

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
CƠ SỞ TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
KHOA VIỄN THÔNG 2



BÁO CÁO TỔNG KẾT

ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU KHOA HỌC CỦA SINH VIÊN
NĂM HỌC: 2023 – 2024

ĐỀ TÀI:

**ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG CHUYỂN TIẾP HAI
CHẠNG SỬ DỤNG KỸ THUẬT ĐA TRUY NHẬP
KHÔNG TRỰC GIAO NOMA**

Mã số đề tài: 70-SV-2023-VT2

Thuộc nhóm ngành khoa học: Điện tử - Viễn thông

TP. HCM – 11/2023

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG
CƠ SỞ TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
KHOA VIỄN THÔNG 2

BÁO CÁO TỔNG KẾT

ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU KHOA HỌC CỦA SINH VIÊN
NĂM HỌC: 2023 – 2024

ĐỀ TÀI:
**ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG CHUYỂN TIẾP HAI
CHẶNG SỬ DỤNG KỸ THUẬT ĐA TRUY NHẬP
KHÔNG TRỰC GIAO NOMA**

Mã số đề tài: 70-SV-2023-VT2

Thuộc nhóm ngành khoa học : Điện tử - Viễn thông

Sinh viên thực hiện : Nguyễn Châu Trần Bảo Châu

Nam, nữ: Nữ Dân tộc: Kinh

Lớp: D21CQVT01-N Khoa: Viễn Thông 2

Năm thứ : 3/4,5

Ngành học : Kỹ thuật Điện tử Viễn thông

Giảng viên hướng dẫn : PGS.TS Võ Nguyễn Quốc Bảo

LỜI CẢM ƠN

Trước hết, em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến Thầy PGS.TS Võ Nguyễn Quốc Bảo – người hướng dẫn trực tiếp trong đề tài này đã luôn dành thời gian, công sức hướng dẫn em trong suốt quá trình thực hiện và hoàn thành đề tài nghiên cứu khoa học.

Em xin trân trọng cảm ơn các Thầy/Cô trong khoa Viễn Thông 2 đã tận tình giảng dạy, giúp đỡ và truyền đạt những kiến thức cần thiết và quý báu trong suốt quá trình nghiên cứu của em. Em xin kính gửi lời chúc sức khỏe đến các Thầy/Cô, chúc các Thầy/Cô luôn thành đạt và ngày càng thành công trên con đường trồng người của mình.

Trong quá trình thực hiện đề tài sẽ không tránh khỏi những sai sót, kính mong các quý Thầy/Cô góp ý và bổ sung để đề tài được hoàn thiện hơn.

Em xin chân thành cảm ơn!

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH	5
DANH MỤC NHỮNG TỪ VIẾT TẮT.....	6
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN	7
I. Sự phát triển của hệ thống thông tin di động qua các thế hệ.....	7
1. Hệ thống thông tin di động thế hệ thứ nhất (1G)	7
2. Hệ thống thông tin di động thế hệ thứ hai (2G)	7
3. Hệ thống thông tin di động thế hệ thứ ba (3G).....	8
4. Hệ thống thông tin di động thế hệ thứ tư (4G)	8
5. Hệ thống thông tin di động thế hệ thứ năm (5G)	8
II. Kỹ thuật đa truy nhập không trực giao NOMA	9
1. NOMA là gì ?	9
2. Sự khác nhau giữa OMA và NOMA	9
3. NOMA đường xuống.....	10
4. NOMA đường lên	12
III. NOMA đường xuống sử dụng đường truyền trực tiếp với hai nút đích	13
1. Mô hình hệ thống.....	13
2. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu	14
3. Phân tích hiệu năng.....	15
4. Mô phỏng.....	18
IV. Các kỹ thuật chuyển tiếp trong hệ thống truyền thông.....	20
1. Các hiện tượng truyền sóng vô tuyến.....	20
2. Truyền thông chuyển tiếp	21
3. Mạng chuyển tiếp một chiều hai chặng.....	22
4. Mạng chuyển tiếp hai chiều.....	23
V. Lý do chọn đề tài.....	23
CHƯƠNG 2: PHÂN TÍCH HIỆU NĂNG HỆ THỐNG	24
1. Mô hình hệ thống.....	24
2. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu	25
3. Phân tích hiệu năng.....	26
CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG KẾT QUẢ	29
CHƯƠNG 4: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI.....	33

I. Kết luận	33
II. Hướng phát triển đề tài	33
TÀI LIỆU THAM KHẢO	34

DANH MỤC HÌNH

Hình 1: Đa truy nhập trực giao (OMA)	9
Hình 2: Đa truy nhập không trực giao (NOMA).....	10
Hình 3: Mô hình NOMA đường xuống [2].....	10
Hình 4: Mô hình NOMA đường lên [4].....	12
Hình 5: Mô hình NOMA sử dụng đường truyền trực tiếp	13
Hình 6: Mô phỏng xác suất dừng tại D_1	18
Hình 7: Mô phỏng xác suất dừng tại D_2	19
Hình 8: Các hiện tượng truyền sóng vô tuyến.....	20
Hình 9: Mô hình chuyển tiếp	21
Hình 10: Khuếch đại chuyển tiếp	21
Hình 11: Giải mã chuyển tiếp.....	22
Hình 12: Mạng chuyển tiếp một chiều hai chặng	22
Hình 13: Mô hình mạng chuyển tiếp hai chặng sử dụng NOMA	24
Hình 14: Xác suất dừng hệ thống.....	29
Hình 15: Xác suất dừng hệ thống khi thay đổi λ	30
Hình 16: Xác suất dừng hệ thống khi thay đổi λ_1	31
Hình 17: Xác suất dừng hệ thống khi thay đổi khoảng cách giữa S và R	32

DANH MỤC NHỮNG TỪ VIẾT TẮT

STT		
1	AF	Amplify-and-Forward
2	BS	Base Station
3	CDMA	Code Division Multiple Access
4	DF	Decode-and-Forward
5	FDMA	Frequency Division Multiple Access
6	FSK	Frequency Shift Keying
7	NOMA	Non-orthogonal Multiple Access
8	NTM	Nordic Mobile Telephone
9	OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
10	OMA	Orthogonal Multiple Access
11	SIC	Successive Interference Cancellation
12	TACS	Total Access Communication System
13	TDMA	Time Division Multiple Access

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

I. Sự phát triển của hệ thống thông tin di động qua các thế hệ

Khi các ngành thông tin quảng bá bằng vô tuyến phát triển thì ý tưởng về thiết bị điện thoại vô tuyến ra đời và cũng là tiền thân của mạng thông tin di động sau này. Năm 1946, mạng điện thoại vô tuyến đầu tiên được thử nghiệm.

Sau những năm 1950, việc phát minh ra chất bán dẫn cũng ảnh hưởng lớn đến lĩnh vực thông tin di động. Việc sử dụng các linh kiện bán dẫn vào thông tin di động đã cải thiện được một số nhược điểm mà trước đây chưa làm được.

Thuật ngữ thông tin di động tế bào ra đời vào những năm 1970, khi kết hợp được các vùng phủ sóng riêng lẻ thành công đã giải được bài toán khó về dung lượng.

1. Hệ thống thông tin di động thế hệ thứ nhất (1G)

Tháng 12/1971 đưa ra hệ thống cellular kỹ thuật tương tự, FM ở dải tần số 850MHz. Dựa trên công nghệ này đến năm 1983, mạng điện thoại di động AMPS (Advance Mobile Phone Service) phục vụ thương mại đầu tiên tại Chicago, nước Mỹ. Sau đó hàng loạt các chuẩn thông tin di động ra đời như: Nordic Mobile Telephone (NTM), Total Access Communication System (TACS).

Giai đoạn này còn được gọi là hệ thống di động tương tự thế hệ đầu tiên (1G) với dải tần hẹp, tất cả các hệ thống 1G sử dụng điều chế tần số FM cho đàm thoại, điều chế khóa dịch tần FSK (Frequency Shift Keying) cho tín hiệu và kỹ thuật truy cập được sử dụng là FDMA (Frequency Division Multiple Access).

2. Hệ thống thông tin di động thế hệ thứ hai (2G)

Thế hệ thông tin di động thứ hai (2G) được phổ biến trong suốt thập niên 90. Sự phát triển công nghệ thông tin di động thế hệ thứ hai dùng các tiện ích của nó đã làm bùng nổ lượng thuê bao di động trên toàn cầu. Đây là thời kỳ chuyển đổi từ analog sang digital.

Giai đoạn này có hệ thống thông tin di động số như: GSM-900MHZ (Global System for Mobile), DCS-1800MHZ (Digital Cordless System), PDC - 1900Mhz (Personal Digital Cellular), IS-54 và IS-95 (Interior Standard). Trong đó GSM là tiền thân của hai hệ thống DCS, PDC. Các hệ thống sử dụng kỹ thuật TDMA (Time

Division Multiple Access) ngoại trừ IS-95 sử dụng kỹ thuật CDMA (Code Division Multiple Access).

Thế hệ 2G có khả năng cung cấp dịch vụ đa dạng, các tiện ích hỗ trợ cho công nghệ thông tin, cho phép thuê bao thực hiện quá trình chuyển vùng quốc tế tạo khả năng giữ liên lạc trong một diện rộng khi họ di chuyển từ quốc gia này sang quốc gia khác.

3. Hệ thống thông tin di động thế hệ thứ ba (3G)

Từ năm 1992 Hội nghị thế giới truyền thông dành cho truyền thông một số dải tần cho hệ thống thông tin di động 3G: phổ rộng 230MHz trong dải tần 2GHz, trong đó 60MHz được dành cho liên lạc vệ tinh. Sau đó Liên Hiệp Quốc Tế Truyền Thông (UIT) chủ trương một hệ thống di động quốc tế toàn cầu với dự án IMT-2000 sử dụng trong các dải 1885-2025MHz và 2110- 2200MHz.

Thế hệ 3G gồm có các kỹ thuật: W-CDMA (Wide band CDMA) kiểu FDD và TD-CDMA (Time Division CDMA) kiểu TDD. Mục tiêu của IMT- 2000 là giúp cho các thuê bao liên lạc với nhau và sử dụng các dịch vụ đa truyền thông trên phạm vi thế giới, với lưu lượng bit đi từ 144Kbit/s trong vùng rộng và lên đến 2Mbps trong vùng địa phương. Dịch vụ bắt đầu vào năm 2001- 2002.

4. Hệ thống thông tin di động thế hệ thứ tư (4G)

Trong những năm 2010, 4G đã thay thế 3G như là phiên bản mới nhất của công nghệ di động với tốc độ rất cao lên đến 100 Mbps và đạt xấp xỉ 1Gbps nếu đứng yên.

Thế hệ 4G sử dụng công nghệ OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) có khả năng chia nhỏ kênh truyền dữ liệu thành các tần số nhỏ hơn là “sóng mang con”.

