

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH**

**KHOA ĐIỆN - ĐIỆN TỬ**

**BỘ MÔN KỸ THUẬT MÁY TÍNH – VIỄN THÔNG**



**HCMUTE**

**BÁO CÁO ĐỒ ÁN 2**

**ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG DỪNG CỦA  
HỆ THỐNG NOMA DỰA TRÊN  
MẠNG CHUYỂN TIẾP LAI GHÉP  
DF VỆ TINH – MẶT ĐẤT ĐA ANTEN**

Sinh viên: **HOÀNG NGỌC VĨNH PHÚC**

MSSV: 19161150

**NGUYỄN PHÚC HÒA BÌNH**

MSSV: 19161081

Hướng dẫn: **PSG.TS. PHẠM NGỌC SƠN**

TP. Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2023

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH**

**KHOA ĐIỆN - ĐIỆN TỬ**

**BỘ MÔN KỸ THUẬT MÁY TÍNH – VIỄN THÔNG**



**HCMUTE**

**BÁO CÁO ĐỒ ÁN 2**

**ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG DỪNG CỦA  
HỆ THỐNG NOMA DỰA TRÊN  
MẠNG CHUYỂN TIẾP LAI GHÉP  
DF VỆ TINH – MẶT ĐẤT ĐA ANTEN**

Sinh viên: **HOÀNG NGỌC VĨNH PHÚC**

MSSV: 19161150

**NGUYỄN PHÚC HÒA BÌNH**

MSSV: 19161081

Hướng dẫn: **PSG.TS. PHẠM NGỌC SƠN**

TP. Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2023

## LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành đến PSG.TS. Phạm Ngọc Sơn đã luôn quan tâm, tận tình hướng dẫn, nhắc nhở để tránh những sai sót trong suốt quá trình thực hiện đề tài.

Tuy nhiên trong quá trình thực hiện đồ án, do kiến thức còn hạn chế nên nhóm vẫn còn nhiều sai sót trong quá trình tìm hiểu, phân tích và hoàn thiện báo cáo. Rất mong nhận được nhận xét, ý kiến đóng góp, phê bình từ giáo viên hướng dẫn để chúng tôi cải thiện bài báo cáo, cũng là kinh nghiệm để cho chúng tôi hoàn thiện bản thân hơn trong học tập và công việc.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn!

TP. Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2023

Nhóm thực hiện đề tài

Hoàng Ngọc Vĩnh Phúc

Nguyễn Phúc Hòa Bình

## TÓM TẮT

Trong đề tài này, nhóm chúng tôi tìm hiểu về mạng truyền thông lai ghép vệ tinh-mặt đất mới dựa trên NOMA, tập trung vào mạng lai ghép vệ tinh – mặt đất, trong đó một người dùng có thể nhận tín hiệu trực tiếp từ vệ tinh trong khi người dùng còn lại chỉ có thể nhận tín hiệu mong muốn thông qua một bộ giải mã và chuyển tiếp (DF) đa anten. Ở đây, chúng tôi đánh giá hiệu năng dừng của hệ thống theo hệ số ràng buộc can nhiễu, công suất tối đa tại trạm phát và khoảng cách từ người dùng có liên kết trực tiếp với vệ tinh khi có sự thay đổi. Kết quả được cung cấp để xác nhận các phân tích, làm rõ ảnh hưởng của các tham số chính lên hiệu năng hệ thống.

# MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH.....	vii
DANH MỤC BẢNG.....	viii
DANH SÁCH CÁC TỪ VIẾT TẮT .....	ix
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN.....	1
1.1. LÝ DO CHỌN ĐỀ TÀI.....	1
1.2. MỤC TIÊU .....	1
1.3. GIỚI HẠN ĐỀ TÀI.....	2
1.4. BỐ CỤC QUYỀN BÁO CÁO .....	2
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT .....	3
2.1. NOMA.....	3
2.1.1. Tổng quan .....	3
2.1.2. Đặc điểm .....	3
2.1.3. Phân loại .....	4
2.2. MẠNG VỆ TINH.....	6
2.2.1. Tổng quan .....	6
2.2.2. Đặc điểm .....	6
2.2.3. Quỹ đạo hoạt động.....	7
2.2.4. Cấu tạo .....	8
2.2.5. Ứng dụng .....	9
2.3. MẠNG MẶT ĐẤT .....	10
2.3.1. Tổng quan .....	10
2.3.2. Đặc điểm .....	10
2.3.3. Nguyên lý hoạt động .....	11
2.3.4. Ứng dụng .....	12
2.4. MẠNG CHUYỂN TIẾP LAI GHÉP VỆ TINH – MẶT ĐẤT .....	12

2.4.1. Tổng quan .....	12
2.4.2. Đặc điểm .....	13
2.4.3. Ứng dụng .....	14
2.5. TRUYỀN THÔNG HỢP TÁC .....	14
2.5.1. Tổng quan .....	14
2.5.2. Ứng dụng .....	17
2.5.3. Truyền thông hợp tác NOMA.....	17
CHƯƠNG 3. MÔ HÌNH HỆ THỐNG VÀ MÔ HÌNH KÊNH.....	20
3.1. MÔ HÌNH HỆ THỐNG.....	20
3.1.1. Giai đoạn phát sóng .....	20
3.1.2. Giai đoạn chuyển tiếp.....	22
3.2. MÔ HÌNH KÊNH.....	26
CHƯƠNG 4. PHÂN TÍCH XÁC SUẤT DỪNG .....	28
4.1. ĐẶC TRƯNG THỐNG KÊ.....	28
4.2. XÁC SUẤT DỪNG.....	29
4.2.1. Xác suất dừng của $D_1$ .....	29
4.2.2. Xác suất dừng của $D_2$ .....	31
4.3. PHÂN TÍCH CẤP ĐỘ PHÂN TẬP.....	32
CHƯƠNG 5. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ .....	33
5.1. LƯU ĐỒ GIẢI THUẬT.....	33
5.2. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG .....	40
CHƯƠNG 6. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN .....	45
6.1. KẾT LUẬN .....	45
6.2. HƯỚNG PHÁT TRIỂN.....	45
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	46

## DANH MỤC HÌNH

<b>Hình 2.1.</b> Phạm vi quỹ đạo vệ tinh.....	8
<b>Hình 2.2.</b> Mô hình mạng vệ tinh đơn giản.....	9
<b>Hình 2.3.</b> Mô hình truyền thông hợp tác.....	15
<b>Hình 2.4.</b> Mô hình khuếch đại và chuyển tiếp.....	16
<b>Hình 2.5.</b> Mô hình giải mã và chuyển tiếp.....	16
<b>Hình 3.1.</b> Mô hình đường truyền xuống của hệ thống HSTRN.....	20
<b>Hình 5.1.</b> Lưu đồ chương trình mô phỏng và phân tích xác suất dừng theo hệ số can nhiễu ràng buộc $Q_{dB}$ .....	33
<b>Hình 5.2.</b> Lưu đồ giải thuật mô tả hàm $OP\_SM\_1$ .....	35
<b>Hình 5.3.</b> Lưu đồ giải thuật mô tả hàm $OP\_AN$ .....	36
<b>Hình 5.4.</b> Lưu đồ chương trình mô phỏng và phân tích OP theo công suất phát tối đa tại trạm phát gốc $Pt_{dB}$ .....	38
<b>Hình 5.5.</b> Lưu đồ chương trình mô phỏng và phân tích OP theo khoảng cách $SD_1$ từ nguồn $S$ đến người dùng $D_1$ .....	39
<b>Hình 5.6.</b> Kết quả mô phỏng và phân tích xác suất dừng theo hệ số ràng buộc can nhiễu $Q_{dB}$ .....	40
<b>Hình 5.7.</b> Kết quả mô phỏng và phân tích xác suất dừng của hệ thống khi công suất phát tối đa khả dụng tại trạm gốc có sự thay đổi.....	42
<b>Hình 5.8.</b> Kết quả mô phỏng và phân tích xác suất dừng của hệ thống theo $SD_1$ ....	43

## DANH MỤC BẢNG

<b>Bảng 5.1.</b> Bảng giá trị xác suất dừng theo hệ số ràng buộc can nhiễu $Q_{dB}$ .....	41
<b>Bảng 5.2.</b> Bảng giá trị xác suất dừng theo công suất phát tối đa tại trạm gốc $P_{t_{dB}}$ ..	42
<b>Bảng 5.3.</b> Bảng giá trị xác suất dừng của hệ thống khi $SD_1$ thay đổi .....	44



## DANH SÁCH CÁC TỪ VIẾT TẮT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
5G	Fifth Generation	Thế hệ thứ năm
AF	Amplify-and-Forward	Khuếch đại và chuyển tiếp
AWGN	Additive White Gaussian Noise	Nhiều Gaussian trắng cộng
CDF	Cumulative Density Function	Hàm mật độ tích lũy
CDMA	Code Division Multiple Access	Đa truy cập phân chia theo mã
DF	Decode-and-Forward	Giải mã và chuyển tiếp
GEO	Geosynchronous Earth Orbit	Quỹ đạo trái đất địa tĩnh
HSTRN	Hybrid Satellite-Terrestrial Relay Networks	Mạng chuyển tiếp lai ghép vệ tinh – mặt đất
IoT	Internet of Things	Internet vạn vật
LEO	Low Earth Orbit	Quỹ đạo trái đất thấp
LoS	Line-on-Sight	Đường truyền trực tiếp
MEO	Medium Earth Orbit	Quỹ đạo trái đất trung bình
MIMO	Multiple Input Multiple Output	Hệ thống đa anten phát đa anten thu
MRC	Maximum Ratio Combining	Tỷ lệ kết hợp tối đa
MRT	Maximum Ratio Transmission	Tỷ lệ truyền tối đa
NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access	Đa truy cập phi trực giao
OMA	Orthogonal Multiple Access	Đa truy cập trực giao
OP	Outage Probability	Xác suất dừng
PDF	Probability Distribution Function	Hàm phân phối xác suất
SCMA	Sparse Code Multiple Access	Đa truy cập mã thưa
SIC	Successive Interference Cancellation	Kỹ thuật triệt can nhiễu liên tiếp
SINR	Signal-to-Interference-Plus-Noise Ratio	Tỷ lệ tín hiệu cực đại trên nhiễu
SNR	Signal-to-Noise Ratio	Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu
TDMA	Time Division Multiple Access	Đa truy cập phân chia thời gian

## CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

### 1.1. LÝ DO CHỌN ĐỀ TÀI

Trong thời đại thế giới ngày càng kỹ thuật số hóa, công nghệ thông tin và truyền thông ngày càng phát triển mạnh, việc cung cấp kết nối mạng không dây đáng tin cậy và hiệu quả là một yêu cầu không thể thiếu. Trong bối cảnh này, việc nghiên cứu về mạng truyền thông NOMA trở nên thực sự cần thiết, mở rộng hiểu biết về cách tối ưu hóa hiệu suất của các hệ thống truyền thông không dây hiện đại. Điều này có thể dẫn đến những cải tiến đáng kể trong việc cung cấp dịch vụ không dây đáng tin cậy và hiệu quả cho người dùng cuối.

Bên cạnh đó, được xem là một trong những kỹ thuật truyền thông không dây tiên tiến nhất, NOMA có khả năng cung cấp hiệu suất cao hơn so với các kỹ thuật không dây truyền thống. Tuy nhiên, hiệu năng của NOMA còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau mà một phần trong đó là mạng chuyển tiếp lai ghép giải mã và chuyển tiếp (DF) vệ tinh – mặt đất đa anten. Việc đánh giá xác suất dừng của hệ thống NOMA trong môi trường này không chỉ giúp hiểu rõ hơn về cách thức hoạt động và hiệu năng của mạng NOMA mà còn đóng góp vào việc nghiên cứu và phát triển các giải pháp tối ưu hóa cho hiệu năng của hệ thống truyền thông không dây trong tương lai. Chính vì vậy, nhóm đã quyết định tìm hiểu, nghiên cứu về đề tài “*Đánh giá hiệu năng dừng của hệ thống NOMA dựa trên mạng chuyển tiếp lai ghép DF vệ tinh – mặt đất đa anten*”.

### 1.2. MỤC TIÊU

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là mô phỏng và phân tích xác suất dừng trong mạng truyền thông lai ghép vệ tinh – mặt đất dựa trên NOMA với mô hình một vệ tinh, hai người dùng và một relay. Điều này bao gồm việc xác định các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất mất kết nối và cách các yếu tố này tương tác với nhau, cũng như là tương tác với hệ thống.

### 1.3. GIỚI HẠN ĐỀ TÀI

Hệ thống sử dụng mạng lai ghép vệ tinh – mặt đất, gồm một nguồn – vệ tinh  $S$ , một người dùng có liên kết trực tiếp  $D_1$ , một người dùng được relay hỗ trợ  $D_2$ , một relay DF bán song công mặt đất chuyên dụng  $R$  với  $N_R$  anten thu và  $N_T$  anten phát. Sử dụng phần mềm MATLAB để mô phỏng hệ thống.

### 1.4. BỐ CỤC QUYỀN BẢO CÁO

Chương 1. **Tổng quan:** Giới thiệu về tình hình nghiên cứu, tên đề tài, mục tiêu, giới hạn đề tài và bố cục quyền bảo cáo.

Chương 2. **Cơ sở lý thuyết:** Trình bày các lý thuyết liên quan đến NOMA, mạng vệ tinh, mạng mặt đất, mạng chuyển tiếp lai ghép vệ tinh – mặt đất và truyền thông hợp tác.

Chương 3. **Mô hình hệ thống và mô hình kênh:** Chương này tập trung vào việc xây dựng mô hình hệ thống và mô hình kênh, phân tích các công thức lý thuyết, công thức mô phỏng.

Chương 4. **Phân tích xác suất dừng:** Chương này tập trung phân tích xác suất dừng của hệ thống trên mặt lý thuyết.

Chương 5. **Mô phỏng và đánh giá:** Kiểm tra kết quả, so sánh kết quả với lý thuyết đã nghiên cứu, đánh giá hiệu năng dừng của hệ thống khi có sự thay đổi về hệ số ràng buộc can nhiễu, công suất tối đa tại trạm phát và khoảng cách từ người dùng có liên kết trực tiếp với vệ tinh.

Chương 6. **Kết luận và hướng phát triển:** Tổng kết đề tài, đưa ra nhận định và hướng phát triển của đề tài trong tương lai.

## **CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT**

### **2.1. NOMA**

#### **2.1.1. Tổng quan**

NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) là một kỹ thuật trong truyền thông không dây được thiết kế để tối ưu hóa sử dụng tài nguyên phổ tần số và nâng cao hiệu suất truyền dẫn trong mạng di động. NOMA là một tiến bộ vượt bậc so với truyền thông truyền thống sử dụng OMA (Orthogonal Multiple Access), nơi mà mỗi thiết bị phải chờ lượt để truyền dữ liệu. NOMA, ngược lại, cho phép nhiều thiết bị có thể truyền dữ liệu trên cùng một tần số và cùng một thời điểm. Điều này được thực hiện bằng cách sử dụng các kỹ thuật chia sẻ tài nguyên không gian, thời gian và năng lượng khác nhau cho từng thiết bị để đảm bảo không gây xung đột. Các thiết bị sử dụng NOMA có thể được phân biệt dựa trên cường độ tín hiệu, mã hóa hoặc các kỹ thuật xử lý tín hiệu phức tạp khác. NOMA là một phương pháp quan trọng trong việc tối ưu hóa hiệu suất mạng di động và truyền thông, đặc biệt đối với mạng 5G và các mạng di động tiếp theo.

#### **2.1.2. Đặc điểm**

- Phi trực giao: NOMA cho phép tất cả người dùng hoạt động cùng thời gian, được cấp phát cùng tần số và cùng mã, cho phép sử dụng hiệu quả hơn các tài nguyên phổ, đồng thời cung cấp dịch vụ cho nhiều người dùng hơn trong cùng một kênh. Điều này khác với OMA, nơi mỗi người dùng được cấp phát một kênh trực giao riêng biệt.

- Phân biệt cường độ tín hiệu: Trong NOMA, các thiết bị được phân biệt bằng cách cường độ tín hiệu. Thiết bị yếu sử dụng một công suất thấp hơn để truyền dữ liệu, trong khi thiết bị mạnh sử dụng công suất cao hơn. Điều này giúp cải thiện hiệu suất của thiết bị yếu và mạnh.

- Phân bổ công suất dựa trên điều kiện kênh: Người dùng với điều kiện kênh đến trạm gốc tốt hơn (tức là có tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu SNR cao hơn) sẽ được cấp phát với công suất nhỏ hơn. Điều này giúp tối ưu hiệu quả phổ và cung cấp dịch vụ cho nhiều người dùng hơn.

- Sử dụng nguyên lý chồng chất: Nguyên lý chồng chất cho phép các tín hiệu từ các thiết bị khác nhau được ghép chồng lên nhau và gửi dưới dạng một tín hiệu duy nhất. Tại trạm cơ sở, tín hiệu này được phân giải thành các tín hiệu riêng lẻ cho mỗi thiết bị.

- Sử dụng kỹ thuật triệt can nhiễu tuần tự (SIC): Các người dùng sử dụng SIC để loại bỏ các can nhiễu từ tín hiệu của người dùng khác và nhận thông tin mong muốn.

- Yêu cầu phức tạp về xử lý tín hiệu: NOMA yêu cầu các thuật toán và kỹ thuật xử lý tín hiệu phức tạp hơn để giải mã và phân biệt tín hiệu từ nhiều thiết bị truyền cùng lúc. Điều này đòi hỏi một hệ thống mạng và trạm cơ sở có khả năng xử lý cao.

### **2.1.3. Phân loại**

NOMA được chia thành hai loại chính là NOMA miền công suất và NOMA miền mã [1].

