

**BỘ GIÁO DỤC & ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DUY TÂN  
KHOA ĐIỆN-ĐIỆN TỬ**



**LÊ TRỌNG ÂN**

**NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT TỐI ƯU HÓA THÔNG  
LƯỢNG TRONG MẠNG TRUYỀN DẪN VÔ TUYẾN**

**BÁO CÁO TỐT NGHIỆP  
CHUYÊN NGÀNH ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**Đà Nẵng, tháng 12 năm 2023**

**BỘ GIÁO DỤC & ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DUY TÂN  
KHOA ĐIỆN-ĐIỆN TỬ**



## **BÁO CÁO TỐT NGHIỆP**

### **ĐỀ TÀI:**

## **NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT TỐI ƯU HÓA THÔNG LƯỢNG TRONG MẠNG TRUYỀN DẪN VÔ TUYẾN**

Giảng viên hướng dẫn	: ThS. Nguyễn Lê Mai Duyên
Sinh viên lớp	: K25 EVT
Sinh viên thực hiện	: Lê Trọng Ân
Mã sinh viên	: 25211605832

**Đà Nẵng, tháng 12 năm 2023**

## NHẬN XÉT CỦA GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Đà Nẵng, ngày ..., tháng ..., năm 2023

Giảng viên hướng dẫn

ThS. Nguyễn Lê Mai Duyên

## *LỜI CẢM ƠN*

*Đầu tiên em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến cô Nguyễn Lê Mai Duyên đã hướng dẫn em trong suốt khoảng thời gian học tập, thực hành, nghiên cứu thực hiện đề tài này. Cô đã cung cấp cho em những kiến thức quý báu, sự chỉ dẫn tận tình và rất kịp thời, đặc biệt là luôn động viên em cố gắng hoàn thành đề tài. Em thật sự biết ơn cô!*

*Em cũng xin cảm ơn các thầy cô trong khoa Điện-Điện tử đã dạy bảo, cung cấp cho em những bài học bổ ích, những kiến thức từ nền tảng căn bản cho đến nâng cao, để em có nền tảng thực hiện đề tài này, không những vậy mà còn truyền cho em những kinh nghiệm quý báu để em có thể trau dồi, phát triển bản thân hơn, hướng đến tương lai tươi sáng của em.*

*Em xin chân thành cảm ơn !*

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi xin cam đoan bài báo cáo này là công trình nghiên cứu của bản thân tôi dưới sự hướng dẫn của ThS Nguyễn Lê Mai Duyên. Tất cả các nguồn tài liệu và thông tin từ các tác giả đã được dẫn chứng và ghi rõ trong phần tham khảo. Tôi cam đoan rằng tôi không tiến hành bất kỳ hành vi gian lận hay vi phạm quyền tác giả nào trong quá trình thực hiện đề tài này.

Tôi hiểu rõ rằng vi phạm những quy định này có thể gây hậu quả nghiêm trọng và tôi sẵn sàng chịu trách nhiệm về những hậu quả đó. Tôi xin chịu trách nhiệm hoàn toàn về nội dung và kết quả của đề tài này.

Đà Nẵng, ngày ..., tháng ..., năm 2023

Người cam đoan

**LÊ TRỌNG ÂN**

## MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH ẢNH.....	8
PHẦN MỞ ĐẦU .....	9
1. Tính cấp thiết của đề tài. ....	9
2. Mục tiêu và phương pháp nghiên cứu.....	9
2.1. Mục tiêu nghiên cứu đề tài. ....	9
2.2. Phương pháp nghiên cứu. ....	9
3. Bố cục nội dung và kế hoạch thực hiện. ....	10
3.1. Bố cục nội dung. ....	10
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN ĐỀ TÀI.....	11
1.1. Giới thiệu về thông lượng. ....	11
1.2. Giới thiệu về mạng vô tuyến. ....	12
1.3. Kỹ thuật truy cập vô tuyến. ....	13
1.3.1. Kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA). ....	13
1.3.1.1. Cách thức hoạt động của OMA. ....	14
1.3.1.2 Ưu và nhược điểm của OMA. ....	15
1.3.2. Kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA). ....	16
1.3.2.1. Cách thức hoạt động của NOMA. ....	17
1.3.2.2. Ưu và nhược điểm của NOMA. ....	17
1.4. Phương tiện hàng không không người lái. ....	19
1.4.1. Giới thiệu phương tiện không người lái. ....	19
1.4.2. Công dụng của phương tiện không người lái. ....	20
1.5. Vô tuyến nhận thức. ....	21
1.5.1. Các thuật toán sử dụng trong vô tuyến nhận thức. ....	21
1.5.2. Các loại vô tuyến nhận thức. ....	21
1.5.3. Ứng dụng của vô tuyến nhận thức. ....	22
1.5.4. Điểm mạnh và điểm yếu của vô tuyến nhận thức.....	22
1.6 Thuật toán di truyền liên tục. ....	22
1.6.1. Khái niệm thuật toán di truyền liên tục. ....	22
1.6.2. Cơ sở lý thuyết của thuật toán di truyền liên tục. ....	23
1.7. Thiết bị thu phát sóng vô tuyến.....	25

CHƯƠNG 2: MÔ HÌNH TỐI ƯU THÔNG LƯỢNG MẠNG CHUYỂN TIẾP SỬ DỤNG UAV.....	27
2.1. Mô hình miêu tả cấu trúc của hệ thống tối ưu thông lượng mạng chuyển tiếp sử dụng UAV.....	27
2.2. Các giao thức dừng để truyền thông tin. ....	29
2.3. Phân tích hiệu suất của hệ thống.....	35
2.4. Phân tích xác suất dừng của hệ thống.....	36
CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ.....	44
3.1. Phần mềm mô phỏng và thuật toán.....	44
3.1.1. Phần mềm mô phỏng.....	44
3.1.2. Thuật toán di truyền liên tục.....	45
3.2. Thử nghiệm và nghiên cứu.....	49
3.2.1. Đánh giá kết quả phân tích xác suất dừng hệ thống.....	49
3.2.1.1. Kết quả phân tích xác suất dừng hệ thống sơ cấp.....	50
3.2.1.2. Kết quả phân tích xác suất dừng hệ thống thứ cấp.....	51
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI.....	54
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	55