5. Hệ thống thông tin di động thế hệ thứ năm (5G)

Sau thế hệ thông tin di động 4G, thuật ngữ 5G bắt đầu ra đời vào đầu năm 2020 với nhiều cải tiến hơn so với 4G để tăng tốc độ của mạng không dây.

Theo lý thuyết tốc độ 5G có thể đạt trên 10Gbps thậm chí cao hơn, ngay cả ở trong vùng rìa phủ sóng tốc độ vẫn có thể đạt từ 1 đến vài trăm Mbps; độ trễ có thể

xuống tới 10ms, thậm chí là bằng không trong điều kiện hoàn hảo; có thể kết nối gấp 10 - 100 lần số lượng thiết bị kết nối cùng một lúc.

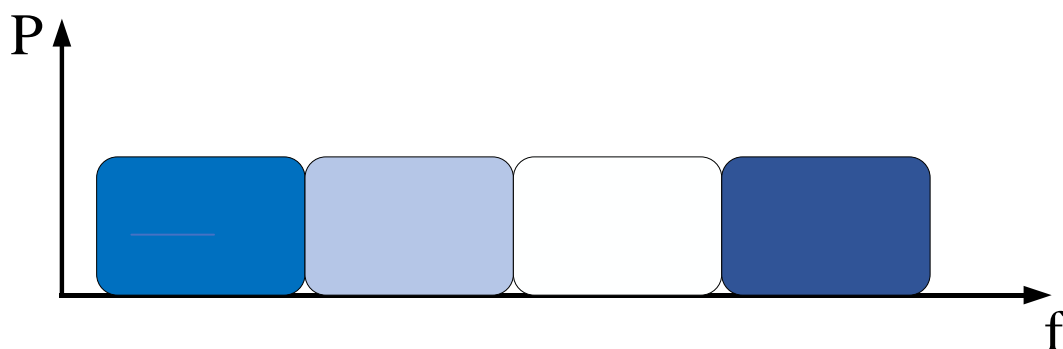
Và trong thế hệ thông tin di động thứ năm (5G) kỹ thuật đa truy nhập không trực giao NOMA (Non-orthogonal Multiple Access) được sử dụng.

II. Kỹ thuật đa truy nhập không trực giao NOMA

1. NOMA là gì ?

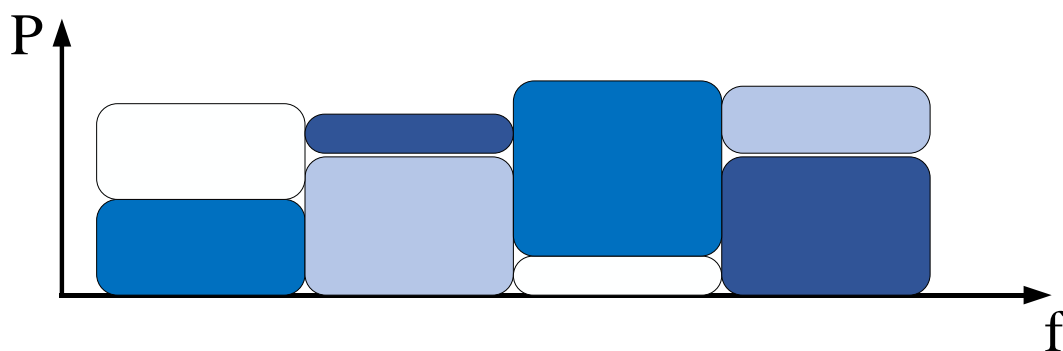
NOMA là viết tắt của Non-orthogonal Multiple Access – đa truy nhập không trực giao. Về NOMA nói chung, NOMA cho phép xếp chồng các tín hiệu tin nhắn riêng biệt của người dùng trong cụm NOMA. Sau đó, tín hiệu thông báo mong muốn được phát hiện và giải mã tại máy thu (người dùng ở đường xuống (downlink) và BS ở đường lên(uplink)) bằng cách áp dụng SIC [1].

2. Sự khác nhau giữa OMA và NOMA



Hình 1: Đa truy nhập trực giao (OMA)

Đối với đa truy nhập trực giao: mỗi người dùng được phân bổ một mức công suất và mỗi người dùng chỉ được hoạt động tại một mức tần số cho phép.

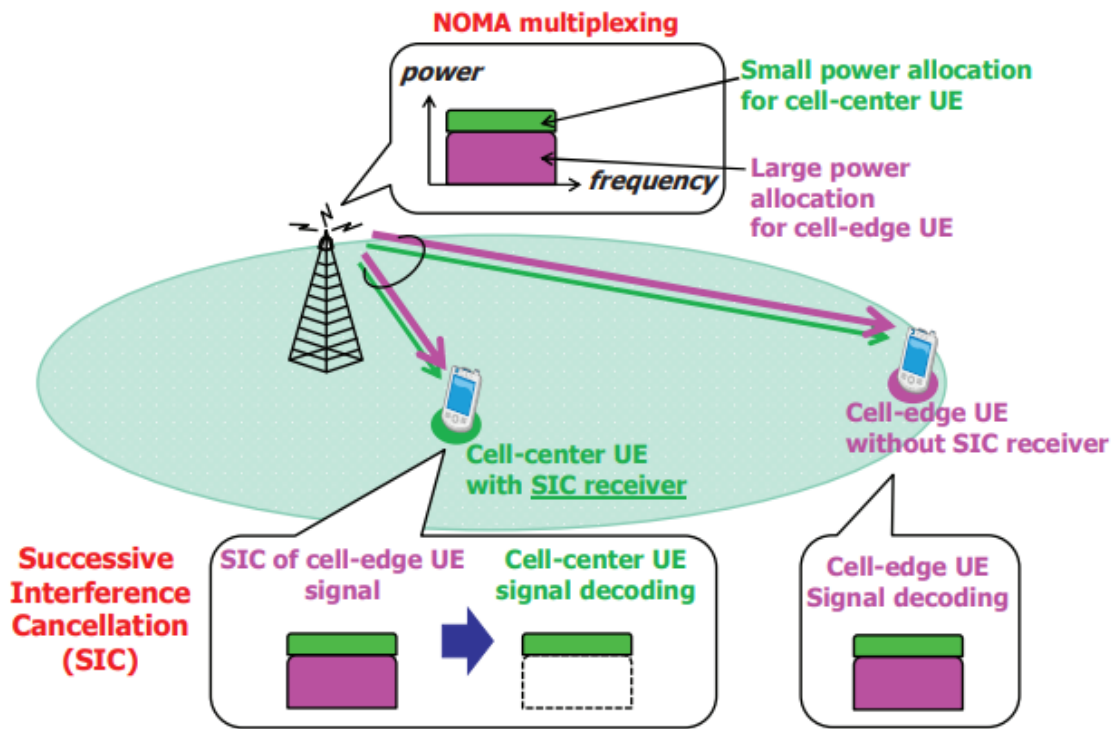


Hình 2: Đa truy nhập không trực giao (NOMA)

Đối với đa truy nhập không trực giao: mỗi người dùng có thể được phân bổ mức công suất khác nhau và hoạt động xếp chồng lên nhau, nghĩa là nhiều người dùng được hoạt động được ở một mức tần số cho phép.

Kỹ thuật NOMA khác so với kỹ thuật đa truy nhập trực giao thông thường (OMA) là việc thiết bị phát có thể gửi đồng thời các tín hiệu khác nhau đến một hoặc nhiều thiết bị thu trên cùng một dải tần. Ở các thiết bị thu, kỹ thuật khử nhiễu tuần tự (SIC) được sử dụng để đạt được dữ liệu mong muốn. Do đó, NOMA nâng cao đáng kể tốc độ truyền dẫn và cải thiện hiệu suất phổ cho các mạng thông tin di động hiện nay khi mà nhu cầu kết nối và truyền dữ liệu của người dùng ngày càng tăng lên.

3. NOMA đường xuống



Hình 3: Mô hình NOMA đường xuống [2]

Trong NOMA đường xuống, BS truyền tín hiệu xếp chồng có dạng:

$$x = \sum_{i=1}^U \sqrt{P_i} x_i \quad (1)$$

Trong đó:

x_i là tín hiệu của người dùng i

P_i là công suất phân bổ cho người dùng i

U là số lượng người dùng trong cụm NOMA

Công suất phân bổ cho người dùng phụ thuộc vào công suất của người dùng khác do hạn chế về tổng công suất của BS:

$$P_t = \sum_{i=1}^U \sqrt{P_i} \quad (2)$$

Trong đó P_t là tổng công suất của BS

Tín hiệu nhận được tại người dùng thứ i :

$$y_i = h_i x + w_i \quad (3)$$

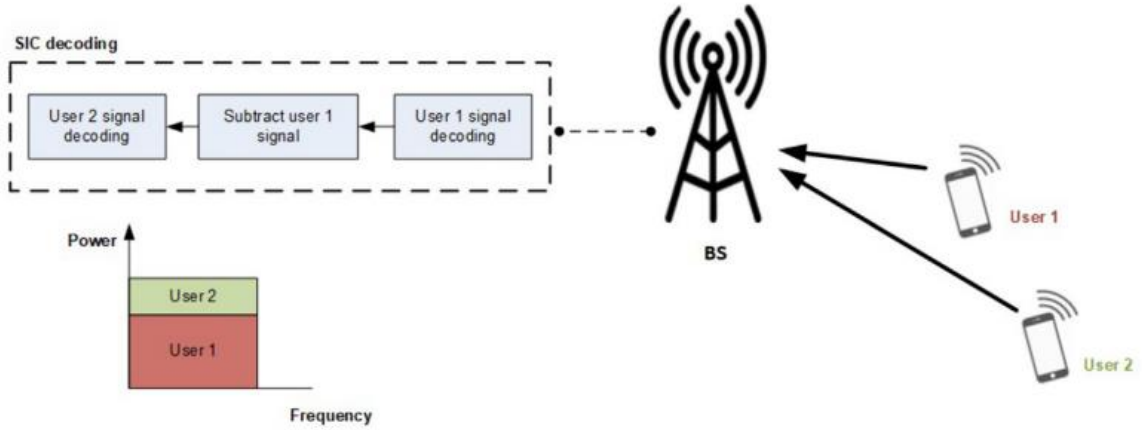
Trong đó:

h_i là hệ số kênh truyền giữa BS và người dùng i

w_i biểu thị nhiễu Gauss (với mật độ phổ công suất $N_{0,i}$)

NOMA đường xuống sử dụng cơ chế phân bổ công suất trong đó công suất truyền cao được sử dụng cho những người dùng có điều kiện kênh kém và ngược lại. Do đó, tại một người dùng nhất định trong cụm NOMA, các tín hiệu gây nhiễu mạnh chủ yếu là tín hiệu có công suất cao của người dùng kênh tương đối yếu. Như vậy để trích xuất tín hiệu mong muốn, mỗi người dùng sẽ loại bỏ tín hiệu mạnh bằng cách giải mã, điều chế lại và khử nhiễu tín hiệu nhận được. Sau đó, người dùng có mức tăng kênh cao nhất sẽ hủy tất cả nhiễu trong cụm, trong khi người dùng có mức tăng kênh thấp nhất sẽ bị ảnh hưởng bởi nhiễu của tất cả những người dùng còn lại trong cụm đó. [2, 3]

4. NOMA đường lên



Hình 4: Mô hình NOMA đường lên [4]

Trong đường lên, mỗi người dùng truyền tín hiệu riêng x_i với công suất phát P_i sao cho tín hiệu nhận được tại BS có dạng:

$$y = \sum_{i=1}^U \sqrt{P_i} h_i x_i + w \quad (4)$$

Trong đó: w biểu thị nhiễu tại máy thu (với mật độ phổ công suất N_0) tại BS

Công suất được truyền cho mỗi người dùng bị giới hạn bởi mức dung lượng tối đa của người dùng khác. Khác với NOMA đường xuống, tất cả người dùng có thể sử dụng độc lập dung lượng của mình đến mức tối đa miễn là độ lợi kênh truyền của người dùng đủ khác biệt. Nếu mức tăng kênh quá gần, điều khiển công suất có thể được sử dụng để tăng hiệu suất của người dùng có mức tăng kênh tốt hơn, đồng thời duy trì hiệu suất của người dùng có mức tăng kênh yếu hơn ở một mức nhất định.