- NOMA miền công suất (Power Domain NOMA): Trong NOMA miền công suất, tài nguyên năng lượng được phân bổ không đồng đều cho các thiết bị trong mạng, sử dụng cách chồng chất tín hiệu của các người dùng với các công suất khác nhau. Giả sử có hai người dùng gửi tín hiệu đến trạm cơ sở cùng một lúc. Tuy nhiên, điểm khác biệt ở đây là các tín hiệu của họ có công suất khác nhau. Một người dùng có thể gửi tín hiệu với công suất mạnh hơn, trong khi người dùng còn lại gửi tín hiệu với công suất yếu hơn. Trạm cơ sở sẽ nhận được tất cả các tín hiệu từ cả hai người dùng. Dựa vào việc chồng chất tín hiệu này, trạm cơ sở có khả năng phân biệt và giải mã cả hai tín hiệu đồng thời. Điều này tạo ra sự chồng chất của tín hiệu với các công suất khác nhau, nhưng trạm cơ sở có thể phân biệt chúng dựa trên các thông tin cụ thể trong tín hiệu, chẳng hạn như mã hóa hoặc mô hình của tín hiệu. Việc chồng chất tín hiệu với các công suất khác nhau giúp tăng cường khả năng sử dụng tài nguyên tần số và năng lượng, đồng thời cải thiện hiệu suất của hệ thống [2]. Một số kỹ thuật chính bao gồm:

- Kỹ thuật triệt can nhiễu liên tiếp (Successive Interference Cancellation - SIC): Là một phương pháp quan trọng trong NOMA. Trong SIC, các thiết bị được sắp xếp theo thứ tự ưu tiên. Trạm cơ sở nhận và giải mã tín hiệu từ thiết bị ưu tiên cao trước. Sau đó, nó loại bỏ tín hiệu từ thiết bị này ra khỏi tín hiệu tổng hợp và tiếp tục với thiết

bị ưu tiên thấp hơn. Quá trình này tiếp tục cho đến khi tất cả các thiết bị đã được giải mã. SIC giúp tăng khả năng chấp nhận tín hiệu và giảm nhiễu.

- MIMO-NOMA: Kết hợp NOMA với kỹ thuật MIMO cho phép tận dụng không gian để tăng hiệu suất truyền dữ liệu. Bằng cách sử dụng nhiều anten trên cả trạm cơ sở và thiết bị di động, MIMO-NOMA có thể cải thiện khả năng chịu tải và khả năng phân biệt tín hiệu từ nhiều người dùng.

- Network NOMA: Network NOMA tập trung vào cách quản lý và triển khai NOMA trong hệ thống mạng lưới có cấu trúc phức tạp. Network NOMA có thể được sử dụng trong các mạng 5G và các mạng lưới tương lai để cải thiện hiệu suất và đáp ứng nhu cầu ngày càng cao về tốc độ và khả năng kết nối. Nó có thể hỗ trợ truyền thông đa dịch vụ, IoT và các ứng dụng yêu cầu trễ thấp.

- NOMA miền mã (Code Domain NOMA): NOMA miền mã tập trung vào việc sử dụng mã hóa khác nhau để phân biệt tín hiệu từ các thiết bị. Mỗi thiết bị sẽ sử dụng mã hóa độc đáo để gắn kết với tín hiệu của mình. Khi tín hiệu đến tại trạm cơ sở, hệ thống sẽ sử dụng mã khóa để phân loại và giải mã tín hiệu từ các thiết bị khác nhau. NOMA miền mã sử dụng mã Gaussian ngẫu nhiên tại bộ phát và kỹ thuật nén cảm ứng tại bộ thu để tối đa hóa khả năng phát hiện người dùng và giảm thiểu tỷ lệ lỗi ký hiệu [3]. Có thể liệt kê một số kỹ thuật chính sau:

- Đa truy cập phân chia theo mã (Code Division Multiple Access - CDMA): CDMA là một kỹ thuật truyền thông mà mỗi thiết bị sử dụng một mã khác nhau để mã hóa tín hiệu của họ. Dựa vào mã hóa này, trạm cơ sở hoặc trạm relay có thể giải mã tín hiệu đúng cho từng thiết bị.

- Đa truy cập mã thưa (Sparse Code Multiple Access - SCMA): Là một kỹ thuật NOMA sử dụng các ma trận mã hóa thưa thớt để tạo ra mã thông báo. Điều này cho phép nhiều thiết bị chia sẻ cùng một tần số và thời gian mà vẫn có khả năng phân biệt tín hiệu từ mỗi thiết bị. SCMA là một phương pháp hiệu quả để triển khai NOMA trong môi trường mạng 5G.

## **2.2. MẠNG VỆ TINH**

### **2.2.1. Tổng quan**

Mạng vệ tinh là một loại hệ thống truyền thông không dây được xây dựng trên cơ sở các vệ tinh nhân tạo đặt vào quỹ đạo quanh Trái Đất. Mạng vệ tinh cho phép truyền tải thông tin giữa các điểm từ xa trên toàn cầu bằng cách sử dụng sóng vệ tinh. Mạng vệ tinh cung cấp vùng phủ sóng rộng, có thể kết nối các khu vực khó tiếp cận bằng mạng lục địa và là công cụ quan trọng trong việc cung cấp dịch vụ truyền thông, truyền hình vệ tinh, Internet vệ tinh và nhiều ứng dụng khác.

### **2.2.2. Đặc điểm**

- Vùng phủ sóng rộng: Mạng vệ tinh có khả năng cung cấp vùng phủ sóng rộng, bao phủ cả các vùng xa và khó tiếp cận bằng mạng mặt đất. Điều này làm cho mạng vệ tinh trở thành một giải pháp hữu ích cho việc cung cấp dịch vụ tại các vùng quê, biển và các vùng khó tiếp cận.

- Kết nối toàn cầu: Mạng vệ tinh có khả năng kết nối toàn cầu, không bị giới hạn bởi địa lý. Người dùng ở mọi nơi trên Trái Đất có thể truy cập mạng vệ tinh nếu có tầm nhìn tới vệ tinh tương ứng.

- Kết nối liên tục: Mạng vệ tinh cung cấp kết nối liên tục khi người dùng di chuyển qua các khu vực có sự chuyển đổi giữa các vệ tinh hoặc giữa vệ tinh và trạm mặt đất. Điều này đảm bảo rằng người dùng di động có thể duy trì kết nối mà không bị ngắt quãng.

- Khả năng chịu môi trường khắc nghiệt: Mạng vệ tinh có khả năng hoạt động trong môi trường khắc nghiệt như trong điều kiện thời tiết xấu, thảm họa tự nhiên, và trong các vùng không có hạ tầng viễn thông.

- Khả năng truyền tải dữ liệu lớn: Mạng vệ tinh có khả năng truyền tải dữ liệu lớn với tốc độ nhanh. Điều này rất hữu ích trong việc cung cấp dịch vụ truyền hình vệ tinh và truyền dữ liệu, đặc biệt là ở các khu vực có nhu cầu cao về dung lượng.

- Các dịch vụ đa dạng: Mạng vệ tinh hỗ trợ nhiều loại dịch vụ khác nhau bao gồm truyền thông điện thoại, truyền hình, Internet và nhiều ứng dụng khác. Điều này cho phép nó phục vụ nhiều mục đích trong việc kết nối và truyền thông.

- Sự linh hoạt: Mạng vệ tinh có khả năng kết hợp với các mạng lục địa và mạng di động khác, tạo ra mạng kết hợp vệ tinh-mặt đất để cung cấp sự linh hoạt và tối ưu hóa hiệu suất truyền thông.

### **2.2.3. Quỹ đạo hoạt động**

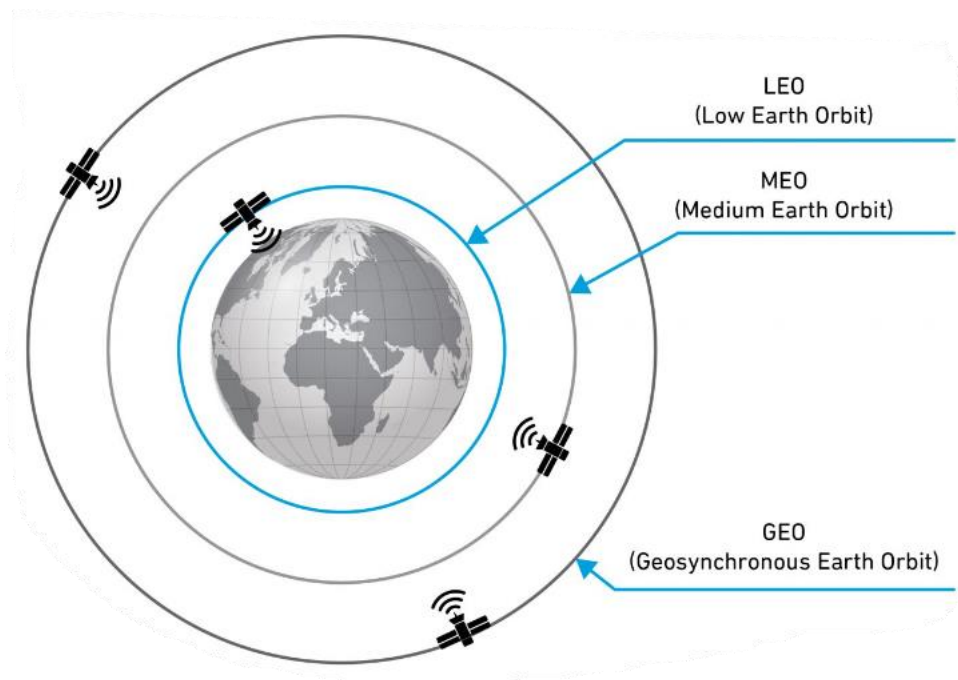
Mạng vệ tinh là một mạng liên kết các vệ tinh nhân tạo trong không gian để truyền dẫn thông tin giữa các địa điểm trên mặt đất hoặc trong không khí. Quỹ đạo hoạt động của mạng vệ tinh là quỹ đạo mà các vệ tinh có thể ảnh hưởng đến các yếu tố như phạm vi phủ sóng, độ trễ, độ tin cậy, độ nhiễu, độ chịu tải, ... Có nhiều loại quỹ đạo hoạt động khác nhau, tùy thuộc vào độ cao, tốc độ, góc và chu kỳ của các vệ tinh. Dưới đây là một số quỹ đạo hoạt động phổ biến của mạng vệ tinh:

- Quỹ đạo thấp (LEO): Đây là quỹ đạo mà các vệ tinh có độ cao khoảng 200 đến 2000 km (124 đến 1243 dặm) so với mặt đất, gần trái đất hơn nhiều so với hầu hết các vệ tinh truyền thống (hình 2.1). Các vệ tinh LEO thường được sử dụng cho các dịch vụ viễn thông, quan sát trái đất và nghiên cứu không gian. Các vệ tinh LEO có thể phủ sóng một khu vực rất nhỏ trên mặt đất, nhưng cũng có độ trễ rất thấp và khả năng chịu tải cao.

- Quỹ đạo trung bình (MEO): Đây là quỹ đạo mà các vệ tinh có độ cao khoảng 2000 đến 36 000 km (1243 đến 22 369 dặm) so với mặt đất. Các vệ tinh MEO thường được sử dụng cho các dịch vụ định vị toàn cầu, viễn thông và quan sát trái đất. Các vệ tinh MEO có thể phủ sóng một khu vực nhỏ hơn so với các vệ tinh GEO, nhưng cũng có độ trễ thấp hơn và ít bị nhiễu hơn.

- Quỹ đạo địa tĩnh (GEO): Đây là quỹ đạo mà các vệ tinh luôn ở cùng một vị trí so với mặt đất, có độ cao khoảng 35 786 km (22 236 dặm). Các vệ tinh GEO thường được sử dụng cho các dịch vụ truyền hình, viễn thông và quan sát thời tiết. Các vệ tinh GEO có thể phủ sóng một khu vực rộng lớn trên mặt đất, nhưng cũng có độ trễ cao và dễ bị nhiễu từ các vệ tinh khác.





**Hình 2.1.** Phạm vi quỹ đạo vệ tinh

#### 2.2.4. Cấu tạo

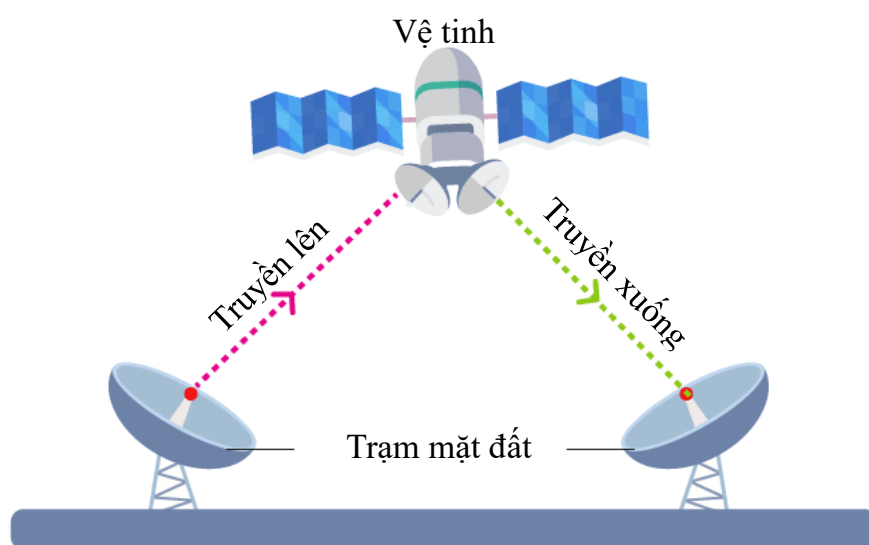
Mạng vệ tinh là một loại mạng máy tính sử dụng các vệ tinh nhân tạo để truyền tín hiệu giữa các thiết bị đầu cuối. Các thành phần chính của mạng vệ tinh bao gồm:

- Vệ tinh nhân tạo: Là các thiết bị được đặt trên các quỹ đạo khác nhau của trái đất, có thể là quỹ đạo địa tĩnh, quỹ đạo elip, quỹ đạo Molniya. Các vệ tinh nhân tạo có chức năng tiếp nhận, xử lý và phát lại các tín hiệu từ các trạm mặt đất.

- Trạm mặt đất: Mạng vệ tinh bắt đầu từ các trạm vệ tinh trên mặt đất, đây là các thiết bị được đặt trên mặt đất hoặc trên các phương tiện có thể di chuyển như máy tính, điện thoại, tivi, máy bay hay tàu thuyền. Các trạm này có nhiệm vụ gửi và nhận dữ liệu từ vệ tinh và gửi nó đến người dùng cuối hoặc các trạm vệ tinh khác. Trạm mặt đất thường có các anten và thiết bị truyền thông chuyên dụng để tương tác với vệ tinh.

- Môi trường truyền dẫn : Là không gian giữa các vệ tinh và các trạm mặt đất, nơi cho phép các tín hiệu sóng điện từ lan truyền qua. Môi trường truyền dẫn có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như nhiễu, suy hao, độ trễ, đa đường truyền. Các đường truyền lên và truyền xuống có thể hoạt động ở các dải tần khác nhau.

Mô hình một mạng vệ tinh đơn giản được minh họa như hình 2.2. Trạm mặt đất gắn kết với nhà hoặc một nơi gần đó nhận dữ liệu từ các thiết bị đầu cuối như máy tính, điện thoại, tivi, máy bay hay tàu thủy và truyền nó lên một vệ tinh trên bầu trời. Đây là quá trình truyền lên (uplink), nghĩa là kết nối từ thiết bị trên mặt đất đến thiết bị trên vệ tinh. Vệ tinh nhận, xử lý và gửi lại các tín hiệu đến trạm mặt đất. Đây là quá trình truyền xuống (downlink), nghĩa là kết nối từ thiết bị trên vệ tinh đến thiết bị trên mặt đất. Trạm mặt đất sau đó gửi dữ liệu đến các thiết bị đầu cuối, có thể là các đầu thu và bộ giải mã tín hiệu truyền hình hoặc các thiết bị khác có thể kết nối Internet.



**Hình 2.2.** Mô hình mạng vệ tinh đơn giản

### 2.2.5. Ứng dụng

- Mạng phi mặt đất: Mạng vệ tinh đóng vai trò quan trọng trong việc tích hợp 5G với khả năng cung cấp kết nối 5G cho các lĩnh vực như ô tô và vận tải, truyền thông và giải trí, y tế điện tử, công nghiệp 4.0,... Điều này có thể cung cấp 5G tới những khu vực mà mạng mặt đất không thể che khuất [4].

- Thu thập dữ liệu quan sát Trái Đất: Mạng vệ tinh cho phép thu thập dữ liệu quan sát Trái Đất từ không gian, bao gồm việc quan sát thời tiết, theo dõi biến đổi, phát hiện sự thay đổi trong thảm thực vật và phân tích thiệt hại do thiên tai. Dữ liệu này có thể cung cấp thông tin quan trọng cho việc quản lý và dự báo thời tiết, quản lý tài nguyên và ứng phó với thảm họa tự nhiên [4].

- Theo dõi và truyền thông hàng không và biển: Mạng vệ tinh cung cấp kết nối và truyền thông cho các phương tiện vận chuyển hàng không và biển, bao gồm máy bay, tàu biển và các phương tiện di chuyển khác. Điều này giúp theo dõi và duy trì liên lạc trong thời gian thực, đặc biệt trong các trường hợp quan trọng như truyền thông tàu biển và theo dõi máy bay [4].

- Truyền thông không gian: Mạng vệ tinh đóng vai trò quan trọng trong việc truyền thông với các thiết bị không gian và các nhiệm vụ thám hiểm không gian, cho phép giao tiếp và kiểm soát các phương tiện không gian từ xa [4].

- Khám phá không gian: Truyền thông vệ tinh đóng vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ việc khám phá không gian và giao tiếp với các phương tiện không gian. Việc mở rộng sự hiện diện của con người trong không gian đòi hỏi giao tiếp đáng tin cậy giữa Trái Đất và các trạm không gian, thám hiểm sao Hỏa và các hoạt động không gian khác [4].