## THUẬT NGỮ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Thuật ngữ tiếng Anh	Thuật ngữ tiếng Việt
OMA	Orthogonal Multiple Access	Đa truy cập trực giao
NOMA	Non-Orthogonal Multiple Access	Đa truy cập phi trực giao
UAV	Unmanned Aircraft Vehicle	Thiết bị bay không người lái
UR	UAV Relay	UAV vận chuyển
CR	Cognitive Radio	Vô tuyến nhận thức
PDF	Probability Destination Function	Hàm xác suất đến
CDF	Cumulative Distribution Function	Hàm phân phối tích lũy
NLoS	Non-Line of Sight	Vùng không nhìn thấy
LoS	Line of Sight	Vùng nhìn thấy
IDs	IoT Destination	Điểm đến IoT
PU	Primary User	Người dùng sơ cấp
PR	Primary Receiver	Thiết bị nhận sơ cấp
ST	Secondary Transfer	Thiết bị chuyển giao thứ cấp
SR	Secondary Receiver	Thiết bị nhận thứ cấp
RV	Random Variable	Biến ngẫu nhiên
GBS	Ground Base Station	Trạm cơ sở mặt đất
OP	Outage Probility	Xác suất dừng hoạt động
SINR	Signal to Interference and Noise Radtio	Tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu



## DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1: So sánh sự hội tụ theo $r_c$ và $r_m$ .....	53
---	----

## DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1.1: Kiểm tra thông lượng sóng vô tuyến trên máy tính Windows.....	12
Hình 1.2: Sự khác nhau giữa OMA và NOMA trong cách vận hành .....	15
Hình 1.3: Ảnh thực của UAV.....	20
Hình 1.4: Toán tử lai tạo của thuật toán di truyền .....	24
Hình 1.5: Sơ đồ hoạt động của CGA .....	25
Hình 1.6: Các đường bức xạ của anten .....	26
Hình 2.1: Mô hình kiến trúc mạng chuyển tiếp sử dụng UAV.....	27
Hình 3.1: Giao diện chính của phần mềm MATLAB.....	45
Hình 3.2: Sơ đồ khối thuật toán di truyền liên tục .....	48
Hình 3.3: Ảnh hưởng của công suất phát đến xác suất dừng hệ thống sơ cấp với $\Omega_e=3$ .....	50
Hình 3.4: Ảnh hưởng của công suất phát đến xác suất dừng hệ thống sơ cấp với $\Omega_e=7$ .....	50
Hình 3.5: Sự ảnh hưởng của độ cao đến với thông lượng .....	51
Hình 3.6: Mức độ tối ưu thông lượng qua từng thế hệ với kích thước quần thể là 30 .....	52
Hình 3.7: Mức độ tối ưu thông lượng qua từng thế hệ với kích thước quần thể là 100 .....	52

# PHẦN MỞ ĐẦU

## 1. Tính cấp thiết của đề tài.

Hiện nay thời đại công nghệ đã hỗ trợ và góp phần rất nhiều trong các thành tựu mà con người đạt được. Đi cùng với sự phát triển của công nghệ thì hệ thống thông tin toàn cầu hay còn được gọi là mạng Internet đóng góp phần lớn giúp con người có thể bắt kịp được những cải tiến. Theo một nghiên cứu của Sisco trong năm 2020 đã ước tính có 37 exabytes đã được truyền tải trên mạng Internet bằng đường truyền không dây trong vòng một tháng. Với lượng dữ liệu lớn như vậy thì có thể thấy truyền tải không dây rất quan trọng đối với cuộc sống con người, ta có thể bắt gặp chúng ở bất cứ đâu mà con người có thể đặt chân đến. Ưu điểm của vô tuyến thì có rất nhiều nhưng nhược điểm thì chỉ có một nhược điểm cực kỳ lớn đó là tính ổn định của hệ thống, nó có thể bị gián đoạn bởi rất nhiều yếu tố. Cho nên để tránh rủi ro trên em xin được triển khai đề tài “Nghiên cứu kỹ thuật tối ưu hóa thông lượng trong mạng truyền dẫn vô tuyến”.

Trong đề tài này em sẽ kết hợp việc sử dụng UAV để làm hệ thống mạng dự phòng khi mạng chính gặp sự cố. Ngoài ra còn sử dụng kỹ thuật NOMA CR vào trong hệ thống mạng giúp cải tiến chất lượng truyền dẫn kèm theo đó em cũng áp dụng thuật toán CGA giúp các UAV có thể đạt tới độ cao, công suất,... tốt nhất giúp tối ưu được lượng thông tin có thể được truyền trong hệ thống.

## 2. Mục tiêu và phương pháp nghiên cứu.

### 2.1. Mục tiêu nghiên cứu đề tài.

- Tìm hiểu các phương pháp truyền dẫn thông tin vô tuyến
- Tìm hiểu các kỹ thuật truyền dẫn thông dụng
- Nghiên cứu tìm hiểu mô hình tối ưu hóa thông lượng
- Tìm hiểu về thuật toán di truyền liên tục

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu.

- Nghiên cứu các kỹ thuật chuyển tiếp thông tin.
- Tìm hiểu về thuật toán tối ưu thông lượng.

- Nhận xét và đánh giá kết quả mô phỏng.

### **3. Bố cục nội dung và kế hoạch thực hiện.**

#### **3.1. Bố cục nội dung.**

##### **Chương 1 : Tổng quan đề tài.**

Tại chương này em sẽ giới thiệu một cái nhìn tổng quát nhất về đề tài bao gồm các khái niệm về thông số có trong hệ đề tài, kỹ thuật và thuật toán được sử dụng.

##### **Chương 2 : Mô hình tối ưu thông lượng mạng truyền dẫn vô tuyến.**

Chương này sẽ đưa ra sơ đồ tổng quan về hệ thống ngoài ra kèm theo đó là công thức tính toán các đại lượng hiện có trong đề tài và công thức tính xác suất dừng hoạt động của mạng sơ cấp lẫn thứ cấp.

##### **Chương 3 : Thực hiện mô phỏng và phân tích kết quả.**

Ở chương cuối này em sẽ trình bày phương pháp dùng để thực hiện mô phỏng và môi trường mô phỏng. Dựa vào kết quả mô phỏng sẽ đánh giá được hiệu năng của hệ thống

## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN ĐỀ TÀI.