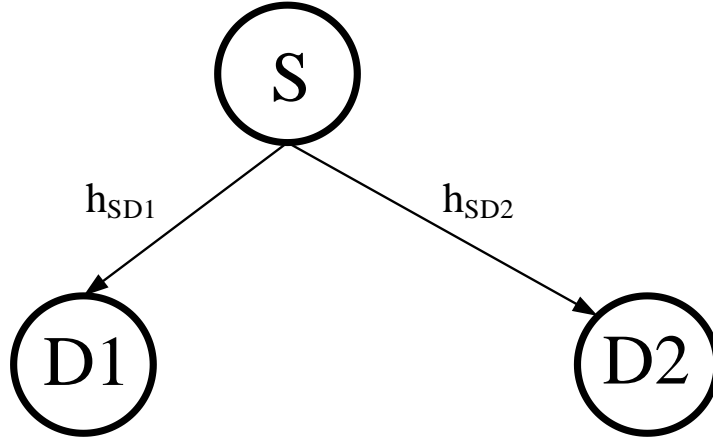
Lưu ý rằng, để áp dụng SIC và giải mã tín hiệu tại BS, điều quan trọng là phải duy trì tính phân biệt của các tín hiệu khác nhau được xếp chồng lên nhau trong y . Vì các kênh của những người dùng khác nhau ở đường lên khác nhau nên mỗi tín hiệu sẽ có mức tăng kênh riêng biệt. Kết quả là công suất tín hiệu thu được tương ứng với người sử dụng kênh mạnh nhất có thể là công suất mạnh nhất ở BS. Do đó, tín hiệu này được giải mã đầu tiên tại BS và bị nhiễu từ tất cả người dùng trong cụm có kênh tương đối yếu hơn. Nghĩa là, việc truyền tải kênh có độ lợi cao nhất mà người dùng gặp phải sự can thiệp từ tất cả người dùng trong cụm của nó, trong khi đó người dùng

có mức tăng kênh thấp nhất sẽ không bị ảnh hưởng bởi những người dùng trong cụm của nó [1].

III. NOMA đường xuống sử dụng đường truyền trực tiếp với hai nút đích

1. Mô hình hệ thống

Mô hình hệ thống gồm một nút nguồn (S), hai nút đích lần lượt là nút thứ nhất (D_1) và nút đích thứ hai (D_2).



Hình 5: Mô hình NOMA sử dụng đường truyền trực tiếp

Tín hiệu tại nút nguồn (S) là sự kết hợp tín hiệu của hai nút đích:

$$x = x_1 + x_2, \quad (5)$$

với x_1 là tín hiệu đại diện cho nút đích D_1 và x_2 là tín hiệu đại diện cho nút D_2 .

Giả sử nút đích D_1 gần hơn so với nút đích D_2 . Như vậy, hệ số kênh truyền của nút đích thứ nhất sẽ lớn hơn kênh truyền của nút đích thứ hai: $h_{SD_1} > h_{SD_2}$

Tín hiệu nhận được tại nút đích thứ nhất là:

$$\begin{aligned} y_{SD_1}^{x_1} &= x h_{SD_1} + n_{SD_1} \\ &= \left(\sqrt{\alpha_1 P} x_1 + \sqrt{\alpha_2 P} x_2 \right) h_{SD_1} + n_{SD_1}, \end{aligned} \quad (6)$$

với α_1 và α_2 lần lượt là hệ số phân bổ công suất cho D_1 và D_2 . Vì D_2 ở xa so với D_1 nên phân bổ hệ số công suất lớn hơn, cụ thể: $\alpha_1 < \alpha_2$, điều kiện: $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$. P là công suất phát tại S, và n_{SD_1} là nhiễu tại D_1 .

Tương tự, tín hiệu nhận được tại nút đích thứ hai là:

$$\begin{aligned} y_{SD_2}^{x_2} &= xh_{SD_2} + n_{SD_2} \\ &= \left(\sqrt{\alpha_1 P} x_1 + \sqrt{\alpha_2 P} x_2 \right) h_{SD_2} + n_{SD_2}, \end{aligned} \quad (7)$$

với n_{SD_2} là nhiễu tại D_2 .

2. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu

Xét tại D_1 :

Tại D_1 chỉ quan tâm tới việc giải mã tín hiệu x_1 . Theo nguyên lý NOMA và áp dụng kỹ thuật SIC tại D_1 . Vì hệ số kênh truyền của D_1 lớn hơn hệ số kênh truyền tại D_2 nên D_1 nhận tín hiệu từ S trước và xem tín hiệu của D_2 như là nhiễu, ta có tỷ số tín hiệu trên nhiễu nhận được là:

$$\gamma_{SD_1}^{x_1} = \frac{\alpha_1 P |h_{SD_1}|^2}{\alpha_2 P |h_{SD_1}|^2 + N_0}. \quad (8)$$

Xét tại D_2 :

Theo nguyên lý NOMA, vì nút D_2 ở xa hơn D_1 nên D_2 sẽ giải mã tín hiệu của D_1 trước và xem tín hiệu của D_2 như là nhiễu, ta có tỷ số tín hiệu trên nhiễu nhận được là:

$$\gamma_{SD_2}^{x_1} = \frac{\alpha_1 P |h_{SD_2}|^2}{\alpha_2 P |h_{SD_2}|^2 + N_0}. \quad (9)$$

Tại D_2 ta xét hai trường hợp:

Trường hợp 1:

$\gamma_{SD_2}^{x_1} < \gamma_{th_1}$, tức là tỷ số tín hiệu trên nhiễu khi giải mã tín hiệu x_1 nhỏ hơn mức ngưỡng theo yêu cầu. Lúc này, tín hiệu x_1 bị xem như là nhiễu. Ta có tỷ số tín hiệu trên nhiễu nhận được tại D_2 là:

$$\gamma_{SD_2}^{x_2,1} = \frac{\alpha_2 P |h_{SD_2}|^2}{\alpha_1 P |h_{SD_2}|^2 + N_0}. \quad (10)$$

Trong (10), tại D_2 có thể giải mã x_1 sai nhưng có thể giải mã x_2 đúng.

Trường hợp 2:

$\gamma_{SD_2}^{x_1} \geq \gamma_{th_1}$, tức là tỷ số tín hiệu trên nhiễu khi giải mã tín hiệu x_1 lớn hơn hoặc bằng mức ngưỡng theo yêu cầu. D_2 tiến hành loại bỏ x_1 ra và giải mã tín hiệu x_2 . Ta có tỷ số tín hiệu trên nhiễu nhận được là:

$$\gamma_{SD_2}^{x_2,2} = \frac{\alpha_2 P |h_{SD_2}|^2}{N_0}. \quad (11)$$

3. Phân tích hiệu năng

Xác suất dừng tại D_1 :

$$\begin{aligned} OP_{SD_1}^{x_1} &= \Pr(\gamma_{SD_1}^{x_1} < \gamma_{th_1}) \\ &= \Pr(|h_{SD_1}|^2 < \frac{\gamma_{th_1}}{\alpha_1 \frac{P}{N_0} - \alpha_2 \frac{P}{N_0} \gamma_{th_1}}) \\ &= F_{|h_{SD_1}|^2} \left(\frac{\gamma_{th_1}}{\frac{P}{N_0} (\alpha_1 - \alpha_2 \gamma_{th_1})} \right) \\ &= \begin{cases} 1 - \exp \left(-\frac{\lambda_{SD_1} \gamma_{th_1}}{\frac{P}{N_0} (\alpha_1 - \alpha_2 \gamma_{th_1})} \right), & \alpha_1 > \frac{\gamma_{th_1}}{1 + \gamma_{th_1}} \\ 1, & \alpha_1 \leq \frac{\gamma_{th_1}}{1 + \gamma_{th_1}} \end{cases} \end{aligned} \quad (12)$$

Trong (12), λ_{SD_1} là tham số đặc trưng của biến ngẫu nhiên $|h_{SD_1}|^2$ có phân bố mũ.

Xác suất dừng tại D_2 :

$$OP_{SD_2}^{x_2} = \Pr(\gamma_{SD_2}^{x_1} < \gamma_{th_1}, \gamma_{SD_2}^{x_2,1} < \gamma_{th_2}) + \Pr(\gamma_{SD_2}^{x_1} \geq \gamma_{th_1}) \Pr(\gamma_{SD_2}^{x_2,2} < \gamma_{th_2}). \quad (13)$$

Vì h_{SD_1} và h_{SD_2} là độc lập tuyến tính nên (1.9) được viết lại như sau:

$$\begin{aligned}
OP_{SD_2}^{x_2} &= \Pr\left(\gamma_{SD_2}^{x_1} < \gamma_{th_1}\right) \Pr\left(\gamma_{SD_2}^{x_2,1} < \gamma_{th_2}\right) + \Pr\left(\gamma_{SD_2}^{x_1} \geq \gamma_{th_1}\right) \Pr\left(\gamma_{SD_2}^{x_2,2} < \gamma_{th_2}\right) \\
&= \Pr\left(\frac{\alpha_1 P |h_{SD_2}|^2}{\alpha_2 P |h_{SD_2}|^2 + N_0} < \gamma_{th_1}\right) \Pr\left(\frac{\alpha_2 P |h_{SD_2}|^2}{\alpha_1 P |h_{SD_2}|^2 + N_0} < \gamma_{th_2}\right) \\
&\quad + \Pr\left(\frac{\alpha_1 P |h_{SD_2}|^2}{\alpha_2 P |h_{SD_2}|^2 + N_0} \geq \gamma_{th_1}\right) \Pr\left(\frac{\alpha_2 P |h_{SD_2}|^2}{N_0} < \gamma_{th_2}\right)
\end{aligned} \tag{14}$$