## **2.3. MẠNG MẶT ĐẤT**

### **2.3.1. Tổng quan**

Mạng mặt đất là một hệ thống truyền thông dựa trên đất liền, sử dụng cơ sở hạ tầng vật lý như cáp quang hoặc dây đồng, kết nối các thiết bị và máy tính trực tiếp với mạng thông tin trên mặt đất, không thông qua vệ tinh hoặc các kết nối không dây không gian. Mạng mặt đất bao gồm các thành phần cơ bản như máy chủ, router, switch, modem, cáp quang, dây đồng và các thiết bị kết nối khác. Mỗi thành phần đóng vai trò quan trọng trong việc truyền dữ liệu và duyệt web trên Internet. Mạng mặt đất có sự đáng tin cậy và tốc độ cao, là một phần quan trọng của hệ thống truyền thông hiện đại và được sử dụng trong nhiều khía cạnh của cuộc sống hàng ngày và doanh nghiệp.

### **2.3.2. Đặc điểm**

- Độ phức tạp và quan trọng: Mạng mặt đất thường đóng vai trò quan trọng và phức tạp trong hệ thống truyền thông, vì nó phải xử lý các yêu cầu dịch vụ từ nhiều thiết bị và miền khác nhau, trong một cấu trúc mạng lai và đa dạng [5].

- Hợp tác với mạng vệ tinh: Mạng mặt đất thường phải tương tác và hợp tác với mạng vệ tinh để cung cấp dịch vụ truyền thông toàn diện và đáng tin cậy. Điều này bao gồm sử dụng cả trạm vệ tinh và các cổng kết nối có kích thước nhỏ trên mặt đất [5].

- Mạng tự tổ chức: Mạng mặt đất có khả năng tự tổ chức, tức là nó có thể triển khai các cảm biến hoặc nút IoT ở các vị trí xa xôi hoặc nông thôn để thực hiện chức năng theo dõi khu vực quan trọng trong tình huống khẩn cấp [5].

- Tiến bộ công nghệ: Mạng mặt đất đang trải qua các tiến bộ đáng kể trong công nghệ để cải thiện hiệu suất và trải nghiệm người dùng. Các công nghệ như MIMO, SDN, NFV, Network Slicing và Cloud RAN đã tạo ra các cơ hội mới cho mạng mặt đất để trở nên linh hoạt và hiệu quả hơn [5].

- Chia tài nguyên truyền thông: Mạng mặt đất thường phải quản lý và chia sẻ tài nguyên truyền thông với hàng triệu nút IoT kết nối vào mạng. Điều này đòi hỏi khả năng quản lý lưu lượng dữ liệu, tốc độ cao điểm và độ trễ để đảm bảo hiệu suất tối ưu [5].

### **2.3.3. Nguyên lý hoạt động**

Đầu tiên, tín hiệu điện tử được tạo ra hoặc thu thập từ nguồn ban đầu. Ví dụ, trong mạng điện thoại, tín hiệu giọng nói từ điện thoại di động hoặc điện thoại bàn được chuyển thành tín hiệu điện tử. Tín hiệu điện tử ban đầu cần được biến đổi để phù hợp với môi trường truyền tải, bao gồm việc tăng cường tín hiệu, mã hóa, nén hoặc chuyển đổi định dạng tín hiệu. Tín hiệu điện tử đã được biến đổi được truyền tải qua dây cáp đất, dây cáp đất có thể là cáp đồng, cáp quang hoặc các loại cáp khác, tùy thuộc vào ứng dụng cụ thể của mạng. Tín hiệu điện tử sau đó được truyền đến máy thu ở điểm đích. Máy thu nhận tín hiệu và xử lý nó để khôi phục dữ liệu ban đầu. Các bước này có thể bao gồm giải mã, giải nén, và đưa tín hiệu về định dạng ban đầu. Trong mạng mặt đất, tín hiệu có thể đi qua nhiều trạm điều hướng và chuyển tiếp trên đường đi từ nguồn đến đích. Các trạm này giúp định tuyến tín hiệu đến đích cuối cùng và đảm bảo rằng nó đi qua các đoạn cáp thích hợp để đạt được đích mà không bị mất mát hoặc nhiễu. Cuối cùng, tín hiệu được đưa đến thiết bị cuối cùng như máy tính, điện thoại, máy truyền hình, hoặc thiết bị khác mà người dùng sử dụng để truy cập thông tin.

### **2.3.4. Ứng dụng**

- Mạng Internet cáp quang: Mạng Internet cáp quang sử dụng cáp quang để cung cấp kết nối Internet tốc độ cao cho gia đình và doanh nghiệp. Điều này cho phép truyền dữ liệu, truyền hình, và truy cập Internet với tốc độ cao.

- Mạng điện thoại cố định: Mạng điện thoại cố định cung cấp kết nối điện thoại cho các hộ gia đình và doanh nghiệp thông qua dây đồng. Điều này cho phép cuộc gọi thoại đáng tin cậy.

- Mạng truyền hình cáp: Mạng truyền hình cáp sử dụng cáp để truyền tải tín hiệu truyền hình và video cho người dùng, cung cấp nhiều kênh và nội dung đa dạng.

- Mạng truyền thông doanh nghiệp: Doanh nghiệp sử dụng mạng mặt đất để kết nối các chi nhánh và văn phòng, chia sẻ dữ liệu và truyền thông trong tổ chức.

- Mạng di động: Mạng di động sử dụng mạng cơ sở truyền thông không dây để cung cấp dịch vụ di động cho người dùng trên di động và thiết bị không dây.

## **2.4. MẠNG CHUYỂN TIẾP LAI GHÉP VỆ TINH – MẶT ĐẤT**

### **2.4.1. Tổng quan**

Trong quá trình phát triển, có một số vấn đề bất cập không thể tránh khỏi được. Mạng vệ tinh đối diện với khả năng bị ảnh hưởng nặng nề bởi bóng râm hoặc mất tín hiệu, đặc biệt khi kết nối trực tiếp giữa vệ tinh và mặt đất không thể được duy trì khi có vật cản. Do hạ tầng mặt đất có khả năng cung cấp khả năng phủ sóng với chi phí thấp cho khu vực đông dân bằng cách duy trì kết nối không trực tiếp, một kiến trúc tích hợp, gọi là mạng chuyển tiếp lai ghép vệ tinh - mặt đất (HSTRN), đã được đề xuất như một kiến trúc hứa hẹn có thể đạt được tốc độ truyền tải cao và đáng tin cậy hơn [6].

Hiện nay, HSTRN đang phát triển và triển khai rộng rãi trên toàn cầu. Các công ty vệ tinh, nhà cung cấp dịch vụ di động và tổ chức vũ trụ đang cùng nhau đầu tư vào việc phát triển hệ thống này. Cùng với sự gia tăng về số lượng vệ tinh và mạng mặt đất, khả năng kết nối toàn cầu ngày càng mạnh mẽ, HSTRN là một phần quan trọng của cuộc cách mạng truyền thông hiện đại.

### 2.4.2. Đặc điểm

- Kết hợp lợi thế của hai công nghệ: HSTRN tận dụng lợi thế của cả hai loại kết nối, kết hợp khả năng truyền xa của vệ tinh với khả năng tương tác trực tiếp với người dùng của mạng mặt đất. Điều này tạo ra sự đa dạng trong việc kết nối và linh hoạt trong việc xử lý truyền thông.

- Liên tục và ổn định: Dù ở bất kỳ nơi nào trên trái đất, HSTRN đảm bảo rằng thông tin được gửi và nhận một cách hiệu quả mà không bị đứt đoạn do khoảng cách hoặc các yếu tố địa hình.

- Khả năng mở rộng: HSTRN có khả năng mở rộng phạm vi phủ sóng để đáp ứng nhu cầu gia tăng truyền thông. Có thể thêm các trạm mặt đất hoặc triển khai thêm vệ tinh để đáp ứng nhu cầu truyền thông ngày càng cao. Khả năng mở rộng giúp cho hệ thống có tính linh hoạt trong việc điều chỉnh theo thời gian và nhu cầu của người dùng.

- Phủ sóng toàn cầu: HSTRN cho phép truyền tải thông tin từ bất kỳ đâu trên trái đất. Nó cho phép kết nối và giao tiếp từ các khu vực xa xôi, hẻo lánh hoặc có hạn chế về hạ tầng mạng mặt đất thông thường.

- An toàn và bảo mật: HSTRN đặc biệt quan tâm đến việc đảm bảo an toàn và bảo mật thông tin trong quá trình truyền tải. Các biện pháp bảo mật như mã hóa và chứng thực thường được sử dụng để đảm bảo rằng thông tin gửi qua hệ thống không bị truy cập hoặc thay đổi bởi bất kỳ ai không có quyền truy cập. Điều này thực sự quan trọng trong các ứng dụng yêu cầu tính bảo mật cao như truyền thông quân sự, truyền hình trả tiền, truyền thông doanh nghiệp, hoặc khi truyền tải dữ liệu nhạy cảm như thông tin cá nhân hoặc tài chính.

### **2.4.3. Ứng dụng**

- Truyền thông di động: Mạng chuyển tiếp lai ghép vệ tinh – mặt đất giúp cung cấp kết nối Internet đến những vùng xa xôi, hẻo lánh, nơi cơ sở hạ tầng mạng đường dây không phát triển hoặc không có mạng cố định. Trong các trường hợp khẩn cấp hoặc trong các khu vực khó tiếp cận, mạng này có thể được sử dụng để cung cấp kết nối trực tuyến cho các trường học và cơ sở y tế, cho phép giảng dạy từ xa và tư vấn y tế từ xa. Điều này giúp cải thiện việc tiếp cận thông tin, giáo dục và cơ hội kinh doanh cho những khu vực này. Ngoài ra, trong các tình huống khẩn cấp và xảy ra thiên tai, mạng này có thể giúp cung cấp liên lạc và truyền thông cho các tổ chức cứu trợ, cơ quan chính phủ và người dân tại các khu vực bị ảnh hưởng.

- Truyền hình vệ tinh: Mạng này được các công ty truyền hình vệ tinh sử dụng rộng rãi để truyền tải các kênh truyền hình, sự kiện thể thao và thông tin giải đến khắp nơi trên thế giới qua trạm thu vệ tinh trên mặt đất. Người dùng có thể xem các nội dung này thông qua các đầu thu vệ tinh tại nhà.

- Truyền thông quân sự: HSTRN được quân đội sử dụng để cung cấp kết nối tin tức và truyền thông an toàn giữa các căn cứ và tàu chiến trên biển, giúp tăng cường liên lạc và quản lý thông tin quân sự.

- Điều khiển các hệ thống từ xa: HSTRN cũng có thể được sử dụng để điều khiển và quản lý từ xa các hệ thống khác nhau, chẳng hạn như hệ thống dẫn đường hàng không, các cảng biển và các trạm năng lượng tái tạo. Ngoài ra, các tàu vũ trụ và các thiết bị khám phá vũ trụ cũng thường sử dụng HSTRN để trao đổi dữ liệu.

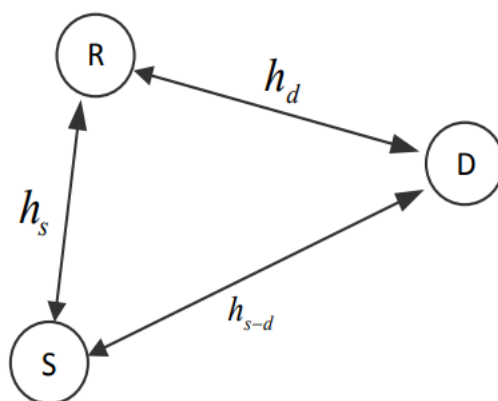
## **2.5. TRUYỀN THÔNG HỢP TÁC**

### **2.5.1. Tổng quan**

Trong thời đại số hóa hiện nay, việc truyền tải thông tin trở nên quan trọng hơn bao giờ hết và truyền thông hợp tác một khía cạnh quan trọng của nó. Truyền thông hợp tác là một mô hình trong truyền thông không dây, trong đó các nút hoặc thiết bị hợp tác với nhau để tạo ra một mạng có khả năng cải thiện hiệu suất truyền thông. Mô hình này cho phép các nút trong mạng làm việc cùng nhau để truyền tải dữ liệu một cách hiệu quả hơn, đảm bảo độ tin cậy và tối ưu hóa tốc độ truyền thông. Truyền thông hợp tác

không chỉ giúp con người kết nối với nhau mà còn tạo ra môi trường nơi mà họ có thể chia sẻ thông tin và tài nguyên, từ đó thúc đẩy sự phát triển và tiến bộ.

Một hệ thống truyền thông hợp tác đơn giản bao gồm hai nút (một là nguồn và một là relay) giao tiếp với cùng một điểm đích, mỗi nút chỉ có một anten. Chức năng hợp tác được chia thành hai giai đoạn, truyền thông hợp tác và truyền thông trực tiếp. Trong hình 2.3 là một minh họa của hệ thống truyền thông hợp tác. Liên kết trực tiếp là một kết nối trực tiếp giữa nút S và nút D với liên kết (S, D), trong đó S là nút nguồn, hoạt động như một bộ phát sóng, D là nút đích, là nơi nhận thông tin được gửi từ S và R là nút trung gian [7].

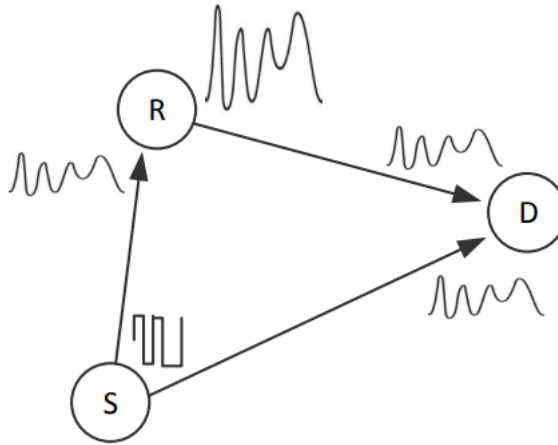


**Hình 2.3.** Mô hình truyền thông hợp tác

2 loại giao thức chuyển tiếp quan trọng trong truyền thông hợp tác là khuếch đại – chuyển tiếp (AF) và giải mã – chuyển tiếp (DF):

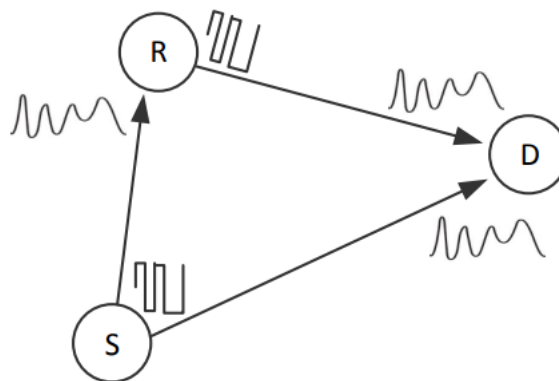
- AF: Nút trung gian khuếch đại tín hiệu nhận được trước khi chuyển tiếp chúng đến nút đích. AF không đòi hỏi khả năng giải mã dữ liệu mà chỉ tập trung vào tăng công suất của tín hiệu để cải thiện chất lượng của nó. AF thường được sử dụng khi nút trung gian không có đủ thông tin để giải mã dữ liệu nhưng có thể cải thiện chất lượng của tín hiệu truyền đi [7]. Trong hình 2.4 có thể thấy sau khi nhận tín hiệu từ S, R thực hiện quá trình khuếch đại tín hiệu để cải thiện chất lượng và giảm tình trạng mất mát tín hiệu. Sau đó, R chuyển tiếp tín hiệu đã được khuếch đại đến D. Tại D, tín hiệu được xử lý để trích xuất thông tin ban đầu.





**Hình 2.4.** Mô hình khuếch đại và chuyển tiếp

- DF: Nút trung gian nhận và giải mã dữ liệu trước khi chuyển tiếp nó đến nút đích. DF đòi hỏi khả năng giải mã dữ liệu để hiểu trước khi chuyển tiếp. DF thường được sử dụng khi nút trung gian có khả năng giải mã và có thể đóng gói dữ liệu trước khi chuyển tiếp [7]. Trong hình 2.5, S hoạt động như một bộ phát để gửi thông tin đến R và D. R sẽ tiếp nhận thông tin và tiến hành giải mã tín hiệu. Quá trình này bao gồm việc phân tích tín hiệu để khôi phục thông tin ban đầu. R sau đó chuyển tiếp tín hiệu đã được giải mã đến D, tín hiệu này đã được tách ra khỏi tình trạng suy giảm sóng trên được truyền và đang ở dạng sóng như ban đầu. D tiếp nhận tín hiệu từ R và thực hiện xử lý để trích xuất thông tin ban đầu.



**Hình 2.5.** Mô hình giải mã và chuyển tiếp

### 2.5.2. Ứng dụng

- Mạng di động: Truyền thông hợp tác được sử dụng rộng rãi trong mạng di động để cải thiện tốc độ truyền dữ liệu và kháng nhiễu. Trong mạng di động, các thiết bị di động có thể hợp tác để tạo ra nhiều đường truyền, cải thiện khả năng kết nối và tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên mạng.

- IoT: Truyền thông hợp tác cũng đóng vai trò quan trọng trong IoT, nơi các thiết bị cảm biến và các nút IoT có thể hợp tác để truyền tải dữ liệu một cách hiệu quả. Mạng hợp tác giúp cải thiện khả năng kết nối và đảm bảo thông tin từ các thiết bị IoT được gửi đến nút thu thập dữ liệu một cách tin cậy.

- Truyền thông không dây: Trong lĩnh vực truyền thông không dây, truyền thông hợp tác là một công cụ mạnh mẽ để cải thiện tốc độ và hiệu suất truyền dữ liệu, đặc biệt trong điều kiện nhiễu hoặc kết nối yếu. Các nút trong mạng có thể hợp tác để tạo ra các đường truyền đa đường và tối ưu hóa kết nối.