### 1.1. Giới thiệu về thông lượng.

Thông lượng là lượng dữ liệu được xử lý và truyền thành công qua mạng được đo bằng bit trên giây hoặc Kilobit trên giây, nghe qua thì nó khá là giống băng thông nhưng thực sự là hoàn toàn khác họ thường dùng thông lượng trung bình để xác định hiệu suất thời gian thực tế, dựa vào đây ta có thể hiểu thông lượng ám chỉ tốc độ truyền dữ liệu tối đa mà kênh truyền đó có thể xử lý được trong một giây. Muốn kiểm tra thông lượng trong một mạng ta có thể sử dụng công thức sau:

$$\text{Thông lượng} = \frac{\text{Số lượng bit được truyền}}{\text{Thời gian}}$$

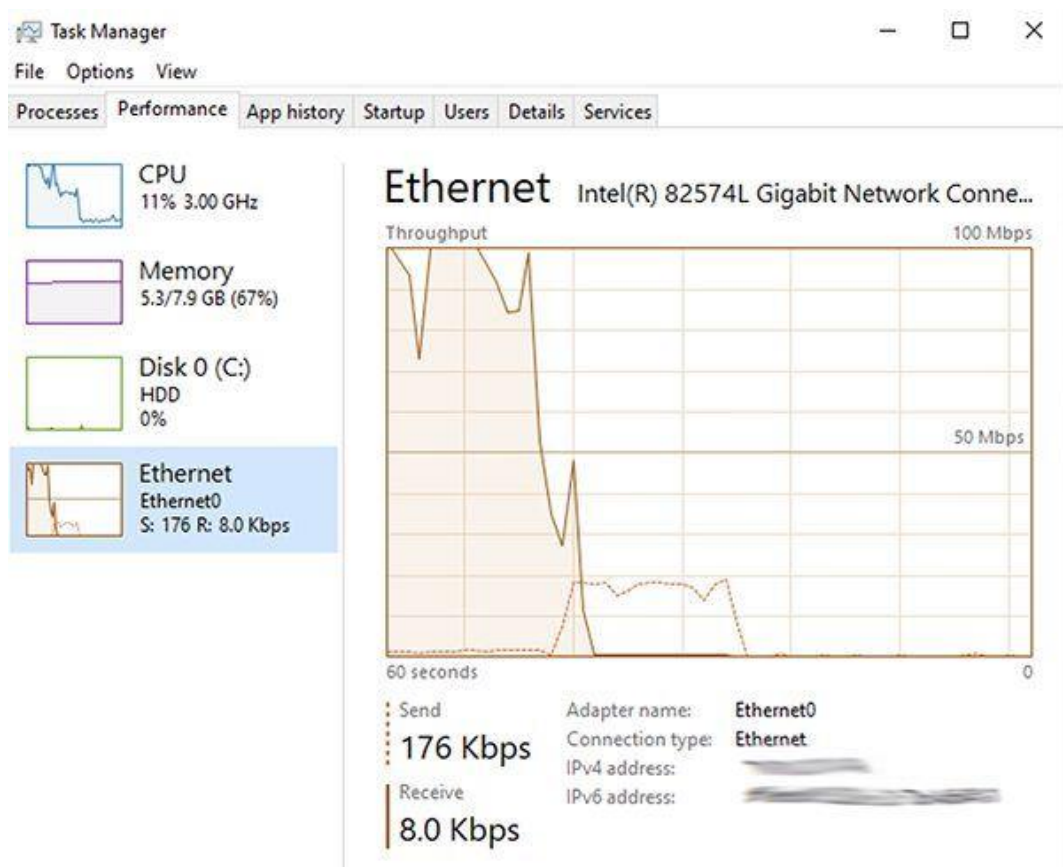
- Số lượng bit được truyền là tổng số các bit được truyền qua mạng trong khoảng thời gian xác định, thường được tính bằng giây.
- Thời gian là khoảng thời gian mà được đo lường thông qua mạng.

Đây cũng là một định lượng khá quan trọng trong hệ thống viễn thông và cũng rất quan trọng trong lĩnh vực mạng máy tính, di động và cả Internet. Nó quyết định tốc độ tải lên và tải xuống của dữ liệu, truyền hình trực tiếp và cả chất lượng video. Vì vậy ta có thể hiểu thông lượng càng cao càng cho phép băng thông lớn hơn và tốc độ truyền tải lớn hơn dẫn đến truyền tải dữ liệu nhanh hơn sẽ cải thiện được trải nghiệm của người dùng và cùng với đó trải nghiệm người dùng sẽ được cải thiện như những ứng dụng đòi hỏi lượng băng thông phải lớn: video ở độ phân giải 4K, trò chơi trực tuyến và một số công việc liên quan đến bộ nhớ đám mây.

Thông lượng vô tuyến hay còn được gọi là băng thông của hệ thống vô tuyến, nó nói đến khả năng truyền tải dữ liệu trên mạng vô tuyến trong một khoảng thời gian nhất định (thông thường trong vòng một giây) trong không gian vô tuyến bằng cách đo lường hay tính toán tốc độ truyền dữ liệu nguồn gửi đến nguồn nhận được bằng đơn vị đo bit trên giây (bps).

Thông lượng vô tuyến ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ truyền tải dữ liệu của các thiết bị kết nối không dây. Đây cũng là lý do dẫn đến việc ảnh hưởng chất lượng video có

mượt mà hay không hay tốc độ tải lên hay tải xuống nhanh hay chậm. Ta có thể kiểm tra thông lượng bằng Task Manager



Hình 1.1.1: Kiểm tra thông lượng sóng vô tuyến trên máy tính Windows

## 1.2. Giới thiệu về mạng vô tuyến.

Trong thế giới của chúng ta thì có rất nhiều bước sóng vô tuyến mà mắt thường mà chúng ta không thể thấy và nghe được, ví dụ mắt người chỉ có thể được phổ ánh sáng có bước sóng trong khoảng từ 380 đến 760 nm nếu quy đổi sang tần số thì nó nằm ở mức 400 đến 790 THz, còn với tai người thì chỉ nghe được là từ khoảng 16 đến 20 MHz thì phần còn lại thì con người không thể quan sát hoặc cảm nhận được cho nên chúng ta có thể tận dụng được các dải tần số đó để sử dụng truyền thông tin và được gọi là sóng vô tuyến.

