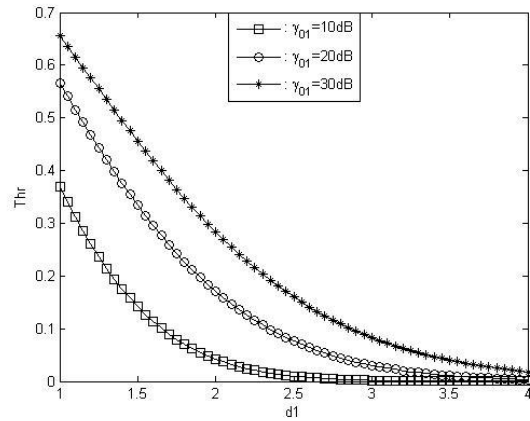
Kết quả hình 2 cho ta thấy khi khoảng cách từ user1 đến trạm BS tỉ lệ thuận với nhau, khoảng cách càng lớn thì xác suất dừng hệ thống càng tiệm cận 1. Trong khi đó thì công suất phát tỉ lệ nghịch với xác suất dừng hệ thống, như hình 2 với các mức công suất phát tương ứng tăng dần thì xác suất dừng hệ thống giảm dần.



Hình 2. Xác suất dừng hệ thống biểu diễn theo khoảng cách với các mức công suất phát $\gamma_{01} = 10, 20, 30$ dB, $\gamma_{02} = 15$ dB, $\gamma_0 = 5$ dB, $d_2 = 4, x_{m1} = x_{m2} = 2$.

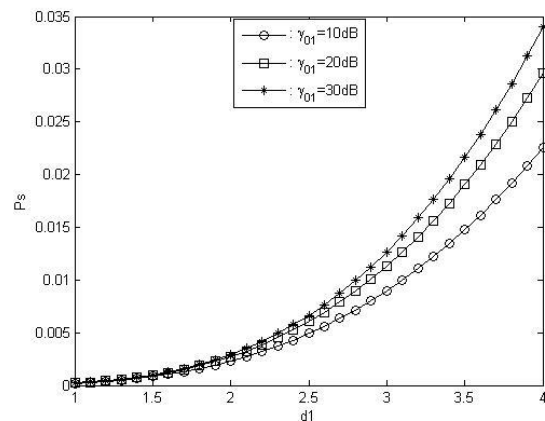
4.2 Ảnh hưởng của khoảng cách và công suất phát lên thông lượng hệ thống của user1.

Kết quả hình 3 cho ta thấy khi khoảng cách từ user1 đến trạm BS tỉ lệ nghịch với nhau, khoảng cách càng lớn thì thông lượng hệ thống càng nhỏ. Ngược lại thì công suất phát tỉ lệ thuận với thông lượng hệ thống, như hình 3 với các mức công suất phát tương ứng tăng dần thì thông lượng hệ thống tăng dần.



Hình 3. Mô tả ảnh hưởng của khoảng cách thông lượng của hệ thống của user1 với mức công suất phát $\gamma_{01} = 10, 20, 30$ dB, $\gamma_{02} = 15$ dB, $\gamma_0 = 5$ dB, $d_2 = 4, x_{m1} = x_{m2} = 2$.

4.3 Ảnh hưởng của khoảng cách lên xác suất lỗi kí tự.



Hình 4. Ảnh hưởng của khoảng cách lên xác suất lỗi kí tự trung bình với các mức công suất phát khác nhau $\gamma_{01} = 10, 20, 30$ dB, $\gamma_{02} = 15$ dB, $\gamma_0 = 5$ dB, $d_2 = 4, x_{m1} = x_{m2} = 2, \theta = 1, \omega = 2$.

Ảnh hưởng của khoảng cách lên xác suất lỗi kí tự trung bình được biểu diễn ở hình 4 ta thấy rằng khi khoảng cách giữa user và BS càng lớn thì xác suất lỗi kí tự trung bình của hệ thống tăng dần.

V.KẾT LUẬN.

Trong nghiên cứu này tôi đã khảo sát mô hình hệ thống đa truy cập phi trực giao cho đường lên của hệ thống. Các biểu thức toán học về xác suất dừng hệ thống, thông lượng, xác suất lỗi kí tự trung bình được tính toán dựa trên đặc điểm của mô hình đưa ra. Đồng thời tôi cũng đã thực hiện phân tích kết quả trên phần mềm để

kiểm chứng kết quả đưa ra. Từ kết quả trên ta có thể phân tích các thông số ảnh hưởng đến hiệu năng của hệ thống từ đó có đưa ra phương án cụ thể để làm tăng hiệu năng hoạt động của hệ thống.