### 2.5.3. Truyền thông hợp tác NOMA

Là một biến thể của truyền thông truyền thống NOMA, truyền thông hợp tác NOMA cho phép các người dùng cùng hợp tác để tối ưu hóa hiệu suất của hệ thống. Điểm đặc biệt của phương pháp này nằm ở việc sử dụng chiến lược phát hiện liên tiếp tại các thiết bị thu, trong đó các thiết bị thu cố gắng giải mã các tín hiệu từ nhiều người dùng một cách tuần tự theo một thứ tự nhất định. Điều này nghĩa là sử dụng các người dùng có điều kiện kênh tốt như một thiết bị chuyển tiếp để cải thiện độ tin cậy cho người dùng có điều kiện kênh kém hơn. Cụ thể, thiết bị thu sẽ bắt đầu bằng việc giải mã tín hiệu từ một người dùng cụ thể, loại bỏ nó khỏi tín hiệu nhận được và sau đó tiếp tục giải mã tín hiệu từ người dùng tiếp theo. Quá trình này lặp lại cho đến khi tất cả các tín hiệu từ các người dùng đã được giải mã. Chiến lược phát hiện liên tiếp giúp tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên tần số và công suất trong hệ thống NOMA, cải thiện khả năng tiếp nhận của người dùng có điều kiện kênh kém và làm tăng hiệu suất của hệ thống.

Các kỹ thuật kết nối cục bộ có tầm ngắn, chẳng hạn như Bluetooth, và băng thông siêu rộng có thể được sử dụng để truyền thông tin từ các người dùng có điều kiện kênh tốt hơn đến những người dùng có điều kiện kênh kém. Xác suất ngắt kết nối và thứ tự đa dạng đạt được bằng hệ thống truyền thông hợp tác NOMA này đã được phân tích và

các kết quả phân tích này cho thấy rằng truyền thông hợp tác NOMA có thể đạt được sự tăng đa dạng tối đa cho tất cả các người dùng. Trong thực tế, việc mời tất cả người dùng trong mạng tham gia vào truyền thông hợp tác NOMA có thể không khả thi cho lắm do sự phức tạp của hệ thống trong việc điều phối sự hợp tác của người dùng. Sự ghép đôi người dùng là một giải pháp hứa hẹn để giảm sự phức tạp của hệ thống và chứng minh rằng việc ghép đôi người dùng có chất lượng kênh cao không nhất thiết đem lại hiệu suất cao hơn so với mạng đa truy cập trực giao truyền thống. Thay vì vậy, tốt hơn hết là kết hợp những người dùng có sự khác biệt rõ ràng trong lợi ích của kênh, được đo bằng bình phương tuyệt đối của các hệ số kênh [8].

Truyền thông hợp tác NOMA là một kỹ thuật truyền thông tiên tiến và có nhiều ứng dụng quan trọng trong các mạng di động và không dây.

- Mạng di động 5G và hơn nữa: Mạng di động 5G đang trải qua sự phát triển đáng kể và tạo ra nhiều cơ hội cho truyền thông hợp tác NOMA. Kỹ thuật này có thể được sử dụng để tối ưu hóa truyền thông giữa các thiết bị người dùng trong mạng 5G, giúp tăng cường khả năng chịu tải của mạng, cải thiện hiệu suất truyền dữ liệu và hỗ trợ nhiều ứng dụng, từ truyền dữ liệu video 4K đến kết nối IoT. Trong tương lai, truyền thông hợp tác NOMA có tiềm năng để trở thành một phần quan trọng của truyền thông di động và không dây. Với sự kết hợp giữa ứng dụng đa dạng và khả năng tối ưu hóa tài nguyên, nó có thể giúp đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về truyền thông, từ kết nối con người đến máy móc, và từ dữ liệu IoT đến ứng dụng máy bay không người lái.

- Mạng IoT: Trong khi mạng IoT ngày càng phát triển, truyền thông hợp tác NOMA cung cấp một giải pháp hiệu quả để quản lý truyền thông giữa hàng tỷ thiết bị IoT. Nó cho phép các thiết bị IoT chia sẻ tài nguyên tần số và thời gian, giúp giảm đáng kể xung đột tần số và cải thiện khả năng kết nối đồng thời của các thiết bị.

- Mạng kết nối máy bay không người lái: Truyền thông hợp tác NOMA có thể được áp dụng trong mạng kết nối máy bay không người lái, nơi các máy bay cần truyền dữ liệu với trạm điều khiển hoặc với nhau. Kỹ thuật này giúp tối ưu hóa tài nguyên truyền thông giữa các máy bay và trạm điều khiển, tạo ra mô hình truyền thông hiệu suất cao trong các ứng dụng như giám sát không gian và giao tiếp giữa các máy bay.

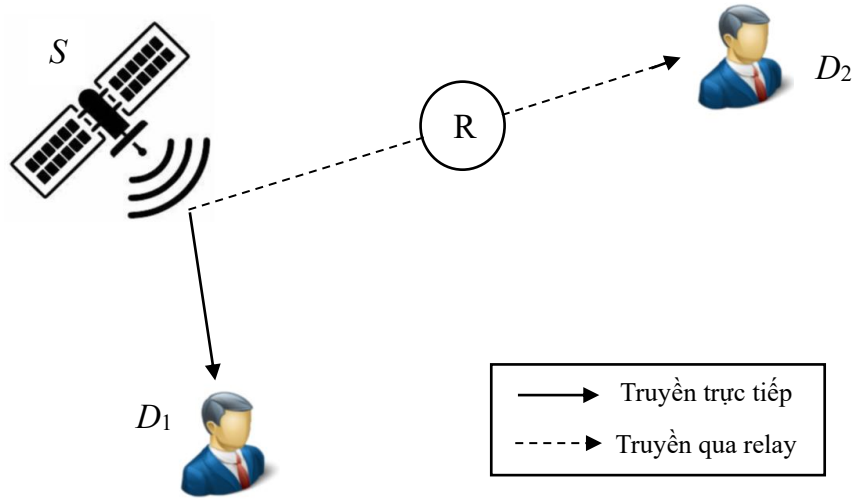
- Các mô hình truyền thông khác: Truyền thông hợp tác NOMA cung cấp khả năng đa dạng hóa mô hình truyền thông trong các mạng di động và không dây. Điều này cho phép truyền thông hiệu suất cao trong môi trường đô thị, môi trường nông thôn và trong các môi trường truyền thông đặc biệt. Ứng dụng đa dạng của truyền thông hợp tác NOMA giúp cải thiện chất lượng truyền thông và khả năng đáp ứng cho mọi tình huống.

## CHƯƠNG 3. MÔ HÌNH HỆ THỐNG VÀ MÔ HÌNH KÊNH

### 3.1. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Xét một hệ thống truyền xuống không dây sử dụng NOMA là HSTRN, được minh họa như hình 3.1. Hệ thống này bao gồm:

- Một nguồn - vệ tinh  $S$ .
- Một người dùng có liên kết trực tiếp  $D_1$ .
- Một người dùng được relay hỗ trợ  $D_2$ .
- Một relay DF bán song công mặt đất chuyên dụng  $R$  với  $N_R$  anten thu và  $N_T$  anten phát.



**Hình 3.1.** Mô hình đường truyền xuống của hệ thống HSTRN

Giả sử  $D_1$  có liên kết trực tiếp với  $S$ , trong khi  $D_2$  cần  $R$  để lấy tín hiệu  $S$  mong muốn do không có liên kết trực tiếp. Giao tiếp từ đầu đến cuối được thực hiện trong hai khe thời gian như sau:

#### 3.1.1. Giai đoạn phát sóng

Trong giai đoạn đầu tiên này, nguồn  $S$  gửi một tín hiệu xếp chồng  $x_S$  với công suất phát  $P_S$  đến  $R$  và  $D_1$  chứa các thông điệp  $x_n$ . Tín hiệu này được xác định bởi công thức sau:

$$x_S = \sqrt{P_S}(\sqrt{\alpha_1}x_1 + \sqrt{\alpha_2}x_2), \quad (3.1)$$

trong đó,  $\alpha_1, \alpha_2$  là các hệ số phân bổ công suất, thỏa mãn  $\begin{cases} \alpha_1 + \alpha_2 = 1 \\ \alpha_1 < \alpha_2 \end{cases}$ . Đặt  $E[|x_n|^2] = 1, D_n, n = 1, 2$ .

Tín hiệu nhận được của người dùng  $D_1$  khi đi qua kênh Rayleigh fading chịu ảnh hưởng của nhiễu AWGN là:

$$y_{D_1}^{t_1} = h_{SD_1}x_S + n_{D_1}^{t_1}, \quad (3.2)$$

trong đó  $h_{SD_1}$  là hệ số kênh Rayleigh fading và  $n_{D_1}^{t_1}$  là nhiễu AWGN (Additive White Gaussian Noise) của người dùng (với  $n_{D_1}^{t_1} \sim CN(0; \sigma_{D_1}^2)$ ) tuân theo phân phối Gaussian có giá trị trung bình bằng 0 và phương sai  $\sigma_{D_1}^2$ ).

Theo giao thức truyền dẫn NOMA, SIC có thể được gọi tại  $D_1$  bằng cách phát hiện rồi loại bỏ thành phần tín hiệu dành cho  $D_2$ . Do đó, SINR cho  $D_1$  để giải mã tín hiệu của  $D_2$  là:

$$\gamma_{2,1}^{t_1} = \frac{\alpha_2 \gamma_{SD_1}}{\alpha_2 \gamma_{SD_1} + 1}, \quad (3.3)$$

trong đó,  $\gamma_{SD_1} = \rho_S |h_{SD_1}|^2$  với  $\rho_S = \frac{P_S}{\sigma_{D_1}^2}$ .

Nếu  $D_1$  giải mã thành công  $x_2$  thông qua SIC thì nó sẽ loại bỏ  $x_2$  đã giải mã, tạo ra SNR để giải mã  $x_1$  như sau:

$$\gamma_1^{t_1} = \alpha_1 \gamma_{SD_1}, \quad (3.4)$$

Ở đây, tỷ lệ kết hợp tối đa (MRC) được sử dụng tại  $R$  để kết hợp các tín hiệu nhận được của nhiều anten để đạt được hiệu suất tốt hơn. Do đó, tín hiệu nhận được bởi  $R$  trong giai đoạn này như sau:

$$y_R^{t_1} = w_1^H h_{SR} x + w_1^H n_R^{t_1}, \quad (3.5)$$

trong đó  $h_{SR} = [h_{SR_1}, h_{SR_2}, \dots, h_{SR_{N_R}}]^T$  là vector hệ số kênh  $N_R \times 1$  từ  $S$  đến  $R$ ,  $n_R^{t_1}$  là vector AWGN có giá trị trung bình bằng 0 với phương sai  $\sigma_R^2$  và  $w_1 = \frac{h_{SR}}{\|h_{SR}\|_F}$  là vector trọng số beamforming thu.

Để đơn giản, đặt  $\sigma_{D_1}^2 = \sigma_R^2 = \sigma^2$ . Từ đó suy ra, SINR cho R để giải mã tín hiệu của  $D_2$  là:

$$\gamma_{2,R}^{t_1} = \frac{\alpha_2 \gamma_{SR}}{\alpha_1 \gamma_{SR} + 1}, \quad (3.6)$$

trong đó  $\gamma_{SR} = \rho_S \|h_{SR}\|_F^2$ .

Nếu R có thể giải mã thành công  $x_2$  thì SIC có thể được sử dụng để giải mã thêm  $x_1$ , tạo ra SNR giải mã cho  $x_1$  như sau:

$$\gamma_{1,R}^{t_1} = \alpha_1 \gamma_{SR}. \quad (3.7)$$

### 3.1.2. Giai đoạn chuyển tiếp

Cơ chế chuyển tiếp DF xếp chồng trong [9] yêu cầu cả  $x_2$  và  $x_1$  phải được giải mã thành công. Nếu  $x_1$  không được giải mã ở giai đoạn 1, R sẽ ở trạng thái im lặng, không phát ra tín hiệu hoặc dữ liệu trong giai đoạn hai và không có tín hiệu chuyển tiếp xếp chồng nào được hình thành và truyền đi, dẫn đến sự mất kết nối hoàn toàn tại  $D_2$ . Trong [9], S luôn ở trạng thái im lặng ở giai đoạn 2. Để cải thiện cả hiệu suất của hai người dùng và hiệu quả phổ, [10] đề xuất một giao thức chuyển tiếp DF nâng cao, có thể được coi là một sự mở rộng của cơ chế trong [9], sẽ được trình bày dưới đây.

Thực tế, nếu  $D_1$  có thể nhận được  $x_1$  ở giai đoạn 1 thì nó không cần giải mã  $x_1$  ở giai đoạn 2. Trong trường hợp này, không cần truyền lại  $x_1$  từ S ở giai đoạn 2 và  $D_1$  sẽ bỏ qua bất cứ điều gì mà trạm chuyển tiếp truyền ở giai đoạn 2.

Ở đây, về giao thức chuyển tiếp và chiến lược giải mã cho  $D_2$ , có các khả năng sau:

- Nếu R không giải mã được  $x_2$  ở giai đoạn 1, R sẽ ở trạng thái im lặng ở giai đoạn 2 và  $D_2$  rơi vào trạng thái mất kết nối hoàn toàn.
- Nếu R giải mã thành công  $x_2$  nhưng không giải mã được  $x_1$  ở giai đoạn 1, tín hiệu chuyển tiếp là  $x_2$  và SNR giải mã tại  $D_2$  sẽ được trình bày ở trường hợp 2 bên dưới.

- Nếu  $R$  giải mã thành công cả  $x_2$  và  $x_1$  ở giai đoạn 1, cơ chế chuyển tiếp DF xếp chồng thông thường [9] có thể được áp dụng tại  $R$ , tức là tín hiệu chuyển tiếp là tín hiệu xếp chồng, có biểu thức:

$$x_R = \sqrt{\beta_1 P_R} x_1 + \sqrt{\beta_2 P_R} x_2 \quad (3.8)$$

với công suất chuyển tiếp  $P_R$  và  $\beta_1, \beta_2$  thỏa mãn  $\begin{cases} \beta_1 + \beta_2 = 1 \\ \beta_1 < \beta_2 \end{cases}$  và SINR giải mã sẽ được trình bày ở trường hợp 4 bên dưới.

Giả sử  $D_1$  không nhận được  $x_1$  ở giai đoạn 1, giao thức chuyển tiếp mới và lược đồ giải mã cho cả hai người dùng ở giai đoạn 2 bằng cách xem xét 5 trường hợp sau.

#### 3.1.2.1. Trường hợp 1

Ở giai đoạn 1,  $R$  không giải mã được  $x_2$ . Hơn nữa,  $D_1$  không giải mã được  $x_1$ , bất kể nó có thể giải mã thành công  $x_2$  hay không.

Trong trường hợp này,  $D_2$  rơi vào trạng thái mất kết nối vì  $R$  ở trạng thái im lặng. Trong khi đó, vì mất kết nối xảy ra tại  $D_1$  ở giai đoạn 1, việc truyền lại  $x_1$  từ  $S$  sẽ cho  $D_1$  cơ hội thứ hai để nhận được tín hiệu mong muốn của nó. Do đó, SNR giải mã tương ứng tại  $D_1$  được cho bởi công thức sau:

$$\gamma_1^{t_2, c_1} = \gamma_{SD_1}. \quad (3.9)$$

#### 3.1.2.2. Trường hợp 2

Cả  $R$  và  $D_1$  đều giải mã thành công  $x_2$  nhưng không giải mã được  $x_1$  trong giai đoạn 1.

Rõ ràng, cơ chế chuyển tiếp DF truyền thống [9] không còn áp dụng được cho trường hợp này. Thay vào đó, nếu cho phép  $R$  chuyển tiếp  $x_2$  trong khi kích hoạt  $S$  để truyền lại  $x_1$  thì có thể cải thiện hiệu suất của cả hai người dùng và tăng hiệu quả phổ hệ thống. Quan sát này dựa trên thực tế rằng thông tin phụ của  $x_2$  được giải mã tại  $D_1$  trong giai đoạn 1 có thể được sử dụng làm thông tin trước để trừ tín hiệu nhiễu can thiệp được chuyển tiếp bởi  $R$  qua các kỹ thuật hủy bỏ tự can thiệp. Cụ thể, nhờ cấu hình nhiều anten,  $R$  có thể gọi ra tỷ lệ truyền tối đa (MRT) với vector trọng số truyền phát của



$w_2 = \frac{h_{RD_2}}{\|h_{RD_2}\|_F}$  để tăng cường hiệu suất của  $D_2$ . Do đó, tín hiệu nhận được tại  $D_2$  có thể được biểu diễn như sau:

$$y_{D_2}^{t_2} = \sqrt{P_R} h_{RD_2}^H w_2 x_2 + n_{D_2}^{t_2}, \quad (3.10)$$

trong đó  $h_{RD_2} = [h_{R_1 D_2}, h_{R_2 D_2}, \dots, h_{R_{N_T} D_2}]^T$  là vector hệ số kênh  $N_T \times 1$  trên liên kết chuyển tiếp cho  $D_2$  và  $n_{D_2}^{t_2}$  là AWGN có trung bình bằng 0 với phương sai  $\sigma_{D_2}^2$  do  $D_2$  trải qua trong giai đoạn thứ 2. Do đó, SNR nhận của  $D_2$  là:

$$\gamma_2^{t_2, C_2} = \gamma_{RD_2}, \quad (3.11)$$

trong đó  $\gamma_{RD_2} = \rho_R \|h_{RD_2}\|_F^2$  với  $\rho_R = \frac{P_R}{\sigma_{D_2}^2}$ . Để đơn giản, đặt  $\sigma_{D_2}^2 = \sigma^2$ .