Ta có:

$$\begin{aligned}
\Pr\left(\gamma_{SD_2}^{x_1} < \gamma_{th_1}\right) &= F_{|h_{SD_2}|^2} \left(\frac{\gamma_{th_1}}{\frac{P}{N_0}(\alpha_1 - \alpha_2 \gamma_{th_1})} \right) \\
&= \begin{cases} 1 - \exp\left(-\frac{\lambda_{SD_2} \gamma_{th_1}}{\frac{P}{N_0}(\alpha_1 - \alpha_2 \gamma_{th_1})}\right), & \alpha_1 > \frac{\gamma_{th_1}}{1 + \gamma_{th_1}} \\ 1, & \alpha_1 \leq \frac{\gamma_{th_1}}{1 + \gamma_{th_1}} \end{cases}
\end{aligned} \tag{15}$$

Trong (15), λ_{SD_2} là tham số đặc trưng của biến ngẫu nhiên $|h_{SD_2}|^2$ có phân bố mũ.

$$\Pr\left(\gamma_{SD_2}^{x_1} \geq \gamma_{th_1}\right) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{\lambda_{SD_2} \gamma_{th_1}}{\frac{P}{N_0}(\alpha_1 - \alpha_2 \gamma_{th_1})}\right), & \alpha_1 > \frac{\gamma_{th_1}}{1 + \gamma_{th_1}} \\ 0, & \alpha_1 \leq \frac{\gamma_{th_1}}{1 + \gamma_{th_1}} \end{cases} \tag{16}$$

$$\begin{aligned}
\Pr(\gamma_{SD_2}^{x_2,1} < \gamma_{th_2}) &= F_{|h_{SD_2}|^2} \left(\frac{\gamma_{th_2}}{\frac{P}{N_0}(\alpha_2 - \alpha_1 \gamma_{th_2})} \right) \\
&= \begin{cases} 1 - \exp \left(-\frac{\lambda_{SD_2} \gamma_{th_2}}{\frac{P}{N_0}(\alpha_2 - \alpha_1 \gamma_{th_2})} \right), & \alpha_2 > \frac{\gamma_{th_2}}{1 + \gamma_{th_2}} \\ 1, & \alpha_2 \leq \frac{\gamma_{th_2}}{1 + \gamma_{th_2}} \end{cases}
\end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned}
\Pr(\gamma_{SD_2}^{x_2,2} < \gamma_{th_2}) &= F_{|h_{SD_2}|^2} \left(\frac{\gamma_{th_2}}{\alpha_2 \frac{P}{N_0}} \right) \\
&= 1 - \exp \left(-\frac{\lambda_{SD_2} \gamma_{th_2}}{\alpha_2 \frac{P}{N_0}} \right)
\end{aligned} \tag{18}$$

Thay (15), (16), (17) và (18) vào (14) ta có:

$$\begin{aligned}
OP_{SD_2}^{x_2} &= 1 - \exp \left(-\frac{\lambda_{SD_2} \gamma_{th_2}}{\frac{P}{N_0}(\alpha_2 - \alpha_1 \gamma_{th_2})} \right) + \exp \left(-\frac{\lambda_{SD_2} [\gamma_{th_1} \alpha_2 (1 - \gamma_{th_2}) - \gamma_{th_2} \alpha_1 (\gamma_{th_1} - 1)]}{\frac{P}{N_0}(\alpha_1 - \alpha_2 \gamma_{th_1})(\alpha_2 - \alpha_1 \gamma_{th_2})} \right) \\
&\quad - \exp \left(-\frac{\lambda_{SD_2} [\alpha_2 \gamma_{th_1} (1 - \gamma_{th_2}) + \gamma_{th_2} \alpha_1]}{\frac{P}{N_0} \alpha_2 (\alpha_1 - \alpha_2 \gamma_{th_1})} \right)
\end{aligned} \tag{19}$$

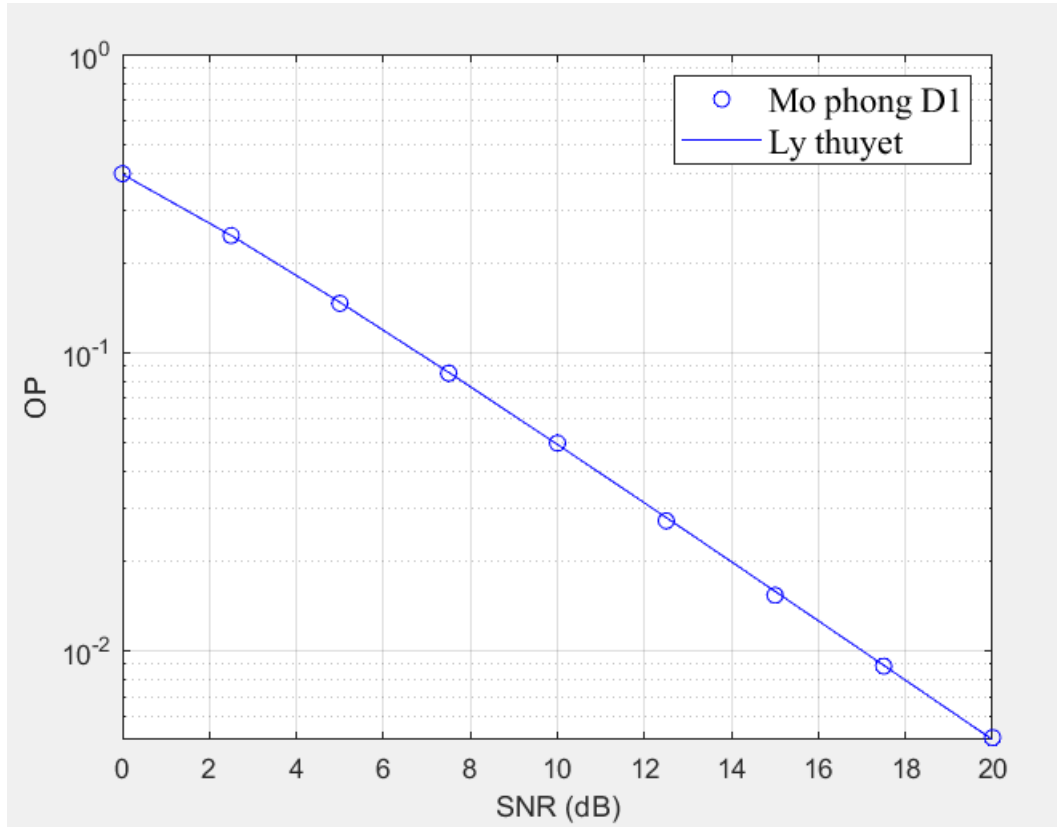
Đối với trường hợp $\gamma_{th_1} = \gamma_{th_2} = \gamma_{th}$, (19) được viết lại như sau:

$$OP_{SD_2}^{x_2} = 1 - \exp\left(-\frac{\lambda_{SD_2}\gamma_{th}}{\frac{P}{N_0}(\alpha_2 - \alpha_1\gamma_{th})}\right) + \exp\left(-\frac{\lambda_{SD_2}[\gamma_{th}(1 - \gamma_{th})]}{\frac{P}{N_0}(\alpha_1 - \alpha_2\gamma_{th})(\alpha_2 - \alpha_1\gamma_{th})}\right) - \exp\left(-\frac{\lambda_{SD_2}[\gamma_{th}(\alpha_2(1 - \gamma_{th}) + \alpha_1)]}{\frac{P}{N_0}\alpha_2(\alpha_1 - \alpha_2\gamma_{th})}\right) \quad (20)$$

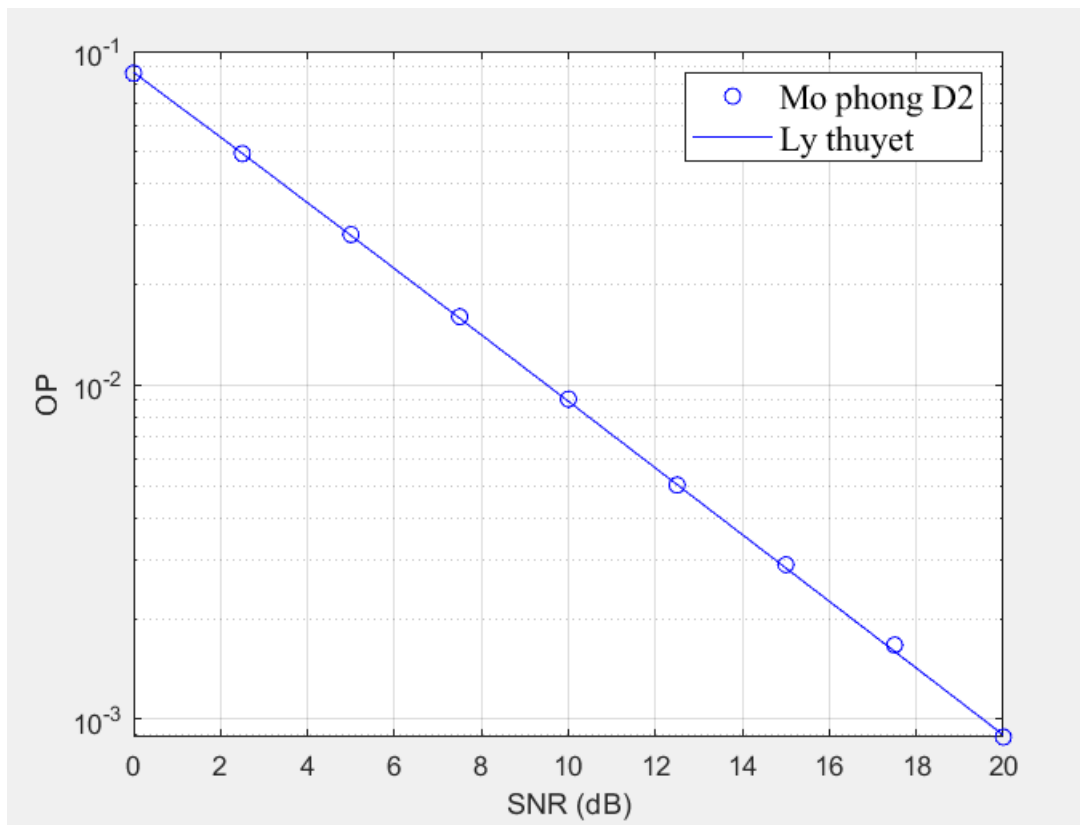
4. Mô phỏng

Sử dụng đồ thị hai chiều Oxy để mô phỏng. Hệ thống gồm 3 nút S, D_1 , D_2 lần lượt với tọa độ như sau: $(0,0)$; (x_{D_1}, x_{D_2}) và $(1,0)$. Giả sử các mức ngưỡng bằng nhau $\gamma_{th_1} = \gamma_{th_2} = \gamma_{th}$, hệ số phân bổ công suất với $\alpha_1 = 0.2$, $\alpha_2 = 1 - \alpha_1$.