Sóng vô tuyến hay còn được gọi là phương tiện truyền thông không dây là cơ sở công nghệ và hệ thống được sử dụng để truyền tải thông tin và dữ liệu trong không gian tự do mà không cần đến bất cứ một kết nối có dây nào. Nhờ vậy sẽ tiết kiệm được nhiều không gian và nó sẽ tiện ích hơn nhiều, một số dịch vụ có trong mạng vô tuyến sẵn có trong thời đại hiện nay: Wifi (Wireless Fidelity) mạng kết nối Internet không dây phổ

biến nhất, Bluetooth mạng kết nối thiết bị không dây, các thể hệ mạng di động không dây...

Cùng với đó thì mạng vô tuyến có rất nhiều ưu điểm như sau: cho phép kết nối không dây và di động sẽ không bị giới hạn bởi những các sợi dây cáp kết nối, dễ dàng truy cập ở bất cứ đâu, bất cứ khi nào và ai cũng có thể truy cập một cách dễ dàng, phạm vi ảnh hưởng rất rộng có thể lên đến cả trăm mét vuông xung quanh bộ phát,...

Mạng vô tuyến còn tồn tại những điểm chưa hoàn thiện như: dễ bị người lạ truy cập bởi khả năng dễ dàng tham gia vào mạng, cũng bởi vì đó truyền trong không gian tự do nên rất dễ bị nhiễu bởi những sóng có âm tần cùng với sóng mang, dễ bị nhiễu nên nó khó có thể truyền trong phạm vi lớn... Mạng vô tuyến thì luôn có hai mặt của chúng sự tiện lợi trong phạm vi nhỏ còn ra phạm vi lớn hơn thì sẽ bị hạn chế hơn so với hệ thống mạng có dây.

### **1.3. Kỹ thuật truy cập vô tuyến.**

#### **1.3.1. Kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA).**

Phương pháp này giúp tăng khả năng đa người dùng của mạng di động và cho phép nhiều kết nối đồng thời được thiết lập. Kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (OMA) chia tài nguyên tần số thành các kênh con và gán chúng cho các người dùng khác nhau, đảm bảo rằng các tín hiệu từ các người dùng khác nhau không xung đột với nhau.

Kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (OMA) cung cấp các phương pháp chia sẻ tài nguyên khác nhau như OMA Time Division Multiple Access (TDMA), OMA Frequency Division Multiple Access (FDMA) và OMA Code Division Multiple Access (CDMA). Mỗi phương pháp này có cách thức chia sẻ tài nguyên khác nhau, nhưng mục tiêu chung là tăng cường khả năng truy cập đa người dùng và hiệu suất của hệ thống truyền thông di động đây cũng là điểm khác biệt giữa kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA) và đa truy cập phi trực giao (NOMA).

### 1.3.1.1. Cách thức hoạt động của OMA.

Cách thức hoạt động của kỹ thuật đa truy cập phi trực giao OMA phụ thuộc vào phương pháp chia sẻ tài nguyên cụ thể được sử dụng, bao gồm OMA Time Division Multiple Access (TDMA), OMA Frequency Division Multiple Access (FDMA) và OMA Code Division Multiple Access (CDMA).

+ OMA Time Division Multiple Access (TDMA):

- TDMA chia tài nguyên thời gian thành các khung thời gian (time slots).
- Mỗi người dùng được phân cho một hoặc nhiều time slot trong một chu kỳ thời gian.
- Người dùng chỉ truyền dữ liệu trong time slot của mình và nghỉ trong các time slot khác.
- Hệ thống điều khiển xác định thời gian và tần số của các time slot được gán cho từng người dùng.

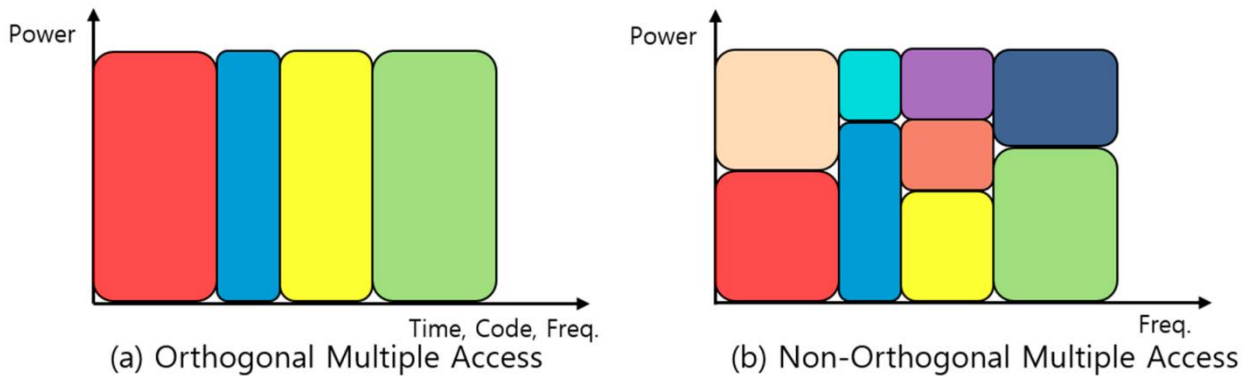
+ OMA Frequency Division Multiple Access (FDMA):

- FDMA chia tài nguyên tần số thành các băng thông (frequency bands).
- Mỗi người dùng được cấp một hoặc nhiều băng thông không trùng nhau.
- Các người dùng truyền dữ liệu qua băng thông của mình bằng cách sử dụng các tần số không trùng lặp.
- Hệ thống điều khiển xác định tần số của các băng thông được gán cho từng người dùng.

+ OMA Code Division Multiple Access (CDMA):

- CDMA sử dụng mã hóa để chia sẻ tài nguyên.
- Mỗi người dùng được gán một mã duy nhất để mã hóa tín hiệu của mình.

- Tất cả các người dùng truyền dữ liệu cùng một lúc trên cùng một tần số.
- Mỗi tín hiệu được mã hóa bằng mã riêng của người dùng, và hệ thống điều khiển có thể phân biệt và giải mã các tín hiệu này.