PHỤ LỤC A

Ở phần này tôi sẽ cung cấp tính toán chi tiết cho công thức 10)

$$P_s = \frac{\omega}{2\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \left(1 - \frac{\lambda_2 \gamma_{01}}{(\lambda_2 \gamma_{01} + \frac{t}{\theta} \lambda_1 \gamma_{02})} e^{\frac{-t\lambda_1}{\theta \gamma_{01}}} e^{\frac{-t}{2}} t^{\frac{-1}{2}} dt\right)$$

$$= \frac{\omega}{2\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \left(e^{\frac{-t}{2}} t^{\frac{-1}{2}}\right) dt - \frac{\omega}{2\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \frac{\lambda_2 \gamma_{01}}{(\lambda_2 \gamma_{01} + \frac{t}{\theta} \lambda_1 \gamma_{02})} e^{\frac{-t(2\lambda_1 + \theta \gamma_{01})}{2\theta \gamma_{01}}} t^{\frac{-1}{2}} dt$$

$$I_1 = \frac{\omega}{2\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \left(e^{\frac{-t}{2}} t^{\frac{-1}{2}}\right) dt = \int_0^\infty \frac{e^{\frac{-t}{2}}}{\sqrt{t}} dt = \frac{\omega}{2\sqrt{2\pi}} \sqrt{2\pi} = \frac{\omega}{2}$$

$$I_2 = \frac{\omega}{2\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \frac{\lambda_2 \gamma_{01}}{(\lambda_2 \gamma_{01} + \frac{t}{\theta} \lambda_1 \gamma_{02})} e^{\frac{-t(2\lambda_1 + \theta \gamma_{01})}{2\theta \gamma_{01}}} t^{\frac{-1}{2}} dt$$

$$= \frac{\omega \lambda_2 \gamma_{01}}{2\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \frac{1}{(\lambda_2 \gamma_{01} + \frac{t}{\theta} \lambda_1 \gamma_{02})} t^{\frac{-1}{2}} e^{\frac{-t(2\lambda_1 + \theta \gamma_{01})}{2\theta \gamma_{01}}} dt$$

$$= \frac{\omega \theta \lambda_1 \gamma_{02} \lambda_2 \gamma_{01}}{2\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty \frac{1}{(\frac{\lambda_2 \gamma_{01} \theta}{\lambda_1 \gamma_{02}} + t) \sqrt{t}} e^{\frac{-t(2\lambda_1 + \theta \gamma_{01})}{2\theta \gamma_{01}}} dt$$

$$I_2 = \frac{\omega \theta \lambda_1 \gamma_{02} \lambda_2 \gamma_{01}}{2\sqrt{2\pi}} e^{\frac{\lambda_2 (2\lambda_1 + \gamma_{01} \theta)}{2\lambda_1 \gamma_{02}}} \frac{\pi}{\sqrt{\frac{\lambda_2 \gamma_{01} \theta}{\lambda_1 \gamma_{02}}}} \left[1 - \operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{\lambda_2 \gamma_{01} \theta}{\lambda_1 \gamma_{02}} \frac{(2\lambda_1 + \theta \gamma_{01})}{2\theta \gamma_{01}}}\right)\right]$$

$$P_s = \frac{\omega}{2} - \frac{\omega \theta \lambda_1 \gamma_{02} \lambda_2 \gamma_{01}}{2\sqrt{2\pi}} e^{\frac{\lambda_2 (2\lambda_1 + \gamma_{01} \theta)}{2\lambda_1 \gamma_{02}}} \frac{\pi}{\sqrt{\frac{\lambda_2 \gamma_{01} \theta}{\lambda_1 \gamma_{02}}}} \left[1 - \operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{\lambda_2 (2\lambda_1 + \theta \gamma_{01})}{2\lambda_1 \gamma_{02}}}\right)\right]$$

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin chân thành gửi lời cảm ơn đến Ts. Hà Đắc Bình Trường Khoa Điện- Điện Tử , Trường Đại học Duy Tân đã giúp đỡ tôi trong quá trình thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Non-orthogonal Multiple Access (NOMA) with Successive Interference Cancellation for Future Radio Access, IEICE TRANS. COMMUN., VOL.E98-B, NO.3 MARCH 2015.
- [2] Phân tích hiệu năng mạng chuyển tiếp truyền năng lượng không dây qua kênh truyền pha-đỉnh nakagami-m, Trần Đức Dũng, Hà Đắc Bình, Nguyễn Hoàng Hà, Tạp chí Khoa Học Công Nghệ, Đại Học Duy Tân, 5/2017
- [3] Phân tích khả năng bảo mật lớp vật lý mạng đa truy cập phi trực giao NOMA 5G cho đường lên, Nguyễn Văn Long, Trần Đức Dũng, Hà Đắc Bình, Đại học Duy Tân
- [4] Probabilistic Method of Signal and System analysis, George R. Cooper Clare D. McGillem.
- [5] Table of Integrals, Series and Products Alan Jeffrey