Mặt khác, mặc dù  $D_1$  quan sát được một tín hiệu hỗn hợp như sau:

$$y_{D_1}^{t_2} = \sqrt{P_S} h_{SD_1} x_1 + \sqrt{P_R} h_{RD_1}^H w_2 x_2 + n_{D_1}^{t_2}, \quad (3.12)$$

trong đó  $h_{RD_1} = [h_{R_1 D_1}, h_{R_2 D_1}, \dots, h_{R_{N_T} D_1}]^T$  là vector hệ số kênh  $N_T \times 1$  trên liên kết can thiệp cho  $D_1$  và  $n_{D_1}^{t_2}$  là AWGN có trung bình bằng 0 với phương sai  $\sigma_{D_1}^2$  do  $D_1$  trải qua trong giai đoạn 2, với tín hiệu đã biết  $x_2$  sau khi ước lượng  $\sqrt{P_R} h_{RD_1}^H w_2$ , nó có thể loại bỏ điều kiện can thiệp của  $\sqrt{P_R} h_{RD_1}^H w_2 x_2$  trong (3.12), cho phép  $D_1$  giải mã tín hiệu mong muốn  $x_1$  với SNR dưới đây:

$$\gamma_1^{t_2, C_2} = \gamma_{SD_1}. \quad (3.13)$$

### 3.1.2.3. Trường hợp 3

$R$  giải mã thành công  $x_2$  nhưng không giải mã được  $x_1$  trong giai đoạn 1. Tuy nhiên,  $D_1$  không giải mã được  $x_2$ .

Rõ ràng, trong trường hợp này, SNR nhận của  $D_2$  có cùng biểu thức như (3.11). Tuy nhiên, nếu chúng ta vẫn áp dụng giao thức chuyển tiếp được sử dụng trong trường hợp 2 cho cả hai người dùng, chúng ta cần tìm một phương thức giải mã khác cho  $D_1$  để giải mã  $x_1$  vì phương pháp hủy bỏ nhiễu can thiệp trong trường hợp 2 không còn hợp lệ. May mắn thay, chúng ta nhận thấy rằng tín hiệu hỗn hợp nhận được tại  $D_1$  được cho bởi (3.12) có cấu trúc tương tự như tín hiệu nhận được tại bộ thu trong việc sử dụng kỹ thuật NOMA trong quá trình truyền lên cho hai người dùng cùng một lúc. Trong trường hợp đó, chúng ta có thể sử dụng kỹ thuật tiên tiến là SIC trong quá trình truyền lên của

hệ thống NOMA được đề xuất trong [11] để cho phép  $D_1$  loại bỏ nhiễu can thiệp từ  $R$ . Đầu tiên,  $D_1$  cần cố gắng giải mã thành phần nhiễu can thiệp  $x_2$  với SINR như sau:

$$\gamma_{2,1}^{t_2,C_3} = \frac{\gamma_{RD_1}}{\gamma_{SD_1} + 1}, \quad (3.14)$$

trong đó  $\gamma_{RD_1} = \rho_R \|h_{RD_1}^H w_2\|_F^2$ . Nếu  $D_1$  có thể giải mã thành công  $x_2$ , theo cơ chế SIC trong [11], nhiễu can thiệp đã giải mã này có thể được loại bỏ khỏi tín hiệu hỗn hợp nhận được  $y_{D_1}^{t_2}$ . Do đó, SNR giải mã của  $x_1$  tại  $D_1$  là:

$$\gamma_1^{t_2,C_3} = \gamma_{SD_1}. \quad (3.15)$$

Nếu không, nó sẽ giải mã trực tiếp  $x_1$  trong khi coi thành phần của  $D_2$  là nhiễu can thiệp không xác định, điều này dẫn đến SNR giải mã của  $x_1$

$$\gamma_{1,rev}^{t_2,C_3} = \frac{\gamma_{SD_1}}{\gamma_{RD_1} + 1}, \quad (3.16)$$

trong đó chỉ số “rev” chỉ ra rằng thứ tự giải mã là đảo ngược (reversed) vì  $x_1$  được giải mã trực tiếp so với (3.15).

#### 3.1.2.4. Trường hợp 4

$R$  giải mã thành công cả  $x_2$  và  $x_1$  trong giai đoạn 1. Tuy nhiên,  $D_1$  chỉ có thể giải mã  $x_2$  nhưng không thể giải mã  $x_1$ .

Rõ ràng rằng cơ chế chuyển tiếp DF xếp chồng thông thường [9] có thể được sử dụng tại  $R$ . Bằng cách gọi MRT,  $R$  sẽ truyền tín hiệu xếp chồng (3.8) lên cho cả hai người dùng. Do đó, tín hiệu tại cả hai người dùng trong giai đoạn hai có thể được viết là:

$$y_{D_n}^{t_1} = h_{RD_n}^H w_2 x_R + n_{D_n}^{t_2}, \quad n = 1, 2. \quad (3.17)$$

Do đó, SINR nhận được cho  $D_2$  để phát hiện  $x_2$  trong giai đoạn hai có thể được viết là:

$$\gamma_2^{t_2, C_4} = \frac{\beta_2 \gamma_{RD_2}}{\beta_1 \gamma_{RD_2} + 1}. \quad (3.18)$$

Tương tự như trường hợp 3, do  $D_1$  có thông tin trước về  $x_2$  trong giai đoạn 1, nó có thể loại bỏ điều kiện nhiễu  $h_{RD_n}^H w_2 \sqrt{\beta_2 P_R} x_2$  trong (3.17) qua các kỹ thuật huỷ bỏ nhiễu tự gây ra [12]. SNR giải mã cho  $x_1$  là:

$$\gamma_1^{t_2, C_4} = \beta_1 \gamma_{RD_1}. \quad (3.19)$$

### 3.1.2.5. Trường hợp 5

$R$  giải mã thành công cả  $x_2$  và  $x_1$  trong giai đoạn 1. Tuy nhiên,  $D_1$  không thể giải mã  $x_2$ .

Ở đây, giao thức chuyển tiếp cho trường hợp 4 cũng có thể áp dụng. Do đó, SINR nhận được của  $D_2$  có cùng biểu thức như (3.18). Tuy nhiên, do không có thông tin trước nào có thể được sử dụng để loại bỏ can nhiễu giữa các người dùng,  $D_1$  cần phải sử dụng SIC để đầu tiên giải mã  $x_2$ , tạo ra SINR giải mã cho  $x_2$  như sau:

$$\gamma_{2,1}^{t_2, C_5} = \frac{\beta_2 \gamma_{RD_1}}{\beta_1 \gamma_{RD_1} + 1}. \quad (3.20)$$

Sau khi phát hiện và loại bỏ thành công  $x_2$  bằng cách sử dụng SIC,  $D_1$  có thể đạt được SNR giải mã của  $x_1$  là:

$$\gamma_1^{t_2, C_5} = \beta_1 \gamma_{RD_1}. \quad (3.21)$$

## 3.2. MÔ HÌNH KÊNH

Chúng tôi sử dụng mô hình kênh có các liên kết vệ tinh  $S - R$  và  $S - D_1$  tuân theo phân phối Shadowed – Rician. Do đó, các hàm phân phối xác suất (PDF) của độ lợi kênh của liên kết trực tiếp  $D_1$  và bình phương biên độ của hệ số kênh, giữa  $S$  và anten nhận thứ  $i$  của  $R$  ( $1 \leq i \leq N_R$ ) được cho bởi công thức sau:

$$f_{|h_l|^2}(x) = \alpha_l e^{-\beta_l x} {}_1F_1(m_l; 1; \delta_l x) \quad (3.22)$$

trong đó  $\alpha_l = \frac{\left(\frac{2b_l m_l}{2b_l m_l + \Omega_l}\right)^{m_l}}{2b_l}$ ,  $\beta_l = \frac{1}{2b_l}$ ,  $\delta_l = \frac{\Omega_l}{2b_l(2b_l m_l + \Omega_l)}$ ,

$2b_l$  và  $\Omega_l$  lần lượt là công suất trung bình của thành phần đa đường (multi-path) và đường truyền trực tiếp (LoS) của các liên kết vệ tinh,  $m_l$  là tham số Nakagami-m đặc trưng của kênh truyền, nằm trong khoảng từ 0 đến  $\infty$  với chỉ số dưới  $l \in \{SD_1, SR_i\}$  và  ${}_1F_1(\cdot; \cdot; \cdot)$  là hàm confluent hypergeometric theo [13, công thức (9.100)].

Kênh giữa anten phát thứ  $j$  của relay ( $1 \leq j \leq N_T$ ) và  $D_n$ , ( $n = 1, 2$ ) có thể được mô hình hóa như suy giảm Rayleigh với công suất trung bình  $\Omega_{R_j D_n}$  [14]. Như vậy, PDF của độ lợi kênh tương ứng được cho bởi

$$f_{|h_{R_j D_n}|^2}(y) = \frac{1}{\Omega_{R_j D_n}} e^{-\frac{y}{\Omega_{R_j D_n}}}. \quad (3.23)$$

## CHƯƠNG 4. PHÂN TÍCH XÁC SUẤT DỪNG

### 4.1. ĐẶC TRƯNG THỐNG KÊ

Đặt  $l = SD_1$ . Từ (3.22) và [13, công thức (9.14.1)], suy ra PDF của  $\gamma_{SD_1}$  là:

$$f_{\gamma_{SD_1}}(x) = \alpha_{SD_1} e^{-\frac{\beta_{SD_1} x}{\rho_S}} \sum_{t=0}^{\infty} \frac{(m_{SD_1})_t \delta_{SD_1}^t}{(t!)^2 \rho_S^{t+1}} x^t. \quad (4.1)$$

Để đơn giản hóa phân tích, chúng ta giả sử rằng các vector  $h_{SR}$  và  $h_{RD_n}$  có các phần tử độc lập và phân phối giống nhau [14]. Do đó, các chỉ số anten, tức  $i$  và  $j$  có thể được bỏ qua.

Bằng cách sử dụng phép biến đổi Laplace ngược của hàm sinh moment của (3.22) và công thức 9.14.1 [13], với  $l = SR_i$ , suy ra PDF của  $\gamma_{SR}$  là

$$f_{\gamma_{SR}}(x) = \frac{\alpha_{SR}^{N_R}}{\Gamma(N_R)} e^{-\frac{\beta_{SR} x}{\rho_S}} \sum_{t=0}^{\infty} \frac{(m_{SR} N_R)_t \delta_{SR}^t}{t! (N_R)_t \rho_S^{t+N_R}} x^{t+N_R} 5^{pt-1}, \quad (4.2)$$

trong đó  $\Gamma(\cdot)$  là hàm gamma hoàn toàn [13, công thức (8.350)].

Bằng cách áp dụng [13, công thức (3.351.1)], cho (4.1) và (4.2), chúng ta có thể dễ dàng có các hàm mật độ tích lũy (CDF) của  $\gamma_{SD_1}$  và  $\gamma_{SR}$  như sau:

$$F_{\gamma_{SD_1}}(x) = \Lambda_1 \gamma(t+1, \zeta_1 x) \triangleq \Phi_1(x), \quad (4.3)$$

$$F_{\gamma_{SR}}(x) = \Lambda_2 \gamma(t+N_R, \zeta_2 x) \triangleq \Phi_2(x), \quad (4.4)$$

trong đó  $\zeta_1 = \frac{\beta_{SD_1}}{\rho_S}$ ,  $\zeta_2 = \frac{\beta_{SR}}{\rho_S}$ ,

$$\Lambda_1 = \alpha_{SD_1} \sum_{t=0}^{\infty} \frac{(m_{SD_1})_t \delta_{SD_1}^t}{(t!)^2 \rho_S^{t+1}}, \quad \Lambda_2 = \frac{\alpha_{SR}^{N_R}}{\Gamma(N_R)} \sum_{t=0}^{\infty} \frac{(m_{SR} N_R)_t \delta_{SR}^t}{t! (N_R)_t \rho_S^{t+N_R}},$$

$\gamma(\cdot, \cdot)$  là hàm gamma không hoàn toàn [13, công thức (8.350.1)].

Đặt  $\varphi_n = \frac{1}{\rho_R \Omega_{RD_n}}$  và áp dụng [15, định lý 1 và 2] cho (3.23), chúng ta có thể lần lượt thu được các hàm CDF của  $\gamma_{RD_n}$  như sau:

$$F_{\gamma_{RD_1}}(y) = 1 - e^{-\frac{y}{\varphi_1}}, \quad (4.5)$$

$$F_{\gamma_{RD_2}}(y) = \frac{\gamma(N_T, \varphi_2 y)}{\Gamma(N_T)} \triangleq h(y). \quad (4.6)$$

## 4.2. XÁC SUẤT DỪNG

### 4.2.1. Xác suất dừng của $D_1$

Để dễ mô tả, chúng ta ký hiệu SINR mục tiêu được xác định trước của mỗi người dùng là  $\gamma_{th_n} \triangleq 2^{2R_n} - 1$ , với  $R_n$  là tốc độ mục tiêu cho  $D_n$  và định nghĩa  $\mathcal{A} \triangleq \{\gamma_{2,1}^{t_1} > \gamma_{th_2}, \gamma_1^{t_1} > \gamma_{th_1}\}$  là sự kiện mà  $D_1$  có thể giải mã thành công cả  $x_2$  và  $x_1$  trong giai đoạn 1.

Dựa trên giao thức chuyển tiếp và lược đồ giải mã được đề xuất,  $D_1$  sẽ bị mất liên lạc nếu nó không thể nhận được  $x_1$  từ cả hai giai đoạn. Bằng cách sử dụng định lý xác suất toàn phần cho 5 trường hợp trên, OP của  $D_1$  có thể được biểu diễn toán học như sau:

$$\begin{aligned} OP_1 = & \Pr(\gamma_{2,R}^{t_1} \leq \gamma_{th_2}) \Pr(\bar{\mathcal{A}}, \gamma_1^{t_2, C_1} \leq \gamma_{th_1}) \\ & + \Pr(\gamma_{2,R}^{t_1} > \gamma_{th_2}, \gamma_{1,R}^{t_1} \leq \gamma_{th_1}) \\ & \times [\Pr(\gamma_{2,1}^{t_1} > \gamma_{th_2}, \gamma_1^{t_1} \leq \gamma_{th_1}, \gamma_1^{t_2, C_2} \leq \gamma_{th_1}) \\ & + \Pr(\gamma_{2,1}^{t_1} \leq \gamma_{th_2}, \gamma_{2,1}^{t_2, C_3} > \gamma_{th_2}, \gamma_1^{t_2, C_3} \leq \gamma_{th_1}) \\ & + \Pr(\gamma_{2,1}^{t_1} \leq \gamma_{th_2}, \gamma_{2,1}^{t_2, C_3} \leq \gamma_{th_2}, \gamma_{1,rev}^{t_2, C_3} \leq \gamma_{th_1})] + \Pr(\gamma_{2,R}^{t_1} \\ & > \gamma_{th_2}, \gamma_{1,R}^{t_1} \\ & > \gamma_{th_1}) \\ & \times [\Pr(\gamma_{2,1}^{t_1} > \gamma_{th_2}, \gamma_1^{t_1} \leq \gamma_{th_1}, \gamma_1^{t_2, C_4} \leq \gamma_{th_1}) \\ & + \Pr(\gamma_{2,1}^{t_1} \leq \gamma_{th_2}, \gamma_{2,1}^{t_2, C_5} \leq \gamma_{th_2}) \\ & + \Pr(\gamma_{2,1}^{t_1} \leq \gamma_{th_2}, \gamma_{2,1}^{t_2, C_5} > \gamma_{th_2}, \gamma_1^{t_2, C_5} \leq \gamma_{th_1})] \end{aligned} \quad (4.7)$$

với  $\bar{\mathcal{A}}$  biểu thị tập bù của  $\mathcal{A}$ .

Ở đây, (4.7) dựa trên giả định  $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} > \gamma_{th_2}$ . Nếu  $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \leq \gamma_{th_2}$ , dễ dàng chứng minh rằng  $D_1$  chắc chắn rơi vào trường hợp 1, suy ra:

$$OP_1 = \Pr(\gamma_{SD_1} \leq \gamma_{th_1}) = F_{\gamma_{SD_1}}(\gamma_{th_1}) = \Phi_1(\gamma_{th_1}). \quad (4.8)$$

trong đó,  $\gamma_{SD_1}$  là giá trị ngưỡng nhiễu tức thời,

$\gamma_{th_1}$  là giá trị ngưỡng nhiễu xác định,

$F_{\gamma_{SD_1}}(\gamma_{th_1})$  là CDF của SNR tức thời.

Bằng cách thế (3.3), (3.4), (3.6), (3.7), (3.9), (3.13)-(3.16), (3.19)-(3.21), (4.1), và (4.3)-(4.5) vào (4.7), sau một số thao tác đại số, chúng ta có định lý 1 dưới đây.