Hình 1.2: Sự khác nhau giữa OMA và NOMA trong cách vận hành

### 1.3.1.2 Ưu và nhược điểm của OMA.

Ưu điểm của kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA):

+ Đa người dùng: kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA) cho phép nhiều người dùng truy cập vào mạng di động cùng một lúc, tăng khả năng đồng thời của hệ thống.

+ Hiệu suất: kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA) giúp cải thiện hiệu suất truyền thông di động bằng cách chia sẻ tài nguyên tần số, thời gian và mã hóa giữa các người dùng. Điều này dẫn đến tăng tốc độ truyền dữ liệu và giảm độ trễ trong mạng.

+ Tính linh hoạt: kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA) hỗ trợ nhiều phương pháp chia sẻ tài nguyên như TDMA, FDMA và CDMA, giúp tùy chỉnh và lựa chọn phương pháp phù hợp với yêu cầu và điều kiện của hệ thống.

+ Khả năng chống nhiễu: kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA) sử dụng các phương pháp chia sẻ tài nguyên không trùng lặp giữa các người dùng, giúp giảm thiểu tác động của nhiễu và tăng tính ổn định của kết nối.



Nhược điểm của kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA):

+ Sử dụng tài nguyên không hiệu quả: Mỗi phương pháp kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA) (TDMA, FDMA, CDMA) đều có đặc điểm chia sẻ tài nguyên riêng, và có thể gây lãng phí tài nguyên nếu không được sử dụng hiệu quả.

+ Phức tạp về kỹ thuật: Các phương pháp kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA) đòi hỏi hệ thống phức tạp để triển khai và quản lý. Việc xử lý tín hiệu, đồng bộ hóa và phân giải xung đột có thể đòi hỏi công nghệ và tài nguyên cao.

+ Cần phải đảm bảo độc lập giữa người dùng: kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA) yêu cầu rằng các người dùng trong hệ thống phải hoạt động độc lập và không gây xung đột với nhau. Nếu có sự xung đột hoặc không tuân thủ, hiệu suất và chất lượng của hệ thống có thể bị ảnh hưởng.

+ Tiêu thụ năng lượng: Một số phương pháp kỹ thuật đa truy cập trực giao (OMA) có thể đòi hỏi nguồn năng lượng cao hơn so với các phương pháp truy cập khác, do đó có thể ảnh hưởng đến tuổi thọ pin và hiệu suất thiết bị di động.

### **1.3.2. Kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA).**

Kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) là một phương pháp truy cập đa truy cập không dây trong mạng di động. Phương pháp này cho phép nhiều thiết bị truy cập mạng cùng một lúc và truyền thông tin qua cùng một kênh truyền duy nhất. Được xem là một trong những kỹ thuật truy cập vô tuyến với hiệu quả truyền dẫn đầy hứa hẹn cho truyền thông di động các thế hệ sau.

Kỹ thuật này có thể kết hợp với các kỹ thuật khác như ghép kênh phân chia tần số trực giao (OFDM) và hệ thống nhiều anten phát nhiều anten thu đa thu và đa phát (MIMO). Trong hệ thống kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) đường xuống, tín hiệu từ nhiều người dùng được truyền chồng lên nhau trong miền thời gian và tần số. Nhờ vậy, hệ thống kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) có thông lượng lớn hơn các hệ thống đa truy cập trực giao.

### **1.3.2.1. Cách thức hoạt động của NOMA.**

Như đã nói ở trên kỹ thuật đa truy cập phi trực (NOMA) giao cho phép nhiều thiết bị truy cập vào một kênh truyền cùng một lúc. Các thiết bị sử dụng kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) được phân chia thành các nhóm bằng cách sử dụng kỹ thuật đa cấp phân bổ tài nguyên.

Trong kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) các tín hiệu của các thiết bị được gom chung lại và truyền qua cùng một kênh truyền. Điều này khác với các phương pháp truy cập khác như đa kết nối phân chia theo khe thời gian (TDMA) hay đa kết nối phân chia theo tần số (FDMA), trong đó mỗi thiết bị sử dụng kênh tần số khác nhau trong các khoảng thời gian khác nhau.

Gán mức công suất cho mỗi tín hiệu người dùng trong nhóm dựa trên mức ưu tiên hoặc độ quan trọng của dữ liệu. Những dữ liệu có mức quan trọng hơn sẽ được gán mức công suất cao hơn, trong khi dữ liệu ít quan trọng hơn thì sẽ được gán mức công suất thấp hơn.

Khi tín hiệu đến đầu thu, các tín hiệu của các thiết bị trong nhóm được phân biệt bằng cách sử dụng kỹ thuật giải mã đa cấp. Theo cách này, tín hiệu của mỗi thiết bị được giải mã và loại bỏ khỏi tín hiệu tổng thể, cho phép phân biệt được tín hiệu của các thiết bị và giải mã chúng độc lập.

### **1.3.2.2. Ưu và nhược điểm của NOMA.**

Ưu điểm của NOMA:

+ Tăng khả năng truy cập mạng: với NOMA, nhiều thiết bị có thể truy cập mạng cùng một lúc thông qua cùng một kênh tần số, giúp tăng khả năng truy cập mạng và giảm thời gian chờ đợi của người dùng.

+ Tăng hiệu suất mạng: kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) sử dụng kỹ thuật đa cấp phân bổ tài nguyên để phân phối tài nguyên mạng cho các thiết bị. Điều này giúp tối đa hoá sử dụng tài nguyên mạng và tăng hiệu suất mạng.

+ Giảm độ trễ: Vì các thiết bị có thể truy cập mạng cùng một lúc, giảm độ trễ trong quá trình truyền thông tin giữa các thiết bị và mạng.

+ Tăng khả năng đa dịch vụ: kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) cho phép truyền nhiều dịch vụ khác nhau qua cùng một kênh tần số, giúp tăng khả năng đa dịch vụ của mạng.

+ Giảm chi phí triển khai mạng: Sử dụng kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) có thể giảm chi phí triển khai mạng, vì nó cho phép sử dụng tài nguyên mạng hiệu quả hơn.

+ Tương thích với các tiêu chuẩn mạng hiện có: kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) có thể được triển khai trên các mạng di động hiện có và tương thích với các tiêu chuẩn truy cập đa truy nhập khác.