Đồ thị mô phỏng xác suất dừng đối với nút đích D_1 và D_2 :



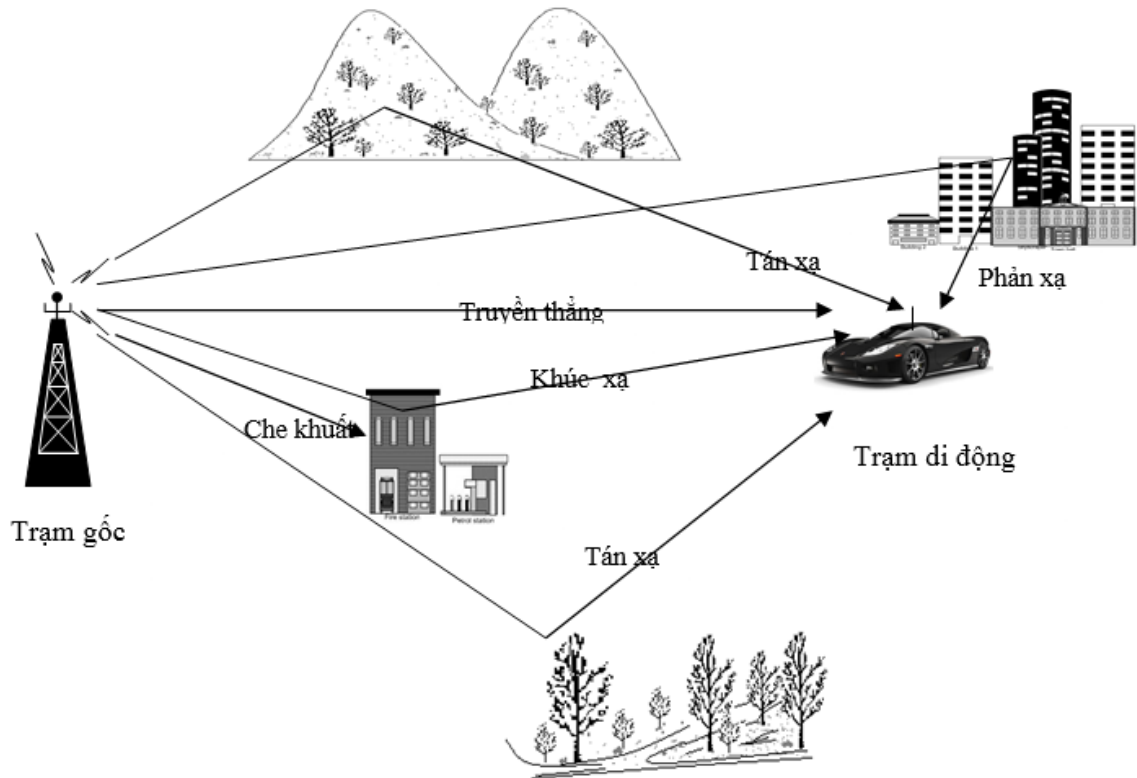
Hình 6: Mô phỏng xác suất dừng tại D_1



Hình 7: Mô phỏng xác suất dừng tại D_2

IV. Các kỹ thuật chuyển tiếp trong hệ thống truyền thông

1. Các hiện tượng truyền sóng vô tuyến

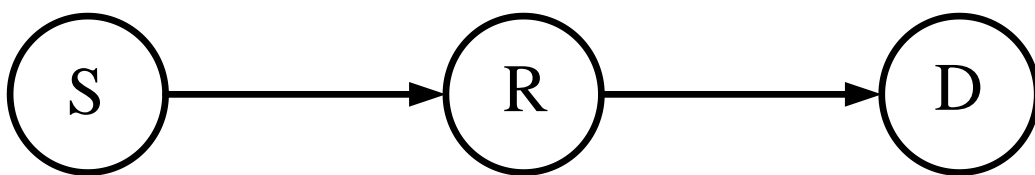


Hình 8: Các hiện tượng truyền sóng vô tuyến

Quá trình truyền sóng vô tuyến trong tự nhiên bị ảnh hưởng bởi các hiện tượng như: ảnh hưởng của suy hao trong không gian tự do; ảnh hưởng bởi hiệu ứng bóng mờ; ngoài ra quá trình truyền sóng cũng bị ảnh hưởng từ các vật thể trong tự nhiên như đồi, núi, cây cối, các tòa nhà, những chiếc xe đang chạy trên đường hoặc sẽ bị ảnh hưởng bởi những sóng vô tuyến khác được truyền đi cùng lúc, hiện tượng xảy ra khi sóng vô tuyến gặp những vật cản hay sóng vô tuyến khác này sẽ gây ra hiện tượng phản xạ, khúc xạ, tán xạ hoặc nhiễu xạ.

Để khắc phục những ảnh hưởng trên, việc sử dụng truyền thông chuyển tiếp trong truyền thông vô tuyến là rất cần thiết.

2. Truyền thông chuyển tiếp

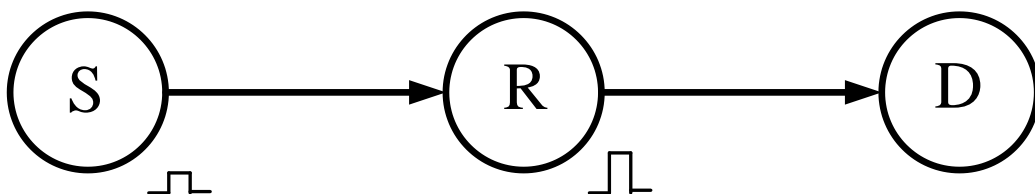


Hình 9: Mô hình chuyển tiếp

Thay vì sử dụng đường truyền trực tiếp truyền tín hiệu từ trạm phát đến trạm thu như trong truyền thông trực tiếp, truyền thông chuyển tiếp sẽ sử dụng thêm một nút chuyển tiếp (relay) vào quá trình truyền sóng. Nút chuyển tiếp là một thành phần rất quan trọng trong một hệ thống truyền thông, nó cho phép các tín hiệu được chuyển tiếp từ một trạm gốc đến một trạm đích thông qua nhiều trạm chuyển tiếp.

Với việc sử dụng nút chuyển tiếp trong quá trình truyền sóng, truyền thông chuyển tiếp giúp mở rộng vùng phủ sóng, nâng cao độ tin cậy và giảm khả năng gây nhiễu giữa các vùng phủ lân cận.

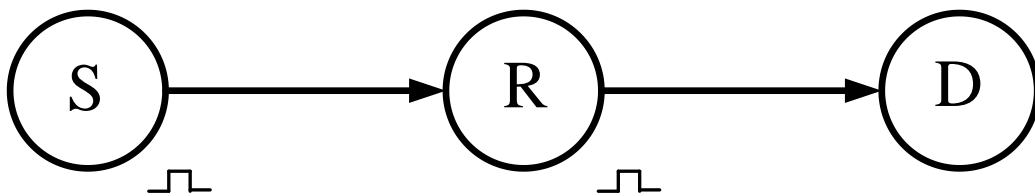
2.1. Kỹ thuật khuếch đại chuyển tiếp



Hình 10: Khuếch đại chuyển tiếp

Trong kỹ thuật khuếch đại chuyển tiếp (Amplify-and-Forward), các trạm chuyển tiếp sẽ nhận tín hiệu và khuếch đại G lần trước khi phát đến trạm kế tiếp mà không quan tâm đến thông tin. Kỹ thuật này đơn giản và dễ triển khai, nhưng yêu cầu nút chuyển tiếp cần phải có nhiều bộ nhớ để lưu trữ các mẫu tín hiệu thu trước khi khuếch đại và chuyển tiếp. [5]

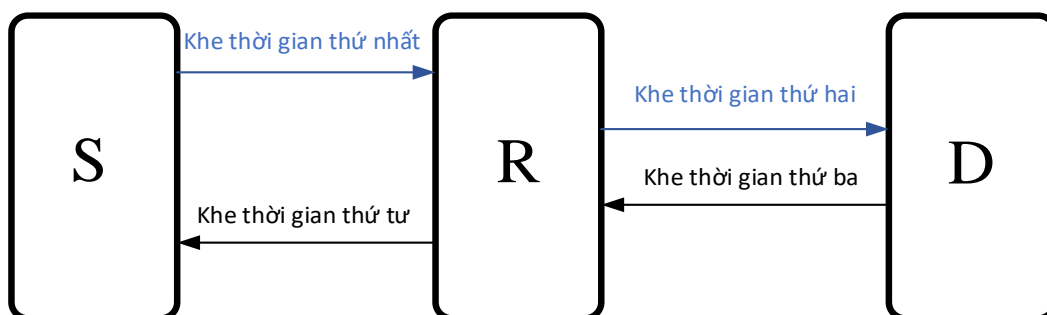
2.2. Kỹ thuật giải mã chuyển tiếp



Hình 11: Giải mã chuyển tiếp

Ngược lại với kỹ thuật khuếch đại chuyển tiếp, đối với kỹ thuật giải mã chuyển tiếp (Decode-and-Forward) thì các trạm thu sẽ giải mã thông tin sau đó mã hóa lại để phát đi. Kỹ thuật này phức tạp hơn so với kỹ thuật khuếch đại chuyển tiếp, nhưng không yêu cầu nút chuyển tiếp phải có nhiều bộ nhớ để lưu trữ các mẫu tín hiệu thu trước khi khuếch đại và chuyển tiếp. [5]

3. Mạng chuyển tiếp một chiều hai chặng



Hình 12: Mạng chuyển tiếp một chiều hai chặng

Mạng chuyển tiếp một chiều hai chặng là một kỹ thuật trong truyền thông vô tuyến, trong đó tín hiệu được truyền từ một trạm gốc đến một trạm đích thông qua một trạm chuyển tiếp. Trong kỹ thuật này, tín hiệu được khuếch đại và chuyển tiếp bởi trạm chuyển tiếp trước khi đến trạm đích. Kỹ thuật này giúp tăng phạm vi phủ sóng của mạng và cải thiện chất lượng tín hiệu.

Trong mạng chuyển tiếp một chiều hai chặng, tín hiệu được truyền qua hai kênh truyền khác nhau, mỗi kênh truyền có một trạm chuyển tiếp. Trạm chuyển tiếp đầu tiên nhận tín hiệu từ trạm gốc, khuếch đại và chuyển tiếp tín hiệu đến trạm chuyển tiếp thứ hai. Trạm chuyển tiếp thứ hai nhận tín hiệu từ trạm chuyển tiếp đầu tiên, khuếch đại và chuyển tiếp tín hiệu đến trạm đích.

4. Mạng chuyển tiếp hai chiều

Mô hình truyền thông hai chiều (Two-way communication) là một mô hình truyền thông trong đó thông tin được truyền qua lại giữa hai bên. Trong mô hình này, mỗi bên đều có thể gửi và nhận thông tin.