Định lý 1: Xác suất dừng chính xác của  $D_1$  được cho bởi công thức sau [10]:

$$OP_1 = \varsigma_1 U\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1} - \gamma_{th_2}\right) + \Phi_1(\gamma_{th_1}) U\left(\gamma_{th_2} - \frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right), \quad (4.9)$$

trong đó  $U(\cdot)$  biểu thị hàm bước đơn vị và

$$\varsigma_1 = \Phi_2(v_2)\Phi_1(\gamma_{th_1}) \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} &+ [\Phi_2(v_1) - \Phi_2(v_2)]U(v_1 - v_2) \left[ (\Phi_1(\gamma_{th_1}) - \Phi_1(v_2))U(\gamma_{th_1} - v_2) \right. \\ &\quad \left. + \Xi \right] \\ &+ (1 - \Phi_2(v)) \left[ \Phi_1(v_2) \left( e^{-\frac{\kappa_2}{\varphi_1}} - e^{-\frac{\kappa_1}{\varphi_1}} \right) U(\kappa_1 - \kappa_2) + \Phi_1(v_2) e^{-\frac{\kappa_2}{\varphi_1}} \right. \\ &\quad \left. + (\Phi_1(v_1) - \Phi_1(v_2))U(v_1 - v_2) e^{-\frac{\kappa_1}{\varphi_1}} \right] \end{aligned}$$

với  $v_2 = \frac{\gamma_{th_2}}{\alpha_2 - \gamma_{th_2}\alpha_1}$ ,  $v_1 = \frac{\gamma_{th_1}}{\alpha_1}$ ,  $v = \max\{v_2, v_1\}$ ,

$$\Xi = \Lambda_1 \left( 2\omega_1(d) - \omega_1(\gamma_{th_1}) \right) + \varepsilon_1(\gamma_{th_2}, \mu) - \varepsilon_1(\gamma_{th_1}, d) - \varepsilon_2, \omega_1(x)$$

$$= \gamma(t + 1, \zeta_1 x)$$

$$d = \begin{cases} \varpi, \gamma_{th_1} \gamma_{th_2} < 1 \\ v_2, \gamma_{th_1} \gamma_{th_2} \geq 1 \end{cases}$$

$$\varpi = \min \left\{ v_2, \frac{\gamma_{th_2}(1+\gamma_{th_1})}{1-\gamma_{th_1}\gamma_{th_2}} \right\}$$

$$\varepsilon_1(x, y) = \Lambda_1 \zeta_1^{t+1} \frac{\gamma(t+1, (\zeta_1 + \varphi_1 x)y)}{e^{\varphi_1 x (\zeta_1 + \varphi_1 x)^{t+1}}}$$

$$\mu = \min\{v_2, \gamma_{th_1}\}$$

$$\varepsilon_2 = e^{\varphi_1} \Lambda_1 \zeta_1^{t+1} [\omega_2(d) - \omega_2(\gamma_{th_1})] \lambda^{-(t+1)}$$

$$\lambda = \frac{\varphi_1}{\gamma_{th_1}} + \zeta_1$$

$$\omega_2(x) = \gamma(t+1, \lambda x)$$

$$\kappa_1 = \frac{\gamma_{th_1}}{\beta_1}, \kappa_2 = \frac{\gamma_{th_2}}{\beta_2 - \gamma_{th_2} \beta_1}$$

#### 4.2.2. Xác suất dừng của $D_2$

Rõ ràng,  $D_2$  sẽ bị mất kết nối khi  $R$  ở trạng thái im lặng trong giai đoạn 2 hoặc  $D_2$  không giải mã được  $x_2$  từ tín hiệu chuyển tiếp được truyền bởi  $R$  trong giai đoạn 2. Bằng cách sử dụng định lý xác suất toàn phần, chúng ta có thể có OP của  $D_2$  như sau:

$$\begin{aligned} OP_2 = & \Pr(\gamma_{2,R}^{t_1} \leq \gamma_{th_2}) + \Pr(\gamma_{2,R}^{t_1} > \gamma_{th_2}, \gamma_{1,R}^{t_1} \leq \gamma_{th_1}) \Pr(\gamma_2^{t_2, C_2} \leq \gamma_{th_2}) \\ & + \Pr(\gamma_{2,R}^{t_1} > \gamma_{th_2}, \gamma_{1,R}^{t_1} > \gamma_{th_1}) \Pr(\gamma_2^{t_2, C_4} \leq \gamma_{th_2}) \end{aligned} \quad (4.11)$$

Nếu  $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \leq \gamma_{th_2}$ , dễ dàng chứng minh rằng  $OP_2$  sẽ luôn bằng 1. Thế (3.6), (3.7), (3.11), (3.18), (4.4) và (4.6) vào (4.11), sau khi thực hiện các thao tác đại số thích hợp, chúng ta có thể có định lý 2 dưới đây.

**Định lý 2:** Xác suất dừng chính xác cho  $D_2$  được cho bởi công thức sau [10]:



$$OP_2 = \varsigma_2 U \left( \frac{\alpha_2}{\alpha_1} - \gamma_{th_2} \right) + U \left( \gamma_{th_2} - \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right), \quad (4.12)$$

trong đó  $\varsigma_2 = \Phi_2(v_2) + [\Phi_2(v_1) - \Phi_2(v_2)]U(v_1 - v_2)h(\gamma_{th_2}) + [1 - \Phi_2(v)]h(\kappa_2)$

### 4.3. PHÂN TÍCH CẤP ĐỘ PHÂN TẬP

Bằng cách theo một phương pháp tương tự trong [9], chúng ta có thể tính toán các xác suất dừng tiệm cận của cả hai người dùng, dựa trên đó chúng ta có thể thu được các cấp độ phân tập như sau.

Đề xuất 1: Cấp độ phân tập của  $D_1$  ( $DO_1$ ) được cho bởi [10]:

$$DO_1 = \begin{cases} 2, & \text{nếu } \frac{\alpha_2}{\alpha_1} > \gamma_{th_2} \\ 1, & \text{nếu } \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \leq \gamma_{th_2} \end{cases} \quad (4.13)$$

Nhận xét 1: Khi cho  $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \leq \gamma_{th_2}$ ,  $D_1$  của có thể đạt được một cấp độ phân tập khác 0, điều này được hưởng lợi từ giao thức chuyển tiếp và lược đồ giải mã được đề cập ở trên cho  $D_1$ .

Đề xuất 2: Cấp độ phân tập của  $D_2$  ( $DO_2$ ) được cho bởi [10]:

$$DO_2 = \begin{cases} \min \{N_R, N_T\}, & \text{nếu } \frac{\alpha_2}{\alpha_1} > \gamma_{th_2} \\ 0, & \text{nếu } \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \leq \gamma_{th_2} \end{cases} \quad (4.14)$$

Nhận xét 2: Cần lưu ý rằng cấp độ phân tập của cả hai người dùng đều độc lập với các tham số suy giảm của liên kết vệ tinh.

Như có thể thấy từ đề xuất 1 và 2, khi  $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} > \gamma_{th_2}$ , cấp độ phân tập của  $D_1$  được cố định ở 2, trong khi cấp độ phân tập của  $D_2$  có thể được cải thiện bằng cách kỹ thuật đa anten. Để cải thiện hiệu suất của  $D_1$ , chúng ta có thể điều chỉnh các yếu tố phân bổ công suất trong trường hợp 5 được đề cập ở trên như  $\beta_1 > \beta_2$ . Trong trường hợp đó,  $D_1$  sẽ giải mã trực tiếp  $x_1$  trong khi  $D_2$  sẽ sử dụng SIC để giải mã  $x_2$  trước và sau đó là  $x_1$ .

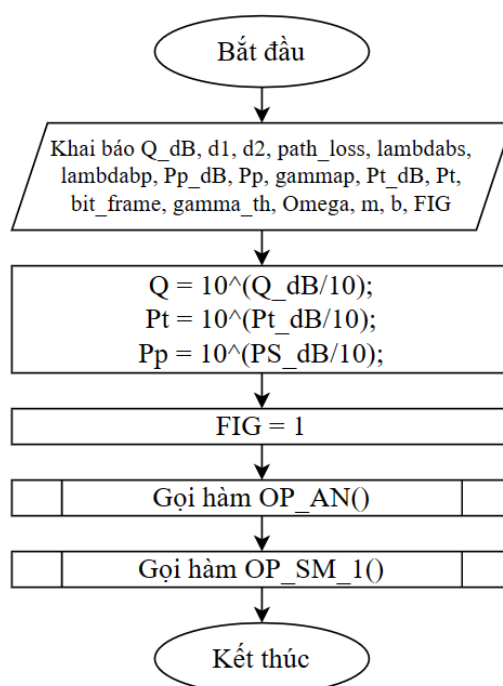
## CHƯƠNG 5. MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

Trong đề tài này, chọn số mẫu thử (bit\_frame) là  $10^4$  mẫu, hệ số suy hao path\_loss là 3. Chọn 2 bộ số Shadowed – Rician là  $(b_s, m_s, \Omega_s) = (0.251, 5.1, 0.279)$  và  $(b_s, m_s, \Omega_s) = (0.063, 0.739, 8.97 \times 10^{-4})$ .

### 5.1. LƯU ĐỒ GIẢI THUẬT

Với mô hình và các công thức đã nghiên cứu trong chương 3 và chương 4, chúng tôi xây dựng và đưa ra lưu đồ giải thuật tóm gọn các bước xử lý như hình 5.1. Hình 5.1 là lưu đồ thể hiện chương trình chính của nghiên cứu bao gồm mô phỏng và phân tích xác suất dừng của hệ thống. Đầu tiên chúng tôi thiết lập các tham số chung cho chương trình, gồm:  $Q$  là hệ số ràng buộc can thiệp,  $P_t$  là công suất phát tối đa ở trạm gốc,  $P_p$  là công suất phát tại vệ tinh. Việc tính toán và xử lý các thống số sẽ được giải quyết thông qua 2 hàm sau:

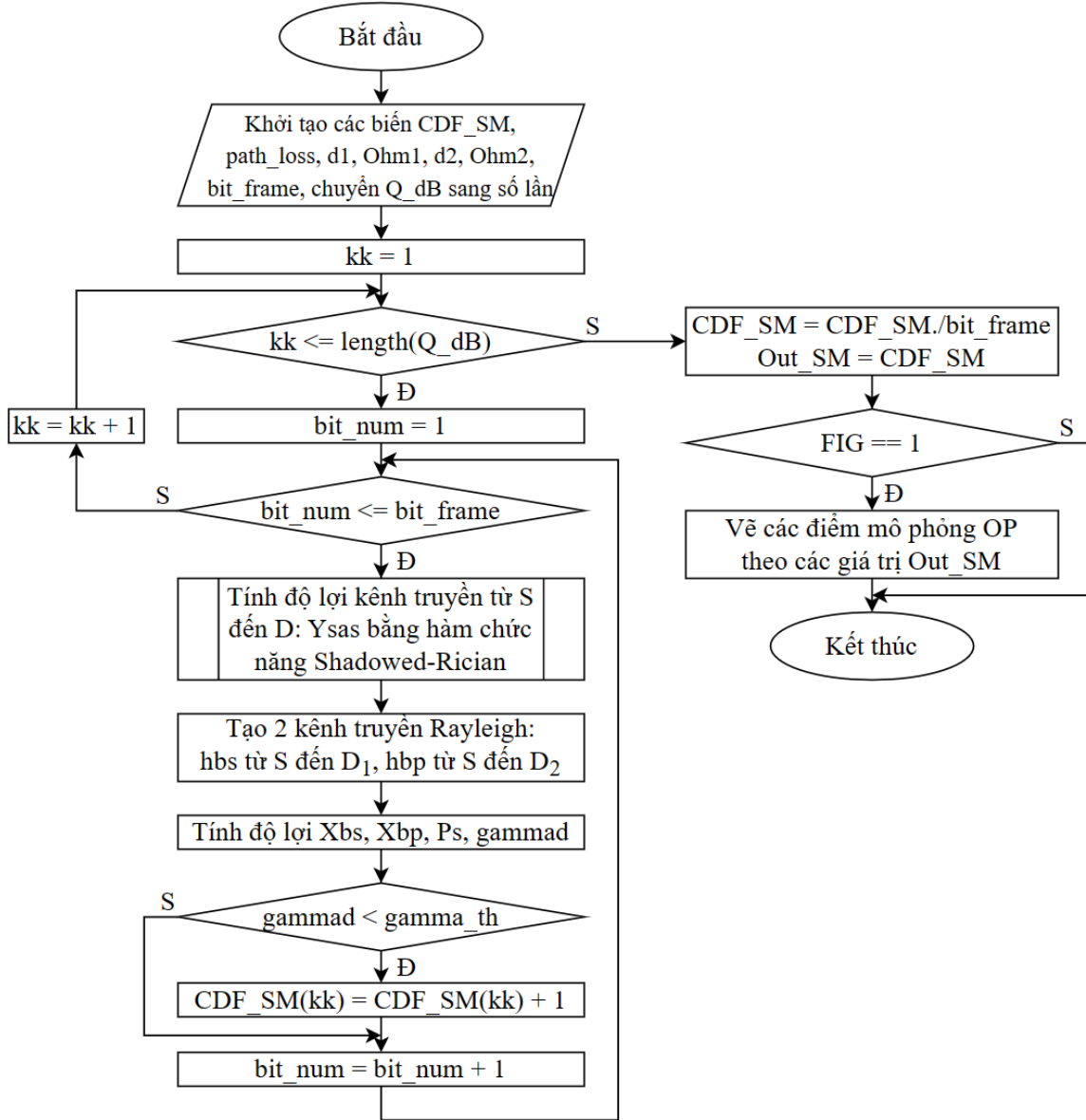
- Hàm OP\_SM\_1 dùng để mô phỏng.
- Hàm OP\_AN phân tích lý thuyết.



**Hình 5.1.** Lưu đồ chương trình mô phỏng và phân tích xác suất dừng theo hệ số can nhiễu ràng buộc  $Q_{dB}$

Công việc của chương trình chính là khởi tạo các biến và truyền các giá trị tham số xuống các hàm chức năng để sử dụng cho phân tích và mô phỏng. Dưới đây là lưu đồ giải thuật cho cả hai hàm chức năng OP\_SM\_1 và OP\_AN (hình 5.2 và 5.3).

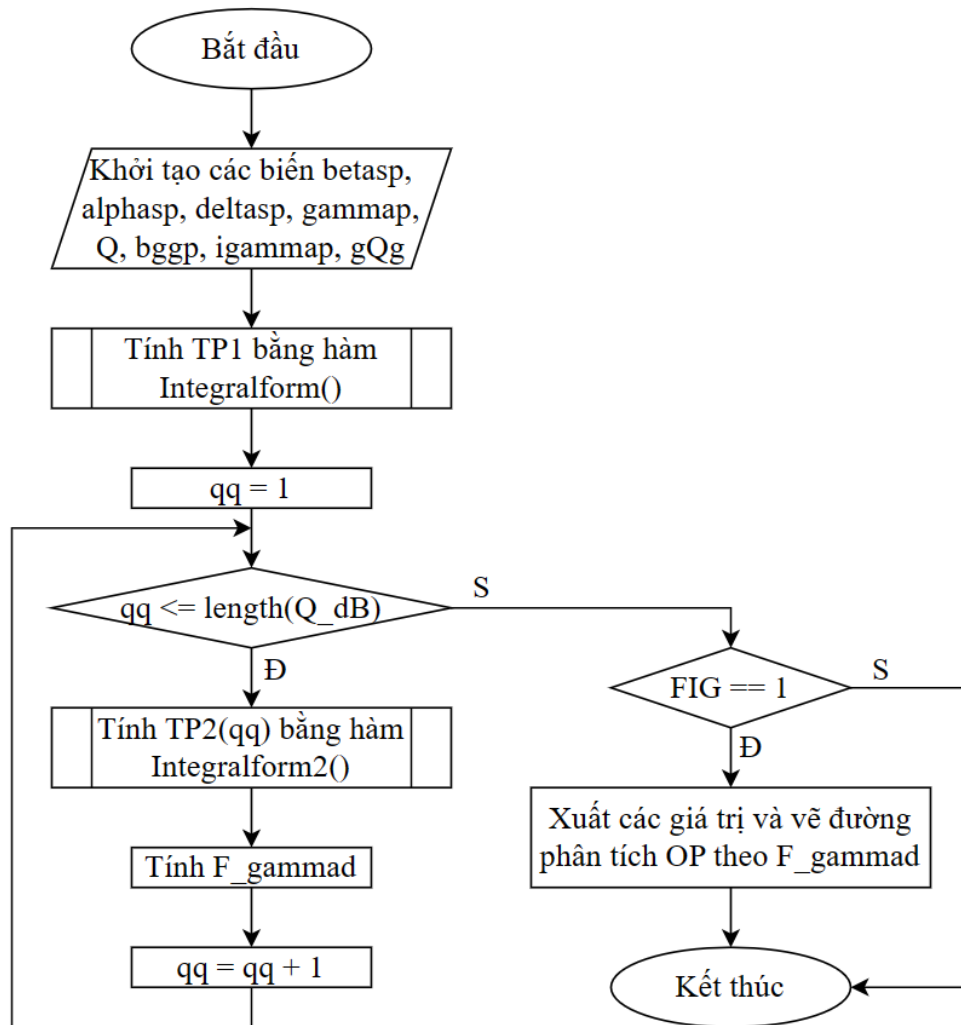
Lưu đồ bên dưới (hình 5.2) thể hiện trình tự các bước tính ngưỡng nhiễu  $\gamma_{SD_1}$  (gammad) và mô phỏng xác suất dừng của hệ thống theo sự thay đổi giá trị hệ số can nhiễu Q\_dB, dựa trên công thức (4.8). Bước đầu tiên, chúng tôi khởi tạo biến CDF\_SM là một vector 0; các giá trị d1 ( $SD_1$ ), d2 ( $SD_2$ ) lần lượt là khoảng cách từ trạm gốc tới người dùng thứ nhất  $D_1$  và thứ hai  $D_2$ , hệ số suy hao đường truyền path\_loss, số mẫu thử bit\_frame, chuyển đổi hệ số can nhiễu của Q từ dB sang lần. Chương trình gồm hai vòng lặp, vòng lặp thứ nhất có biến kk chạy từ 1 tới chiều dài Q\_dB để thực hiện số lần mô phỏng, vòng lặp thứ hai khởi tạo biến bit\_num bằng 1 và cho chạy đủ số mẫu thử bit\_frame của mỗi lần xuất giá trị. Trong vòng lặp khi cho chạy đủ số mẫu thử bit\_frame, chúng tôi thực hiện sẽ tính độ lợi kênh truyền từ vệ tinh đến người dùng chính, khởi tạo hai kênh truyền Rayleigh lần lượt từ trạm gốc đến người dùng thứ nhất và từ trạm gốc đến người dùng thứ 2, tính độ lợi các kênh trên. Theo công thức (4.8)  $\gamma_{SD_1} \leq \gamma_{th_1}$  là điều kiện xảy ra xác suất dừng trên hệ thống, cứ mỗi giá trị  $\gamma_{SD_1}$  thỏa điều kiện, biến đếm CDF\_SM được tính có thêm một lần xảy ra dừng hệ thống. Biến Out\_SM là xác suất dừng của hệ thống, tính bằng cách lấy số lần xảy ra dừng CDF\_SM chia cho số mẫu thử bit\_frame trong một lần thử. Tiếp tục chạy các lần mô phỏng tiếp theo cho đến khi kết thúc vòng lặp thứ nhất kk. Dùng các kết quả xuất ra của biến Out\_SM để vẽ đồ thị đường mô phỏng xác suất dừng của hệ thống.