Nhược điểm của NOMA:

+ Độ phức tạp của thiết bị: kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) yêu cầu các thiết bị truy cập mạng có khả năng xử lý tín hiệu phức tạp hơn so với các phương pháp truy cập đa truy nhập khác, vì các tín hiệu của các thiết bị được gom chung lại và phân biệt bằng kỹ thuật truyền thông đa cấp.

+ Độ chính xác của kênh tần số: kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) yêu cầu các thiết bị truy cập mạng phải có khả năng xác định chính xác kênh tần số để tránh nhiễu giữa các tín hiệu của các thiết bị.

+ Giới hạn về số lượng thiết bị: Số lượng thiết bị có thể truy cập mạng trong một nhóm sử dụng kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) có giới hạn, vì khi số lượng thiết bị quá nhiều, tín hiệu của các thiết bị sẽ gây nhiễu cho nhau.

+ Ổn định của kết nối: kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như nhiễu, đa đường, và độ trễ mạng, gây ảnh hưởng đến ổn định của kết nối.

## **1.4. Phương tiện hàng không không người lái.**

### **1.4.1. Giới thiệu phương tiện hàng không không người lái.**

Phương tiện hàng không không người lái còn được gọi là UAV, được sinh ra để phục vụ cho mục đích quân sự nhưng tại vì sự tiện lợi và có thể tích hợp nhiều công nghệ lên chúng nên phương tiện hàng không không người lái (UAV) đã được sử dụng nhiều trong các lĩnh vực khác nhau trong cuộc sống từ công nghiệp đến công nghiệp lẫn cả dịch vụ. Đây cũng là phương tiện máy bay hoạt động mà không cần sự can thiệp trực tiếp của phi công, phương tiện hàng không không người lái (UAV) là một con robot được điều khiển từ xa bằng nhiều phương thức phức tạp. Có hai phương thức để điều khiển Phương tiện hàng không không người lái phương tiện hàng không không người lái (UAV): có thể lập trình đường đi sẵn từ đầu hoặc có thể trực tiếp can thiệp vào quá trình bay bằng điều khiển từ xa. Vậy phương tiện hàng không không người lái (UAV) là thiết bị được biết đến với tính đa ngành của chúng xuất hiện tại nhiều ngành nghề như công nghiệp, nông nghiệp, tìm kiếm cứu hộ cứu nạn, giám sát để điều tiết giao thông, thời tiết, ghi hình...

Ngoài ra phương tiện hàng không không người lái (UAV) có thể sử dụng được mạng vô tuyến để truyền dữ liệu và giao tiếp trong suốt quá trình hoạt động. Sử dụng mạng sẽ cho phép phương tiện hàng không không người lái (UAV) truyền tải được thông tin giữa chúng và trạm điều khiển hoặc có thể là giữa các phương tiện hàng không không người lái (UAV) khác với nhau. Vậy chúng giao tiếp với nhau qua hai phương thức: mạng không dây như Wifi hoặc mạng di động để kết nối với trạm điều khiển một cách dễ dàng và chúng cũng giúp truyền tải thông tin của phương tiện hàng không không người lái (UAV), video,... Ngoài mạng không dây thì phương tiện hàng không không người lái (UAV) còn sử dụng ad-hoc dùng để truyền tải dữ liệu trực tiếp cho nhau thông qua kết nối không dây, mà không cần phải thông qua trạm điều khiển từ xa. Mạng ad-hoc là một loại mạng không dây phân tán. Đây là mạng không hề dựa vào các cơ sở hạ tầng có sẵn trước đó, mỗi thiết bị tham gia định tuyến mạng bằng cách chuyển tiếp dữ liệu cho nút khác bằng các sóng vô tuyến hay tia hồng ngoại.



Hình 1.3: Ảnh thực của UAV

#### **1.4.2. Công dụng của phương tiện không người lái.**

Đây là một số ứng dụng phổ biến của phương tiện hàng không không người lái (UAV) sử dụng trong các lĩnh vực được kể trên:

+ Giám sát và kiểm tra: phương tiện hàng không không người lái (UAV) được sử dụng rộng rãi để giám sát các khu vực khó để tiếp cận hay cực kỳ nguy hiểm. Phương tiện hàng không không người lái (UAV) có thể thu thập hình ảnh, video và dữ liệu từ không gian, có thể cung cấp thông tin chi tiết về môi trường tự nhiên, địa hình...

+ Nhiếp ảnh và quay phim: phương tiện hàng không không người lái (UAV) cung cấp một góc nhìn mới cho những tấm hình hay thước phim, chúng sẽ cho ta thấy những góc quay mà con người khó mà quay được. Ngoài ra phương tiện hàng không không người lái (UAV) cũng giúp cho các ngành quảng cáo, thể thao và các sự kiện lớn có những thước phim đẹp.

+ Truyền thông di động: phương tiện hàng không không người lái (UAV) có thể được sử dụng làm cơ sở truyền thông di động trong các khu vực mạng bị gián đoạn. Chúng sẽ cung cấp các kết nối mạng và giúp truyền tải dữ liệu, giúp cung cấp liên lạc và truyền thông cho các khu vực khó tiếp cận.

## **1.5. Vô tuyến nhận thức.**

Vô tuyến nhận thức (CR) đây là hệ thống vô tuyến có khả năng thay đổi các thông số truyền dựa trên việc tương tác với môi trường xung quanh. Mục tiêu chính của vô tuyến nhận thức (CR) là tận dụng tài nguyên tần số có sẵn bằng cách phát hiện và tìm tần số ít hoặc trống sử dụng. Vô tuyến nhận thức (CR) sử dụng những thuật toán có khả năng tự động hóa phát hiện và theo dõi tài nguyên tần số, đánh giá về mức độ sử dụng và để xác định các kênh tần số có thích hợp để sử dụng, vô tuyến nhận thức (CR) có khả năng tự động chuyển đổi và sử dụng kênh đó để truyền thông giữa các thiết bị không dây.

### **1.5.1. Các thuật toán sử dụng trong vô tuyến nhận thức.**

Thuật toán Spectrum Sensing: Đây là thuật toán sử dụng để phát hiện xác định được các kênh tần số không được sử dụng.

Thuật toán Spectrum Decision: Sau khi phát hiện các kênh tần số trống, thuật toán này đưa ra quyết định về việc chọn kênh tần số phù hợp để truyền thông tin.