V. Lý do chọn đề tài

Trong quá trình truyền tin trong vô tuyến, việc truyền thông tin đi xa sẽ có nhiều cản trở, ảnh hưởng đến tín hiệu, vì vậy cần sử dụng nút chuyển tiếp (Relay) để chuyển tiếp tín hiệu, đảm bảo tín hiệu truyền đi sẽ đến được nút đích. Và gần đây trong [7], mạng NOMA sử dụng kỹ thuật khuếch đại và chuyển tiếp (AF) đã được xem xét. Do đó, đề tài này đề xuất sử dụng kỹ thuật đa truy nhập không trực giao NOMA vào mạng chuyển tiếp hai chặng có nút chuyển tiếp AF để đảm bảo hiệu năng của hệ thống.

Mô hình đề xuất cho cho hệ thống mạng chuyển tiếp hai chặng sử dụng kỹ thuật đa truy nhập không trực giao NOMA gồm một nút nguồn (S), một nút chuyển tiếp (R), hai nút đích (D_1) và (D_2) trong đó nút R sử dụng kỹ thuật khuếch đại chuyển tiếp và NOMA được sử dụng là NOMA đường xuống. Để đánh giá chất lượng của mô hình, đề tài tiến hành phân tích xác suất dừng của hệ thống trên kênh truyền fading Rayleigh. Các kết quả phân tích sẽ kiểm chứng bằng mô phỏng Monte Carlo.

Bài báo cáo đề tài bao gồm 3 chương:

Chương 1: Tổng quan

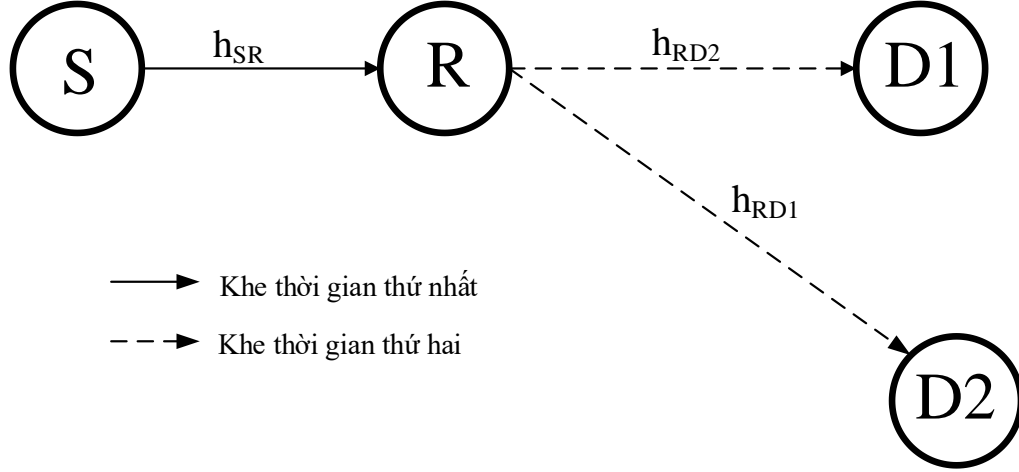
Chương 2: Phân tích hiệu năng hệ thống

Chương 3: Mô phỏng kết quả

Chương 4: Kết luận và hướng phát triển đề tài

CHƯƠNG 2: PHÂN TÍCH HIỆU NĂNG HỆ THỐNG

1. Mô hình hệ thống



Hình 13: Mô hình mạng chuyển tiếp hai chặng sử dụng NOMA

Mô hình gồm một nút nguồn (S), một nút chuyển tiếp (R), hai nút đích (D_1) và (D_2); mô hình sử dụng kỹ thuật khuếch đại chuyển tiếp. Giả sử tất cả các kênh truyền trong hệ thống là kênh fading Rayleigh. Đặt h_{SR} , h_{RD_1} và h_{RD_2} lần lượt là hệ số kênh truyền từ $S \rightarrow R$, từ $R \rightarrow D_1$ và. Độ lợi kênh truyền $|h_{SR}|^2$, $|h_{RD_1}|^2$ và $|h_{RD_2}|^2$ có hàm mũ với các thông số lần lượt $\frac{1}{\sigma_{SR}^2}$, $\frac{1}{\sigma_{RD_1}^2}$ và $\frac{1}{\sigma_{RD_2}^2}$. Nhiễu cộng hay nhiễu Gauss tại R có giá trị trung bình bằng 0 và phương sai N_0 .

Quá trình truyền tín hiệu diễn ra ở hai khe thời gian:

- **Trong khe thời gian thứ nhất:**

Nút S truyền tín hiệu đi là $x = x_1 + x_2$. Theo mô hình NOMA, x_1 và x_2 lần lượt là tín hiệu của D_1 và D_2 . Với $E\{|x_1|^2\} = P_1$ và $E\{|x_2|^2\} = P_2$, thiết lập $P_1 < P_2$ và tổng công suất phát của nút S là $P_S = P_1 + P_2$. Gọi y_{SR} là tín hiệu nhận được tại R cho bởi công thức sau:

$$y_{SR} = h_{SR}x + n_{SR} \quad (21)$$

trong đó n_{SR} là nhiễu công hay nhiễu Gauss tại R.

- **Giả sử D_1 gần hơn so với D_2 , trong khe thời gian thứ hai:**

Nút R khuếch đại tín hiệu nhận được và gửi đến hai đích D_1 và D_2 với hệ số khuếch đại $\rho = \sqrt{\frac{P_R}{P_S |h_{SR}|^2 + n_0}}$, ở đây P_R là công suất phát của R. Do đó tín hiệu nhận được tại D_1 và D_2 lần lượt là y_{SRD_1} và y_{SRD_2} được cho bởi:

$$y_{SRD_1} = h_{SRD_1}x_R + n_{SRD_1} \quad (22)$$

$$y_{SRD_2} = h_{SRD_2}x_R + n_{SRD_2} \quad (23)$$

với $x_R = \rho y_R$, $h_{SRD_1} = \rho h_{RD_1} h_{SR}$ và $n_{SRD_1} = \rho h_{RD_1} n_{SR} + n_{RD_1}$ công thức (22) được giải thích như sau:

$$\begin{aligned} y_{SRD_1} &= x_R h_{RD_1} + n_{RD_1} \\ &= \rho y_{SR} h_{RD_1} + n_{RD_1} \\ &= \rho (h_{SR}x + n_{SR}) h_{RD_1} + n_{RD_1} \\ &= (\rho h_{SR}x + \rho n_{SR}) h_{RD_1} + n_{RD_1} \\ &= (\rho h_{SR} h_{RD_1} x) + \rho n_{SR} h_{RD_1} + n_{RD_1} \\ &= h_{SRD_1}x + n_{SRD_1} \end{aligned} \quad (24)$$

Giải thích tương tự cho công thức (23).

2. Tỷ số tín hiệu trên nhiễu

- **Tại D_1 :**

Sử dụng SIC, lúc này $\gamma_{SRD_{12}}$ là tỷ số tín hiệu trên nhiễu của tín hiệu D_2 tại D_1 :

$$\gamma_{SRD_{12}} = \frac{P_2 \rho^2 |h_{SR}|^2 |h_{RD_1}|^2}{P_1 \rho^2 |h_{SR}|^2 |h_{RD_1}|^2 + \rho^2 |h_{RD_1}|^2 N_0 + N_0} \quad (25)$$

Tỷ số tín hiệu trên nhiễu tại nút D_1 được biểu diễn như sau:

$$\gamma_{SRD_1} = \frac{P_1 \rho^2 |h_{SR}|^2 |h_{RD_1}|^2}{\rho^2 |h_{RD_1}|^2 N_0 + N_0} \quad (26)$$

- **Tại D_2 :**

Từ (23) tỷ số tín hiệu trên nhiễu tại D_2 được biểu diễn như sau:

$$\gamma_{SRD_2} = \frac{P_2 |h_{RD_2}|^2 |h_{SR}|^2 \rho^2}{P_1 |h_{RD_2}|^2 |h_{SR}|^2 \rho^2 + \rho^2 |h_{RD_2}|^2 N_0 + N_0} \quad (27)$$

3. Phân tích hiệu năng

Xác suất dừng (OP) được định nghĩa như xác suất mà tỷ số tín hiệu trên nhiễu của toàn bộ hệ thống thấp hơn một ngưỡng cho phép. Về mặt toán học, xác suất dừng của mô hình đề xuất được ra như sau:

$$OP = \Pr(\gamma_{SRD_1} < \gamma_{th_1} \cup \gamma_{SRD_2} < \gamma_{th_2}) \quad (28)$$

Trong (28), $\gamma_{th_i} = 2^{2R_i-1}$ là ngưỡng dừng của D_i , với $i = (1, 2)$, trong đó R_i là tốc độ truyền mong muốn của D_i .

Theo định nghĩa xác suất của hai biến ngẫu nhiên phụ thuộc lẫn nhau là γ_{SRD_1} và γ_{SRD_2} , biểu thức (28) được viết lại như sau:

$$\begin{aligned} OP &= \Pr(\gamma_{SRD_1} < \gamma_{th_1} \cup \gamma_{SRD_2} < \gamma_{th_2}) \\ &= \Pr(\gamma_{SRD_1} < \gamma_{th_1}) + \Pr(\gamma_{SRD_2} < \gamma_{th_2}) - \Pr(\gamma_{SRD_1} < \gamma_{th_1}) \Pr(\gamma_{SRD_2} < \gamma_{th_2}) \end{aligned} \quad (29)$$

Ta có hàm CDF của γ_{SRD_1} theo tín hiệu x_I là:

$$F_{\gamma_{SRD_1}}(\gamma_{th_1}) = \Pr(\gamma_{SRD_1} < \gamma_{th_1}) \quad (30)$$

Khi giá trị công suất đủ lớn, ta có thể xấp xỉ $\rho \approx \sqrt{\frac{P_R}{P_S |h_{SR}|^2}}$, từ đó γ_{SRD_1} được xấp xỉ như sau:

$$\begin{aligned}\gamma_{SRD_1} &= \frac{P_1 \rho^2 |h_{SR}|^2 |h_{RD_1}|^2}{\rho^2 |h_{RD_1}|^2 N_0 + N_0} \\ &\approx \frac{\lambda_1 \gamma_{SR} \gamma_{RD_1}}{\gamma_{SR} + \gamma_{RD_1}}\end{aligned}\quad (31)$$

Với:

$$\lambda_1 = \frac{P_1}{P_S} \quad (32)$$

$$\gamma_{SR} = \frac{P_S |h_{SR}|^2}{N_0} \quad (33)$$

$$\gamma_{RD_1} = \frac{P_R |h_{RD_1}|^2}{N_0} \quad (34)$$

Thế biểu thức (33) và (34) vào (31) và áp dụng công thức trong sách “Table of integrals, series, and products,” 2007 của I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, ở mục (3.324 -1), ta có kết quả như sau:

$$\begin{aligned}F_{\gamma_{SRD_1}}(\gamma_{th_1}) &= \Pr(\gamma_{SRD_1} < \gamma_{th_1}) \\ &= 1 - \exp(-X(\omega_{RS} + \omega_{RD_1})) 2X \sqrt{\omega_{RS} \omega_{RD_1}} K_1(\omega_{RS} \omega_{RD_1})\end{aligned}\quad (35)$$

trong đó $K_1(\cdot)$ là hàm Bessel biến đổi loại 2, bậc 1. Hơn nữa, trong (35), các ký hiệu

được định nghĩa như sau: $X = \frac{\gamma_{th_1}}{\lambda_1}$, $\omega_{SR} = \frac{N_0}{\sigma_{SR}^2 P_S}$, $\omega_{RD_1} = \frac{N_0}{\lambda \sigma_{RD_1}^2 P_S}$, và $\lambda = \frac{P_R}{P_S}$.