**Hình 5.2.** Lưu đồ giải thuật mô tả hàm OP\_SM\_1

Sau lưu đồ của hàm mô phỏng OP\_SM, chúng tôi tiếp tục trình bày lưu đồ giải thuật của quá trình phân tích giá trị xác suất dừng  $F_{\gamma_{SD_1}}(\gamma_{th_1})$  theo sự thay đổi giá trị của hệ số can nhiễu Q\_dB. Bắt đầu vào lưu đồ giải thuật, chúng tôi khởi tạo các biến betasp, alphasp, deltap để tính hàm confluent hypergeometric, các biến bggp, igammap, gQg là các biến trung gian nhằm thu gọn các hàm, thuận tiện cho quá trình lập trình. Do hệ số can nhiễu Q\_dB là một giá trị vector nên chúng tôi tạo biến qq và cho qq vào vòng lặp chạy từ 1 đến độ dài Q\_dB. Ứng với mỗi một vòng lặp qq, sẽ cho ra một giá trị của hàm con TP2 khác nhau, cùng với giá trị của hàm con TP1 sẽ tính

được giá trị hàm phân tích  $F_{\text{gammad}}$  khác nhau. Lấy các giá trị  $F_{\text{gammad}}$  nhận được vẽ đường biểu diễn và so sánh với các giá trị ngõ ra của hàm chức năng mô phỏng tại các giá trị  $Q_{\text{dB}}$  được thiết lập. Hình 5.3 là lưu đồ của hàm phân tích xác suất dừng của hệ thống.



**Hình 5.3.** Lưu đồ giải thuật mô tả hàm  $OP\_AN$

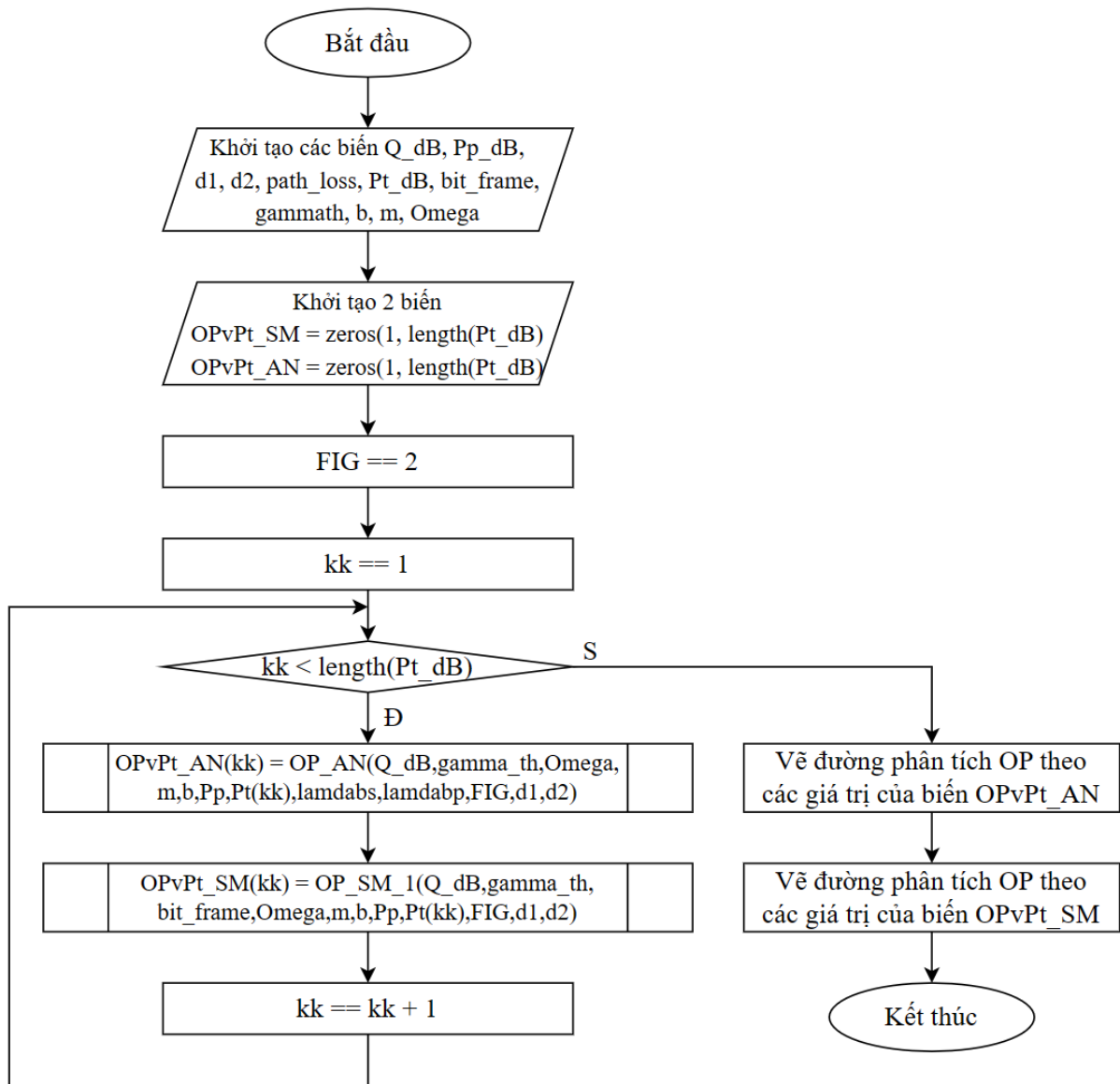
Chúng tôi đặt tên hàm chức năng mô phỏng và hàm chức năng phân tích, ứng với tên hàm trong công cụ MATLAB lần lượt là:

$OP\_SM(Q_{\text{dB}}, \text{gamma\_th}, \text{bit\_frame}, \Omega, m, b, P_p, P_t, \text{FIG}, d1, d2)$ ,

$OP\_AN(Q_{\text{dB}}, \text{gamma\_th}, \Omega, m, b, P_p, P_t, \text{FIG}, \text{lamdabs}, \text{lamdabp}, d1, d2)$ ,

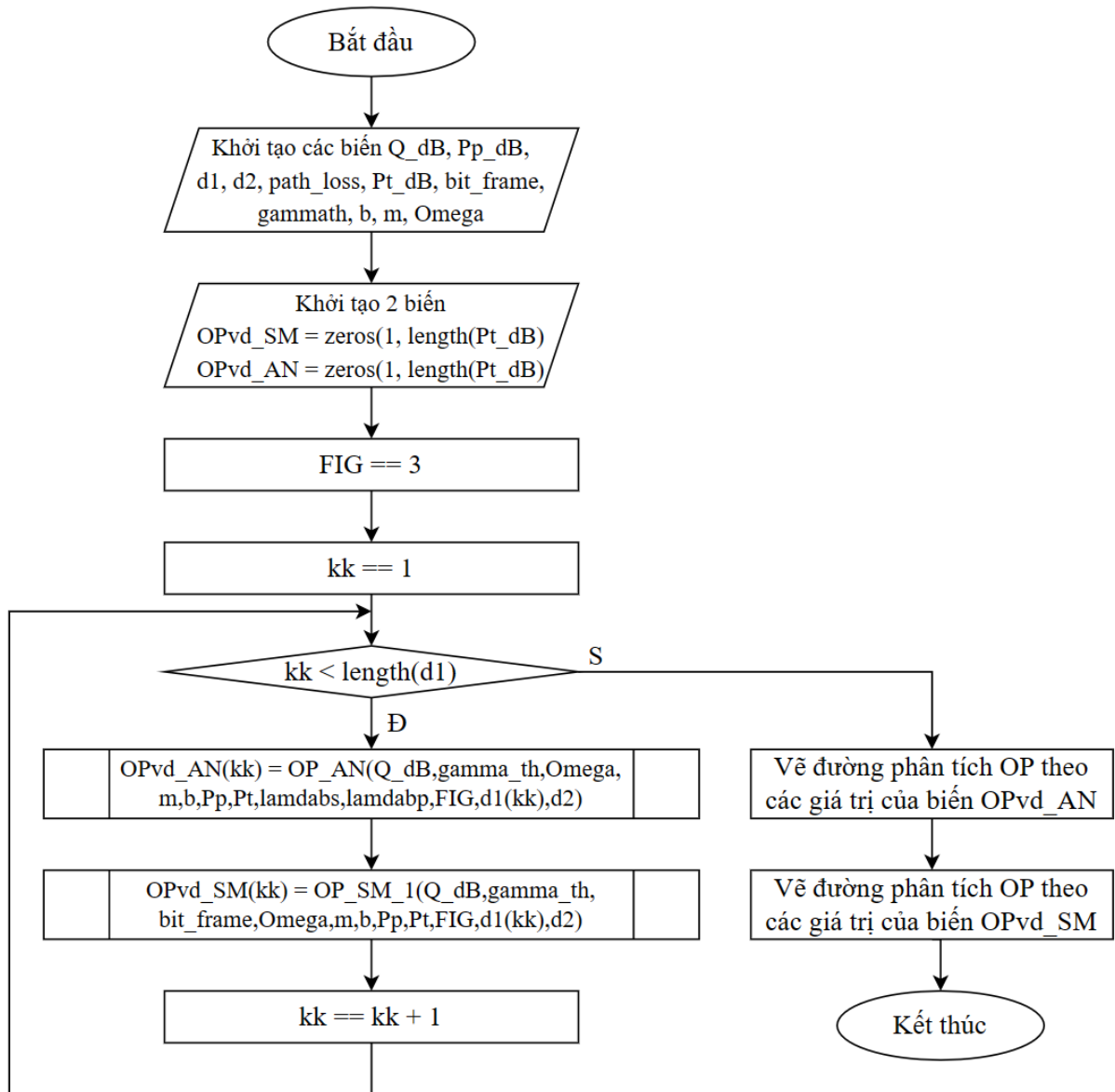
trong đó,  $OP\_SM$  và  $OP\_AN$  là tên hàm, các giá trị  $Q_{\text{dB}}$ ,  $\text{gamma\_th}$ ,  $\Omega$ ,  $m$ ,  $b$ ,  $P_p$ ,  $P_t$ ,  $\text{FIG}$ ,  $\text{lamdabs}$ ,  $\text{lamdabp}$ ,  $d1$ ,  $d2$  là các giá trị đầu vào của hàm, được truyền từ chương trình chính.

Sau khi đã nghiên cứu về ảnh hưởng của hệ số can nhiễu ràng buộc  $Q$  lên xác suất dừng của hệ thống, chúng tôi thực hiện phân tích ảnh hưởng của công suất phát tối đa tại trạm gốc  $P_t$ , được biểu diễn qua lưu đồ hình 5.4. Bắt đầu chương trình, chúng tôi thực hiện khởi tạo các biến cần thiết để truyền xuống các hàm chức năng như khoảng cách  $d1, d2$ ; hệ số suy hao  $path\_loss$ ; ngưỡng nhiễu mong muốn  $gamma_{th}$ ; số mẫu thử  $bit\_frame$ ; công suất phát tại vệ tinh  $P_{p\_dB}$ . Do thực hiện phân tích xác suất dừng theo công suất phát tối đa tại trạm gốc nên  $P_{t\_dB}$  được thiết lập là một vector và cố định giá trị  $Q_{dB}$ . Vòng lặp  $kk$  chạy từ 1 đến độ dài của  $P_{t\_dB}$  để thực hiện số lần mô phỏng. Chúng tôi dùng hai biến lần lượt là  $OPvPt\_AN$  và  $OpvPt\_SM$ , ban đầu là hai vector 0, được dùng như hai giá trị trả về khi gọi lại hai hàm chức năng mô phỏng và phân tích. Do đã thiết lập giá trị  $FIG = 2$  nên các đường phân tích và các điểm mô phỏng xác suất dừng theo  $P_t$  sẽ được vẽ theo các giá trị của hai biến  $OpvPt\_AN$  và  $OpvPt\_SM$ , tránh trả về kết quả mô phỏng và phân tích theo  $Q_{dB}$  khi đặt  $FIG = 1$ .



**Hình 5.4.** Lưu đồ chương trình mô phỏng và phân tích OP theo công suất phát tối đa tại trạm phát gốc  $Pt_{dB}$

Hình 5.5 là lưu đồ giải thuật biểu diễn việc phân tích và mô phỏng xác suất dừng của hệ thống với khoảng cách  $SD_1$  từ nguồn  $S$  đến người dùng  $D_1$ . Lưu đồ có cách hoạt động tương tự như lưu đồ hình 5.4. Vòng lặp  $kk$  khi này chạy từ 1 đến độ dài của  $d$  để thực hiện số lần mô phỏng. Chúng tôi dùng 2 biến lần lượt là  $OPvd\_AN$  và  $OPvd\_SM$ . Ban đầu là 2 vector không, được dùng như 2 giá trị trả về khi gọi lại hai hàm chức năng mô phỏng và phân tích. Thiết lập giá trị  $FIG = 3$  nên các đường phân tích và các điểm mô phỏng xác suất dừng theo  $SD_1$  sẽ được vẽ theo các giá trị của hai biến  $OPvd\_AN$  và  $OPvd\_SM$ .



**Hình 5.5.** Lưu đồ chương trình mô phỏng và phân tích OP theo khoảng cách  $SD_1$

từ nguồn  $S$  đến người dùng  $D_1$



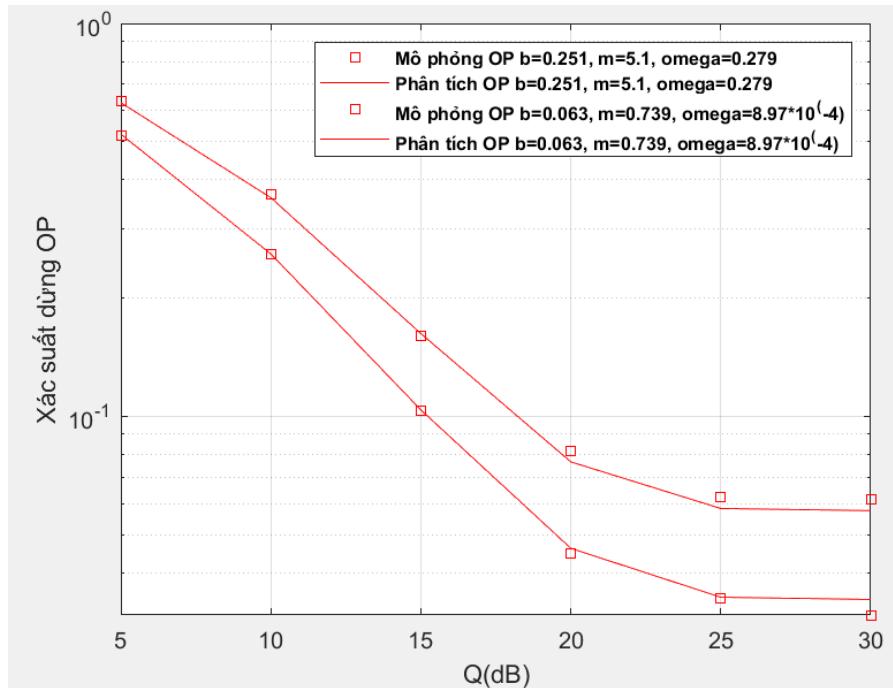
## 5.2. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trong phần này, chúng tôi mô phỏng các trường hợp ảnh hưởng đến xác suất dừng của hệ thống.

Chúng tôi thiết lập một số thông số cho hệ thống để mô phỏng và phân tích xác suất dừng bằng hệ số can nhiễu ràng buộc:

- $Q_{dB}$ : vector có giá trị từ 5 dB đến 30 dB với bước nhảy là 5.
- $P_t_{dB}$ : công suất phát tối đa của trạm gốc, có giá trị là 20dB.
- $P_p_{dB}$ : có giá trị là 1dB, dùng để tính giá trị xác suất đầu ra  $\gamma_{SD_1}$ .
- $\gamma_{th}$  ( $\gamma_{th_1}$ ): có giá trị ngưỡng nhiễu dự kiến là 3.
- Mô hình Shadowed-Rician gồm các thành phần:  $b_s$ ,  $m_s$ ,  $\Omega_s$ .
- Khoảng cách  $d_1$  ( $SD_1$ ) và  $d_2$  ( $SD_2$ ) bằng nhau và bằng 1.

Kết quả mô phỏng xác suất dừng của hệ thống theo hệ số ràng buộc can nhiễu  $Q_{dB}$  được hiển thị trong hình 5.6, sự thay đổi được trình bày trong bảng 5.1. Đường phía trên mô phỏng cho bộ số  $(b_s, m_s, \Omega_s) = (0.251, 5.1, 0.279)$  và đường phía dưới mô phỏng cho bộ số  $(b_s, m_s, \Omega_s) = (0.063, 0.739, 8.97 \times 10^{-4})$ .