Thuật toán Spectrum Mobility: Thuật toán này sử dụng để quản lý việc di chuyển giữa các kênh tần số khi điều kiện kênh thay đổi.

Thuật toán Power Control: Đây là thuật toán điều chỉnh công suất truyền phát của các thiết bị vô tuyến nhận thức (CR) để đảm bảo hiệu suất truyền thông tối ưu mà không gây nhiễu cho các thiết bị khác.

### **1.5.2. Các loại vô tuyến nhận thức.**

Có hai loại vô tuyến nhận thức (CR) đó là không đồng nhất và chia sẻ phổ.

Vô tuyến nhận thức không đồng nhất các toán tử chạy trên một số mạng truy cập vô tuyến bằng giao thức công nghệ truy cập vô tuyến, cùng với đó sử dụng cách tiếp cận lấy mạng làm trung tâm và các dải tần được phân bổ cho các mạng truy cập vô tuyến khác nhau làm cố định.

Ngoài ra còn vô tuyến nhận thức chia sẻ phổ, một số mạng truy cập vô tuyến có chung một dải tần. Chúng trao đổi và kết hợp với nhau để sử dụng các băng tần còn trống một cách thông minh và tối ưu.

Cả hai loại vô tuyến nhận thức (CR), tài nguyên vô tuyến đều được tối ưu hóa và chất lượng dịch vụ tốt hơn nhiều nếu so với vô tuyến truyền thống.

### **1.5.3. Ứng dụng của vô tuyến nhận thức.**

Vô tuyến nhận thức (CR) là một công nghệ mang tính đột phá cao cùng với đó là nhiều cơ hội tiềm năng. Có thể gọi đây là mạng truyền thông thế hệ kế tiếp.

Các ứng dụng mà vô tuyến nhận thức (CR) mang đến có thể liệt kê:

- + Vùng phủ sóng toàn khu vực.
- + Cứu trợ thiên tai.
- + Mạng lưới khẩn cấp.
- + Mạng cho thuê.

### **1.5.4. Điểm mạnh và điểm yếu của vô tuyến nhận thức.**

Vô tuyến nhận thức (CR) giúp tăng cường hiệu suất và hiệu quả sử dụng tài nguyên của tần số, giảm tắc nghẽn mạng và tăng khả năng truyền thông của các hệ thống không dây. Nó cũng cung cấp khả năng linh hoạt và độ tin cậy cao trong môi trường không dây đa năng, nơi tần số và tài nguyên không được sử dụng một cách hiệu quả.

Ngoài những mặt tốt thì vô tuyến nhận thức (CR) cũng có những mặt chưa hoàn hảo ví dụ như việc triển khai hệ thống vô tuyến nhận thức (CR) yêu cầu một khoản chi phí cao và phức tạp. Khi các thiết bị vô tuyến nhận thức (CR) sử dụng các kênh tần số không được sử dụng hoặc ít có thể gây ra xung đột với các hệ thống hoặc giữa các thiết bị vô tuyến nhận thức (CR) khác, bởi vì chúng sẽ không biết ở kênh tần số đó đã được chiếm dụng.

## **1.6 Thuật toán di truyền liên tục.**

### **1.6.1. Khái niệm thuật toán di truyền liên tục.**

Thuật toán di truyền liên tục (CGA) đây là thuật toán được học hỏi từ chính thể giới tự nhiên, được kế thừa từ “Thuyết tiến hóa” nó sẽ phát triển đặc điểm của loài hay cá thể để thích nghi được môi trường sống xung quanh. Điểm được coi là vượt trội của thuật toán di truyền liên tục (CGA) chính là khả năng tìm cực tiểu toàn cục mà không bị mắc

kết trong cực tiểu cục bộ. Tính ngẫu nhiên đóng một vai trò rất là quan trọng trong cấu trúc thuật toán di truyền và đó là lý do chính khiến thuật toán di truyền liên tục (CGA) có thể hoạt động trong không gian làm việc, chúng sẽ liên tục sử dụng các thuật toán di truyền sắp xếp và sử dụng số thực làm số tối ưu hóa thay vì số nhị phân.

Thuật toán di truyền (CGA) ban đầu sẽ khởi tạo nên một quần thể nguyên thủy ngẫu nhiên đề xuất các giải pháp ngẫu nhiên, các giải pháp ứng cử tiếp theo sẽ được xem xét là có thể phù hợp với quần thể ban đầu hay không. Giá trị phù hợp được xếp hạng theo thang điểm mà người lập trình xác định. Ta sẽ kiểm tra mức độ phù hợp của giải pháp theo thang điểm trên, số điểm càng cao thì mức độ phù hợp càng cao.

### **1.6.2. Cơ sở lý thuyết của thuật toán di truyền liên tục.**

Theo một vài nghiên cứu về thuật toán di truyền sẽ dựa trên sự tương đồng với cấu trúc di truyền hành vi của các nhiễm sắc trong một quần thể xác định. Nó sẽ dựa vào các sự tương đồng sau đây:

- + Các cá thể bắt buộc phải đấu tranh giành lãnh thổ và việc giao phối.
- + Từ việc tranh giành quyền giao phối thì các con đực mạnh khỏe hơn có thể sinh ra con con có đặc tính tương tự.
- + Sự đột biến dẫn đến việc phát triển của từng cá thể trong quần thể giúp ích cho việc giao phối và có thể duy trì cho đời sau.

Dân số của các cá thể được giới hạn trong một không gian tìm kiếm đã được xác định từ trước. Mỗi cá thể sẽ được đại diện cho một hướng giải pháp của một vấn đề đang gặp phải trong không gian tìm kiếm đó. Tới đây sẽ gán cho mỗi cá thể sẽ là một vector sẽ bao gồm những vector có độ dài hữu hạn khác, các vector nhỏ hơn sẽ đại diện cho các nhiễm sắc thể của cá thể. Các thành phần trong vector có thể biến đổi tương tự như gen cá thể đó sở hữu.