Tiếp tục sử dụng các ký hiệu sau:

$$\delta_1 = X(\omega_{SR} + \omega_{RD_1}) \quad (36)$$

$$\mu_1 = 2X(\omega_{SR} \omega_{RD_1}) \quad (37)$$

Thay (36) và (37) vào (35), ta được:

$$F_{\gamma_{SRD_1}}(\gamma_{th_1}) = 1 - \exp(-\delta_1) \mu_1 K_1(\mu_1) \quad (38)$$

Tương tự, xấp xỉ $\rho \approx \sqrt{\frac{P_R}{P_S |h_{SR}|^2}}$, biểu thức (27) được viết lại như sau:

$$\gamma_{SRD_2} = \frac{\lambda P_2 |h_{RD_2}|^2 |h_{SR}|^2}{\lambda P_1 |h_{RD_2}|^2 |h_{SR}|^2 + \lambda |h_{RD_2}|^2 N_0 + |h_{SR}|^2 N_0} \quad (39)$$

với $\gamma_{SR} = \frac{P_S |h_{SR}|^2}{N_0}$ và $\gamma_{RD_2} = \frac{P_R |h_{RD_2}|^2}{N_0}$.

Áp dụng công thức trong sách “Table of integrals, series, and products,” 2007 của I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, ở mục (3.324 -1), ta có kết quả sau:

$$\begin{aligned} F_{\gamma_{SRD_2}}(\gamma_{th_2}) &= \Pr(\gamma_{SRD_2} < \gamma_{th_2}) \\ &= 1 - \exp(-\delta_2) \mu_2 K_1(\mu_2) \end{aligned} \quad (40)$$

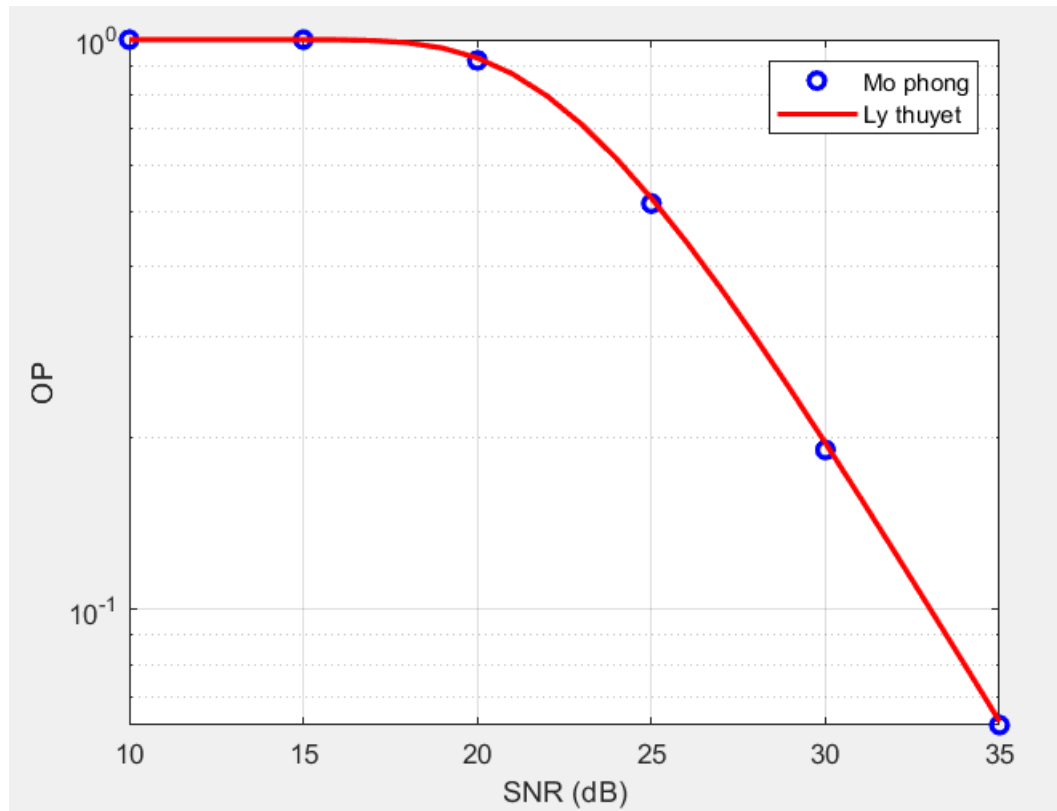
với $\mu_2 = 2 \frac{\theta_R}{\sqrt{\sigma_{SR}^2 \sigma_{RD_2}^2} \lambda}$, $\delta_2 = \theta_R \left(\frac{1}{\sigma_{SR}^2} + \frac{1}{\lambda \sigma_{RD_2}^2} \right)$, và $\theta_R = \frac{\gamma_{th_2} N_0}{(1 - \lambda_1 (1 + \gamma_{th_2})) P_S}$

Thay (38) và (40) vào (29) ta được xác suất dừng của hệ thống là:

$$\begin{aligned} OP &= \Pr(\gamma_{SRD_1} < \gamma_{th_1} \cup \gamma_{SRD_2} < \gamma_{th_2}) \\ &= \Pr(\gamma_{SRD_1} < \gamma_{th_1}) + \Pr(\gamma_{SRD_2} < \gamma_{th_2}) - \Pr(\gamma_{SRD_1} < \gamma_{th_1}) \Pr(\gamma_{SRD_2} < \gamma_{th_2}) \\ &= 1 - \mu_1 \mu_2 K_1(\mu_1) K_1(\mu_2) \exp(-\delta_1 - \delta_2) \end{aligned} \quad (41)$$

CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG KẾT QUẢ

Sử dụng phương pháp Monte Carlo trên phần mềm Matlab cho mô hình đề xuất để kiểm chứng lại các kết quả đã được trình bày ở phần trước. Khoảng cách giữa nút R và nút D_1 và D_2 là không thay đổi trong suốt quá trình mô phỏng này. Tương tự như các thông số trong ở trên, độ lợi kênh truyền trung bình được tính theo mô hình suy hao trong không gian tự do và theo phương sai của kênh truyền là $\sigma^2 = (d_i / d_0)^{-\alpha}$, với $d_0 = 20$ m, $\alpha = 2$ là hệ số suy hao đường truyền và d_i là khoảng cách giữa hai nút trong mô hình đề xuất. Thiết lập công suất của nhiễu là $N_0 = 1$, tỷ số công suất truyền là $\lambda = 0.3$ và $\lambda_1 = 0.2$ tốc độ truyền dữ liệu $R = 0,1$ và công suất phát (P_S) thay đổi từ 10 dB đến 35 dB. Khoảng cách từ $S \rightarrow R$ và $R \rightarrow D_1$ lần lượt là $d_{SR} = 30$ m và $d_{RD_1} = 30$ m.

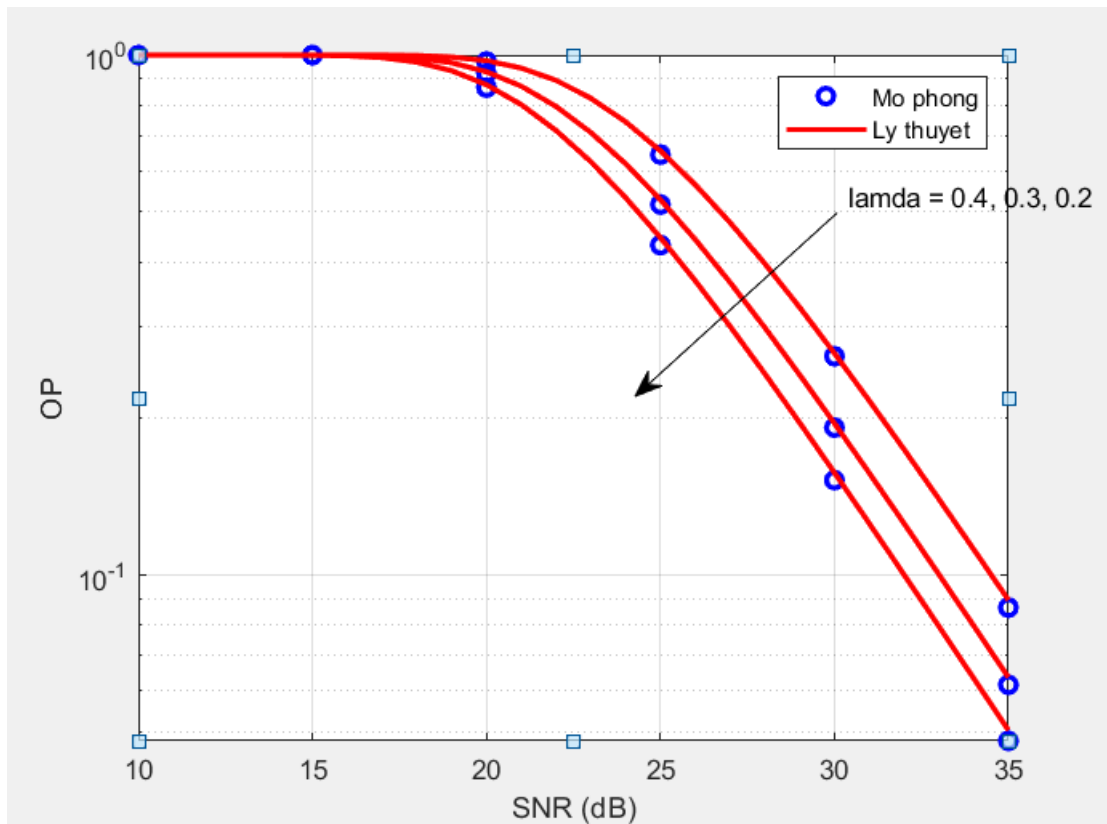


Hình 14: Xác suất dừng hệ thống

Trong Hình 14, xác suất dừng của hệ thống theo tỷ số tín hiệu trên nhiễu với khoảng cách từ nút nguồn đến nút chuyển tiếp là 30m, khoảng cách từ nút chuyển tiếp đến hai nút đích D_1 và D_2 lần lượt là 30m và 45m. Cuối cùng, nhìn vào hình vẽ, các

giá trị Mô phỏng và Lý thuyết là trùng khớp, điều này chứng minh các phân tích lý thuyết là chính xác.