**Hình 5.6.** Kết quả mô phỏng và phân tích xác suất dừng theo hệ số ràng buộc can nhiễu  $Q_{dB}$

**Bảng 5.1.** Bảng giá trị xác suất dừng theo hệ số ràng buộc can nhiễu  $Q_{dB}$ 

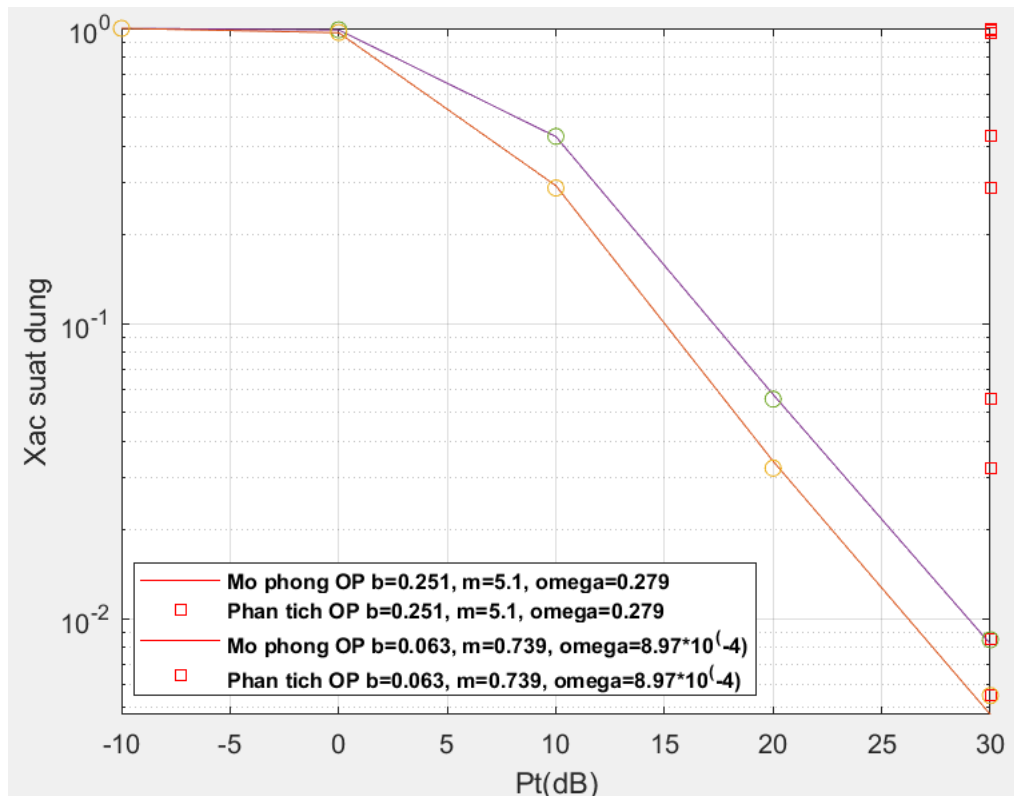
$Q_{dB}$		5	10	15	20	25	30
OP	Mô phỏng	0.6224	0.3600	0.1657	0.0754	0.0566	0.0564
	Phân tích	0.6281	0.3599	0.1623	0.0765	0.0582	0.0575
$b_s = 0.251$ $m_s = 5.1$ $\Omega_s = 0.279$	Mô phỏng	0.5177	0.2603	0.1064	0.0477	0.0339	0.0334
	Phân tích	0.5222	0.2589	0.1038	0.0461	0.0346	0.0342

Từ bảng 5.1 và hình 5.6 có thể thấy hệ thống có OP càng giảm khi  $Q_{dB}$  càng tăng, hay nói cách khác là OP tỷ lệ nghịch với  $Q_{dB}$ . Hệ thống bão hòa tại  $Q_{dB}$  bằng 25dB đến 30dB. Khi các thông số Shadowed – Rician càng giảm thì xác suất dừng theo can nhiễu ràng buộc càng thấp. Do đó, mô hình kênh truyền Shadowed – Rician có ảnh hưởng lớn đến xác suất dừng cũng như tính ổn định của hệ thống.

Chúng tôi thiết lập một vài thông số cho hệ thống để mô phỏng và phân tích xác suất dừng theo công suất phát như sau:

- $Q_{dB}$ : có giá trị là 30dB.
- $P_{t_{dB}}$ : vector có giá trị từ -10dB đến 30dB, bước nhảy là 10.
- $P_{p_{dB}}$ : có giá trị là 1dB, dùng để tính giá trị xác suất đầu ra  $\gamma_{SD_1}$ .
- $\gamma_{th}$  ( $\gamma_{th_1}$ ): có giá trị ngưỡng nhiễu dự kiến là 3.
- Mô hình Shadowed-Rician gồm các thành phần:  $b_s$ ,  $m_s$ ,  $\Omega_s$ .
- Khoảng cách  $d_1$  ( $SD_1$ ) và  $d_2$  ( $SD_2$ ) bằng nhau và bằng 1.

Hình 5.7. là kết quả mô phỏng và phân tích xác suất dừng của hệ thống khi công suất phát tối đa khả dụng tại trạm gốc có sự thay đổi. Sự thay đổi này sẽ được trình bày trong bảng 5.2. Đường phía trên mô phỏng cho bộ số  $(b_s, m_s, \Omega_s) = (0.251, 5.1, 0.279)$  và đường phía dưới mô phỏng cho bộ số  $(b_s, m_s, \Omega_s) = (0.063, 0.739, 8.97 \times 10^{-4})$ .



**Hình 5.7.** Kết quả mô phỏng và phân tích xác suất dừng của hệ thống khi công suất phát tối đa khả dụng tại trạm gốc có sự thay đổi

**Bảng 5.2.** Bảng giá trị xác suất dừng theo công suất phát tối đa tại trạm gốc  $P_t$ \_dB

OP		Pt_dB				
		-10	0	10	20	30
$b_s = 0.251$ $m_s = 5.1$ $\Omega_s = 0.279$	Mô phỏng	1.0000	0.9879	0.4296	0.0575	0.0082
	Phân tích	1.0000	0.9887	0.4304	0.0555	0.0085
$b_s = 0.063$ $m_s = 0.739$ $\Omega_s = 8.97 \times 10^{-4}$	Mô phỏng	1.0000	0.9663	0.2931	0.0342	0.0339
	Phân tích	1.0000	0.9684	0.2879	0.0324	0.0047

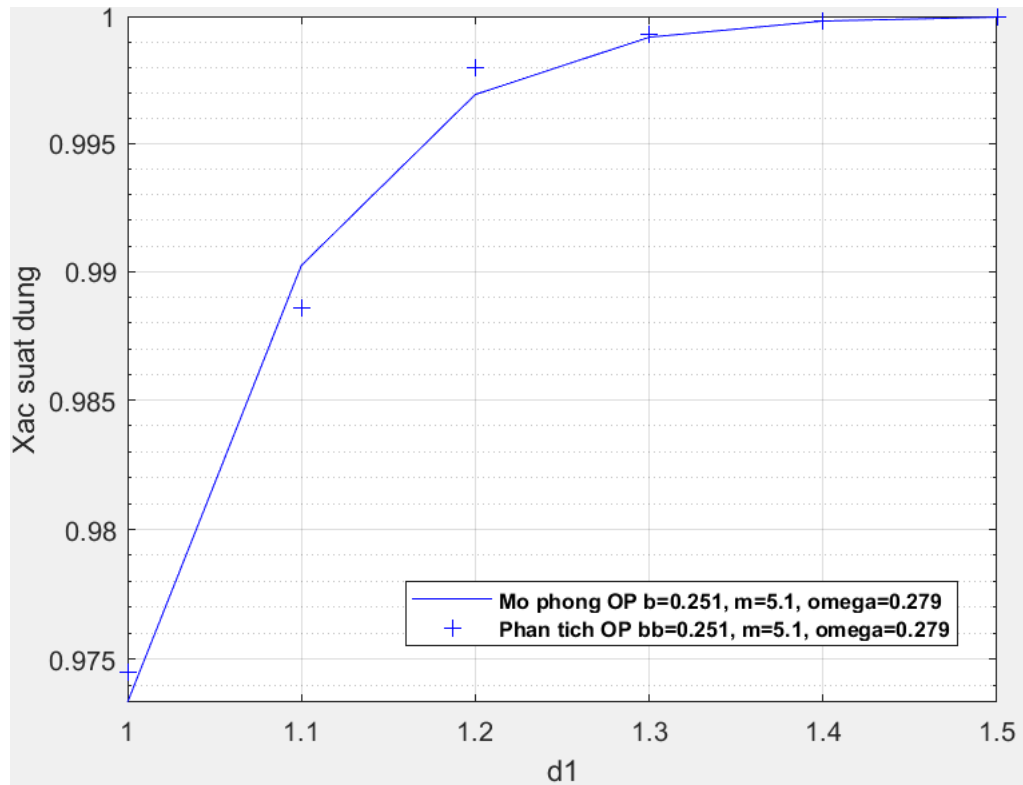
Từ bảng 5.2 và hình 5.7 có thể thấy, xác suất dừng của hệ thống bảo hòa khi  $P_t$ \_dB nằm trong khoảng -10dB đến 0dB. Công suất trạm gốc luôn có giá trị bằng 1 vì công suất trạm gốc là một giá trị phải luôn lớn hơn 0 nên khi  $P_t$ \_dB âm, nó không ảnh hưởng

đến xác suất dừng. Khi công suất phát dương thì xác suất dừng của hệ thống ngày càng giảm mạnh. Do đó, với công suất phát tối đa cao hơn thì hệ thống sẽ ổn định hơn và ít có khả năng xảy ra sự cố hơn. Bên cạnh đó, khả năng dừng theo công suất tối đa giảm theo tỷ lệ của các thông số Shadowed – Rician, khi các thông số càng giảm thì xác suất dừng theo công suất tối đa cũng giảm. Hệ thống sẽ hoạt động tốt hơn khi mô hình Shadowed – Rician có các thông số nhỏ hơn.

Ở đây, chúng tôi xây dựng đường truyền chính từ trạm gốc đến người dùng  $D_1$  có khoảng cách ngắn hơn đường can nhiễu như được minh họa trong hình 3.1. Để thực hiện mô phỏng và phân tích, chúng tôi thiết lập các thông số như sau:

- $Q_{dB}$ : có giá trị là 30dB.
- $P_t_{dB}$ : có giá trị là 1dB.
- $P_p_{dB}$ : có giá trị là 1dB, dùng để tính giá trị xác suất đầu ra  $\gamma_{SD_1}$ .
- Mô hình Shadowed-Rician gồm các thành phần:  $b_s, m_s, \Omega_s$ .
- $d_1 (SD_1)$ : khoảng cách từ trạm gốc tới người dùng thứ nhất  $D_1$ , là một vector có giá trị từ 1 tới 1.5 với bước nhảy là 0.1.
- $d_2 (SD_2)$ : khoảng cách từ trạm gốc tới người dùng thứ hai  $D_2$  vẫn là một giá trị cố định bằng 2.

Ở đây chúng tôi dùng bộ số Shadowed – Rician là  $(b_s, m_s, \Omega_s) = (0.251, 5.1, 0.279)$ . Hình 5.8 thể hiện kết quả mô phỏng và phân tích xác suất dừng của hệ thống theo khoảng cách của vệ tinh đến người dùng thứ nhất ( $SD_1$ ).



**Hình 5.8.** Kết quả mô phỏng và phân tích xác suất dừng của hệ thống theo  $SD_1$

**Bảng 5.3.** Bảng giá trị xác suất dừng của hệ thống khi  $SD_1$  thay đổi

OP \ d1		d1	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
		OP						
$b_s = 0.251$ $m_s = 5.1$ $\Omega_s = 0.279$	Mô phỏng		0.9734	0.9902	0.9969	0.9992	0.9998	1.0000
	Phân tích		0.9745	0.9886	0.9980	0.9993	0.9998	1.0000

Từ bảng 5.3 và hình 5.8 có thể thấy rằng khoảng cách càng ngắn thì xác suất dừng càng nhỏ và ngược lại, khoảng cách càng xa thì xác suất dừng tăng lên dẫn đến mức độ suy hao tín hiệu cũng tăng theo làm hệ thống dễ gặp phải tình trạng dừng đột ngột. Nếu tăng  $SD_1$  lên, xa hơn khoảng cách truyền của đường truyền can nhiễu thì xác suất dừng của hệ thống sẽ luôn bằng 1, làm cho hệ thống dừng hoàn toàn. Ngoài ra, xác suất dừng của hệ thống vẫn tăng mặc dù công suất phát ở trạm gốc giảm, đường truyền chính lại gần hơn đường truyền can nhiễu.

## **CHƯƠNG 6. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN**

### **6.1. KẾT LUẬN**

Trong đề tài này, chúng tôi đã phân tích hiệu năng truyền tin của một mạng truyền dẫn lai ghép vệ tinh – mặt đất mới dựa trên NOMA, tập trung vào mạng lai ghép vệ tinh – mặt đất, trong đó một người dùng có thể nhận tín hiệu trực tiếp từ vệ tinh trong khi người dùng còn lại chỉ có thể nhận tín hiệu mong muốn của mình thông qua một bộ giải mã và chuyển tiếp (DF) đa anten. Từ các kết quả mô phỏng và phân tích có thể rút ra hệ số ràng buộc can nhiễu, công suất tối đa tại trạm phát và khoảng cách từ người dùng có liên kết với vệ tinh khi có ảnh hưởng lớn đến xác suất dừng của hệ thống.

- Xác suất dừng của hệ thống giảm mạnh và dần bão hòa khi tăng hệ số nhiễu ràng buộc.

- Xác suất dừng của hệ thống từ bão hòa rồi giảm mạnh khi tăng công suất phát tại trạm gốc cho đến khi đạt được công suất phát tối đa.

- Nếu tăng khoảng cách kênh truyền chính hoặc giảm khoảng cách kênh can nhiễu thì xác suất dừng của hệ thống sẽ càng dễ xảy ra.

### **6.2. HƯỚNG PHÁT TRIỂN**

- Mở rộng phân tích cho trường hợp có nhiều người dùng NOMA trong mạng truyền dẫn lai ghép vệ tinh – mặt đất.

- Xem xét các mô hình kênh khác nhau cho liên kết vệ tinh – mặt đất, chẳng hạn như kênh Nakagami-m và kênh Rician.

- Cải thiện vấn đề về nhiễu hay vấn đề bảo mật thông tin khi ghép kênh.

- Phát triển mô hình hệ thống HSTRN với nhiều vệ tinh, nhiều người dùng hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Linglong Dai, Bichai Wang, Zhiguo Ding, Zhaocheng Wang, Sheng Chen, Lajos Hanzo, “A Survey of Non-orthogonal Multiple Access for 5G”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 2294-2323, thirdquarter 2018.
- [2] Ali Al Khansa, Yue Yin, Guan Gui, Hikmet Sari, “Power-Domain NOMA or NOMA-2000?”, *2019 25<sup>th</sup> Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, Nov. 2019.
- [3] Diane Duchemin, Jean-Marie Gorce, Claire Goursaud, “Code Domain Non Orthogonal Multiple Access versus ALOHA: a simulation based study”, *2018 25<sup>th</sup> International Conference on Telecommunications (ICT)*, Jun. 2018.
- [4] Oltjon Kodheli, Eva Lagunas, Nicola Maturo, Shree Krishna Sharma, Bhavani Shankar, Jesus Fabian Mendoza Montoya, Juan Carlos Merlano Duncan, Danilo Spano, Symeon Chatzinotas, Steven Kisseleff, Jorge Querol, Lei Lei, Thang X. Vu, George Goussetis, “Satellite Communications in the New Space Era: A Survey and Future Challenges”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 1, pp. 70-109, firstquarter 2021.
- [5] Peng Wang, Jiaxin Zhang, Xing Zhang, Zhi Yan, Barry G. Evans, Wenbo Wang, “Convergence of Satellite and Terrestrial Networks: A Comprehensive Survey”, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 5550-5588, Dec. 2019.
- [6] Kang An, Tao Liang, “Hybrid Satellite-Terrestrial Relay Networks with Adaptive Transmission”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 12, pp. 12448-12452, Dec. 2019.
- [7] Muhammad Iqbal, Suwadi, Wirawan, Rina Pudjiastuti, “Comparison of Selection and Maximal Ratio Combining in Cooperative Network Coding with AF and DF”, *2016 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)*, Dec. 2016.

- [8] Zhiguo Ding, Mugen Peng, H. Vincent Poor, “Cooperative Non-Orthogonal Multiple Access in 5G Systems”, *IEEE Communications Letters*, vol. 19, no. 8, pp. 1462-1465, Aug. 2015.
- [9] Silin Xie, Bangning Zhang, Daoxing Guo, Bing Zhao, “Performance Analysis and Power Allocation for NOMA-Based Hybrid Satellite-Terrestrial Relay Networks With Imperfect Channel State Information”, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 136279-136289, 2019.
- [10] Lve Han, Wei-Ping Zhu, Min Lin, “Outage of NOMA-Based Hybrid Satellite-Terrestrial Multi-antenna DF Relay Networks”, *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 10, no. 5, pp. 1083-1087, May 2021.
- [11] Bin Xia, Jinglun Wang, Kexin Xiao, Yichen Gao, Yao Yao, Shaodan Ma, “Outage Performance Analysis for the Advanced SIC Receiver in Wireless NOMA Systems”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 7, pp. 6711-6715, Jul. 2018.
- [12] Lu Lv, Fuhui Zhou, “Secure Cooperative Communications With an Untrusted Relay: A NOMA-Inspired Jamming and Relaying Approach”, *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 14, no. 12, pp. 3191-3205, Dec. 2019.
- [13] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, *Table of Integrals, Series and Products*, 7th ed. New York, NY, USA: Academic, 2007.
- [14] Kefeng Guo, Min Lin, Bangning Zhang, Jun-Bo Wang, Yongpeng Wu, Wei-Ping Zhu, Julian Cheng, “Performance Analysis of Hybrid Satellite-Terrestrial Cooperative Networks with Relay Selection,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 69, no. 8, pp. 9053–9067, Aug. 2020.
- [15] Lu Lv, Zhiguo Ding, Qiang Ni, Jian Chen, “Secure MISO-NOMA transmission with artificial noise,” *IEEE Transactions on Vehicular Technolo*, vol. 67, no. 7, pp. 6700–6705, Jul. 2018.