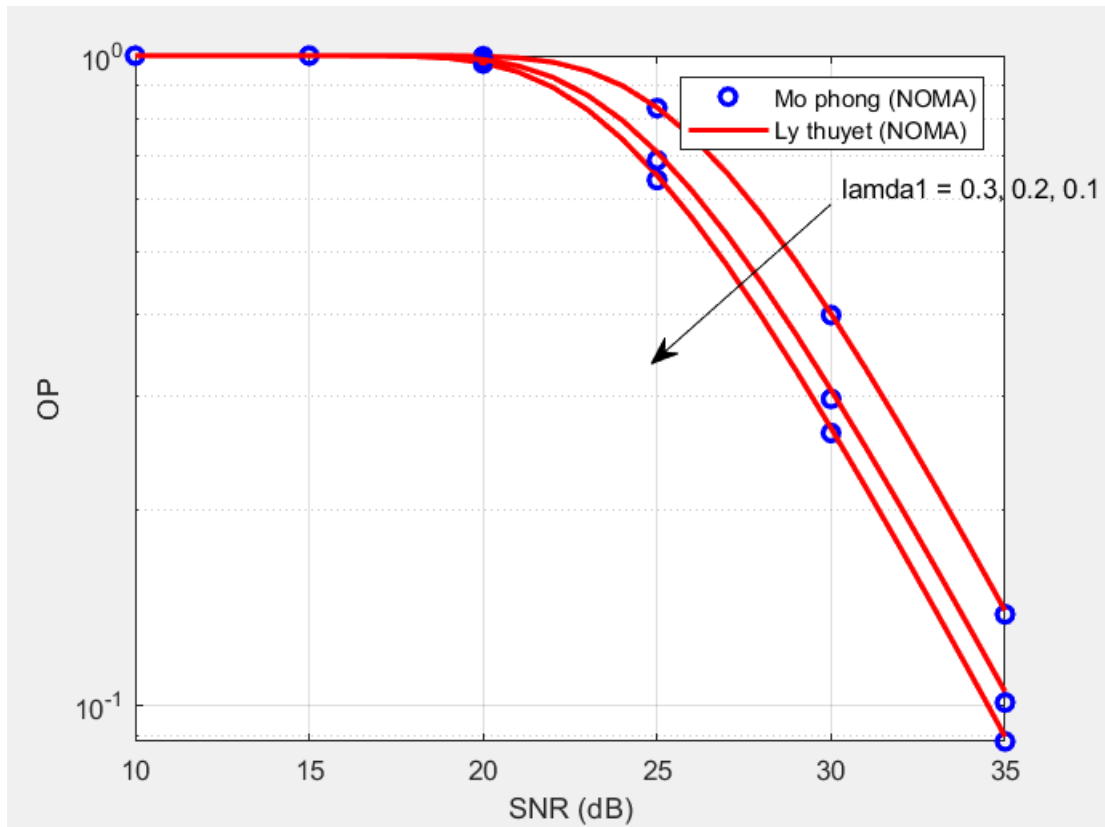
- Thay đổi tỷ số công suất truyền: $\lambda = 0.2$, $\lambda = 0.3$ và $\lambda = 0.4$



Hình 15: Xác suất dừng hệ thống khi thay đổi λ

Trong Hình 15, xác suất dừng của hệ thống thay đổi khi λ thay đổi. Cụ thể, khi tăng từ 0.2 lên 0.3 và 0.4 thì xác suất dừng của hệ thống cũng tăng theo. Mà $\lambda = \frac{P_R}{P_S}$, từ đó cho thấy, xác suất dừng của hệ thống phụ thuộc vào sự thay đổi công suất tín hiệu của nút nguồn và nút chuyển tiếp.

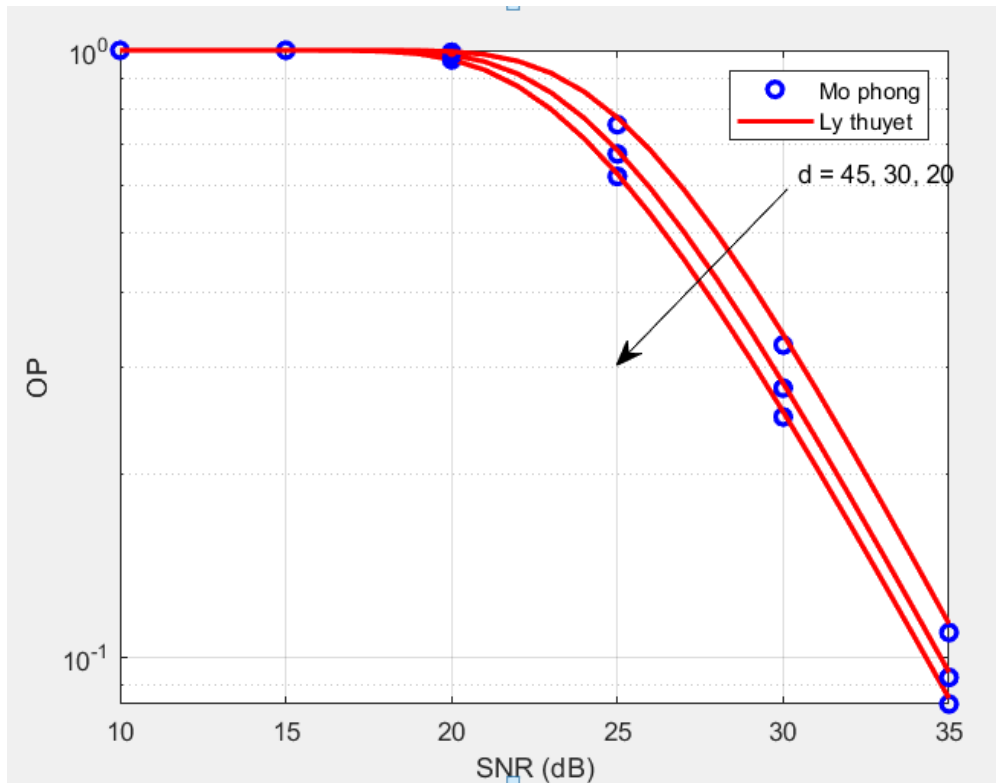
- Thay đổi tỷ số công suất truyền: $\lambda_1 = 0.1$, $\lambda_1 = 0.2$, và $\lambda_1 = 0.3$



Hình 16: Xác suất dừng hệ thống khi thay đổi λ_1

Trong Hình 16, xác suất dừng của hệ thống thay đổi khi λ_1 thay đổi. Cụ thể, khi tăng từ 0.1 lên 0.2 và 0.3 thì xác suất dừng của hệ thống cũng tăng theo. Mà $\lambda_1 = \frac{P_1}{P_s}$, từ đó cho thấy, xác suất dừng của hệ thống phụ thuộc vào sự thay đổi công suất tín hiệu của nút chuyển tiếp và nút đích D_1 .

- Thay đổi khoảng cách giữa hai nút S và R: $d_{SR} = 20$ m, $d_{SR} = 30$ m, $d_{SR} = 45$ m



Hình 17: Xác suất dừng hệ thống khi thay đổi khoảng cách giữa S và R

Hình 17 nghiên cứu sự ảnh hưởng của vị trí các nút chuyển tiếp R lên hiệu năng của hệ thống. Ta quan sát trên hình vẽ rằng giá trị của xác suất dừng biến thiên theo vị trí của các nút chuyển tiếp. Cụ thể, khi nút chuyển tiếp ở vị trí cách nút nguồn 20m thì xác suất dừng là nhỏ nhất. Tiếp theo, ta tăng khoảng cách lên 30m và 45m thì xác suất dừng hệ thống tăng theo.

CHƯƠNG 4: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐỀ TÀI

I. Kết luận

Trong đề tài này đã hoàn thành các mục tiêu đề ra, cụ thể:

- Tìm hiểu các kỹ thuật chuyển tiếp.
- Nghiên cứu kỹ thuật đa truy nhập không trực giao NOMA.
- Sử dụng nút chuyển tiếp để nâng cao hiệu năng của hệ thống vô tuyến.
- Đưa ra các biểu thức toán học để phân tích và đánh giá các thông số hiệu năng của hệ thống như xác suất dừng.
- Tiến hành các mô phỏng để kiểm chứng tính chính xác của các biểu thức toán học.
- Mô hình nút mạng chuyển tiếp sử dụng kỹ thuật NOMA giúp nâng cao hiệu năng của hệ thống. Các công thức tính toán xác suất dừng được đánh giá bằng các công cụ toán học và được mô phỏng bằng công cụ Monte-Carlo.

II. Hướng phát triển đề tài

Đề tài có thể được phát triển theo các hướng sau:

- Mô hình đề xuất có thể được phát triển theo hướng NOMA đường lên (uplink).
- Mô hình đề xuất có thể được phát triển trên mô hình tổng quát hơn, chẳng hạn như kênh truyền Nakagami-m.
- Hệ thống đã đề xuất có thể được phát triển với nhiều người dùng hơn.
- Mô hình đề xuất có thể được phát triển với các nút mạng được trang bị nhiều ăng-ten hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. Tabassum, M. S. Ali, E. Hossain, M. J. Hossain, and D. I. Kim, "Uplink vs. downlink NOMA in cellular networks: Challenges and research directions," in *2017 IEEE 85th vehicular technology conference (VTC Spring)*, 2017, pp. 1-7: IEEE.
- [2] A. Benjebbour, K. Saito, A. Li, Y. Kishiyama, and T. Nakamura, "Non-orthogonal multiple access (NOMA): Concept, performance evaluation and experimental trials," in *2015 International conference on wireless networks and mobile communications (WINCOM)*, 2015, pp. 1-6: IEEE.
- [3] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access," in *2013 IEEE 77th vehicular technology conference (VTC Spring)*, 2013, pp. 1-5: IEEE.
- [4] B. U. Rehman *et al.*, "Uplink power control scheme for spectral efficiency maximization in NOMA systems," vol. 64, pp. 667-677, 2023.
- [5] N. V. CHÍNH, "VỀ TRUYỀN THÔNG KẾT HỢP TRONG MÔI TRƯỜNG VÔ TUYẾN NHẬN THỨC: CẢI THIẾN VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG THỨ CẤP."
- [6] A. Benjebbour, Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Li, A. Harada, and T. Nakamura, "Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access," in *2013 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems*, 2013, pp. 770-774: IEEE.
- [7] X. Liang, Y. Wu, D. W. K. Ng, Y. Zuo, S. Jin, and H. J. I. C. L. Zhu, "Outage performance for cooperative NOMA transmission with an AF relay," vol. 21, no. 11, pp. 2428-2431, 2017.