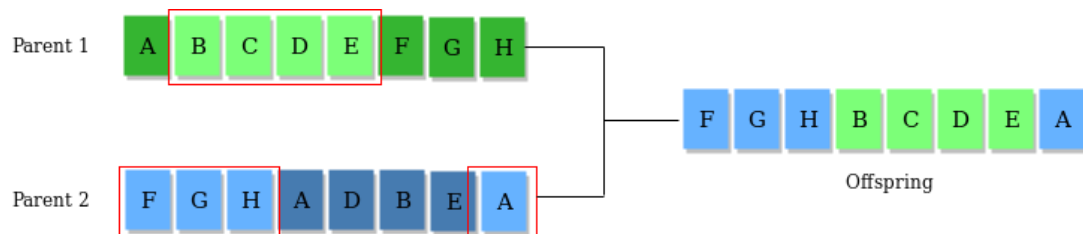
Điểm thế lực ta có thể hiểu như đó là một đơn vị tổng quát để đánh giá những ưu điểm của mỗi cá thể mang lại. Đây cũng là số điểm để xác định được tính cạnh tranh trong quần thể của mỗi cá thể, cá thể có điểm thế lực càng cao thì càng có khả năng duy trì lại cho đời con.



Thuật toán di truyền liên tục duy trì quần thể của chúng tỷ lệ thuận với số điểm thể lực mà những cá thể sở hữu được. Các cá thể có điểm thể lực vượt trội trong quần thể sẽ có được cơ hội sinh sản cao hơn so với những cá thể khác. Sau khi được giao phối thì con con của chúng sẽ có điểm thể lực cao hơn cả bố lẫn mẹ vì chúng thừa hưởng những đặc điểm tốt nhất của bố lẫn mẹ. Quy mô dân số không thay đổi nên khi có cá thể cũ chết đi sẽ được thay thế bởi các cá thể mới vào, làm vậy để tạo cơ hội cho cá thể mới có cơ hội để giao phối và tạo ra cá thể mới tốt hơn để thay thế cho cá thể cũ quá cạn kiệt. Cứ sau mỗi thế hệ cá mới được tạo ra sẽ có một hoặc hơn những ưu điểm so với cá thể cũ. Khi các cá thể con không thể tạo ra sự khác biệt rõ rệt so với cá thể trước thì có thể nói quần thể đó sẽ hội tụ, và đây cũng là lời giải của thuật toán di truyền.

Sau khi những cá thể đầu tiên được khởi tạo (thế hệ đầu tiên), thuật toán sẽ phát triển các cá thể tiếp theo bằng các toán tử sau:

- + Toán tử lựa chọn: sẽ lựa chọn những cá thể có điểm thể lực tốt và cho nó truyền các nhiễm sắc thể cho thế hệ kế tiếp.
- + Toán tử chéo: thể hiện việc giao phối giữa hai cá thể được lựa chọn bằng cách sử dụng toán tử lựa chọn và các điểm kết hợp được chọn ngẫu nhiên. Sau đó các nhiễm sắc thể được sắp xếp theo thứ tự để tạo ra cá thể mới.



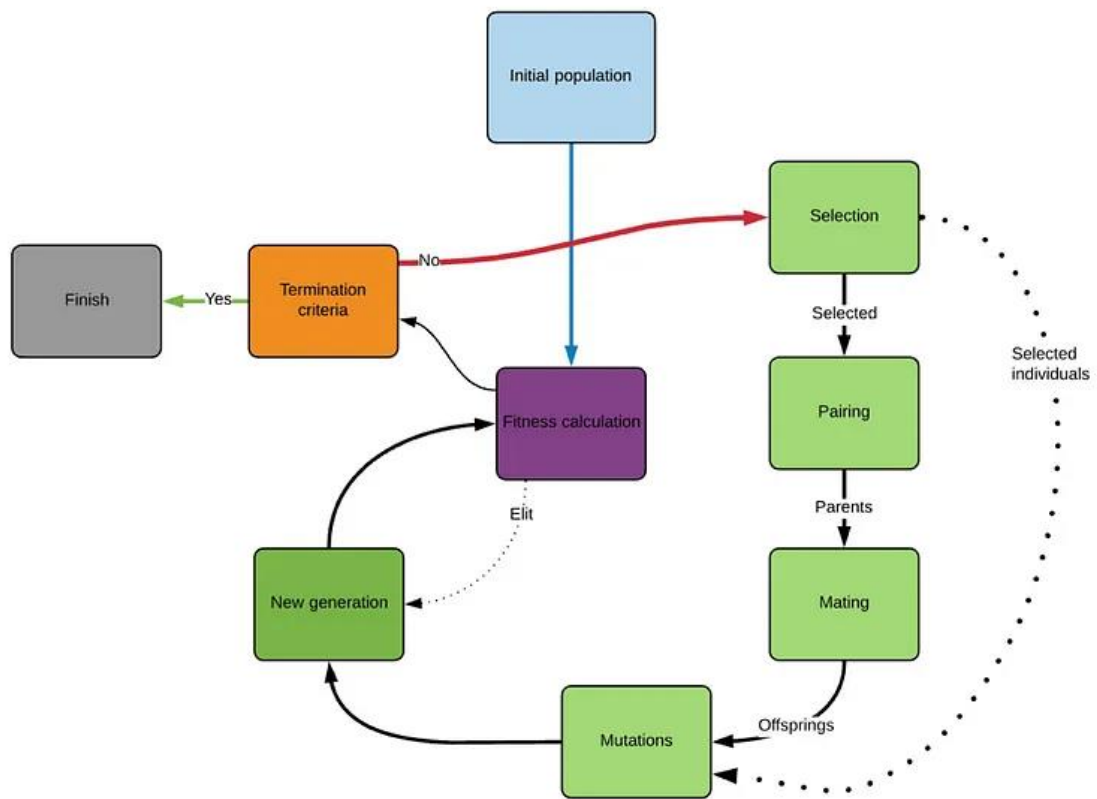
Hình 1.4: Toán tử lai tạo của thuật toán di truyền

- + Toán tử đột biến: chèn vào một nhiễm sắc thể ngẫu nhiên vào thế hệ con, việc này có ý nghĩa tạo ra sự đa dạng của quần thể và tránh việc hội tụ sớm của quần thể.

Thuật toán có thể được tóm tắt như sau:

- 1) Khởi tạo ngẫu nhiên quần thể p.
- 2) Xác định được độ thích hợp của quần thể.
- 3) Lặp cho đến khi hội tụ quần thể:
  - a) Chọn cá thể bố mẹ từ trong quần thể.

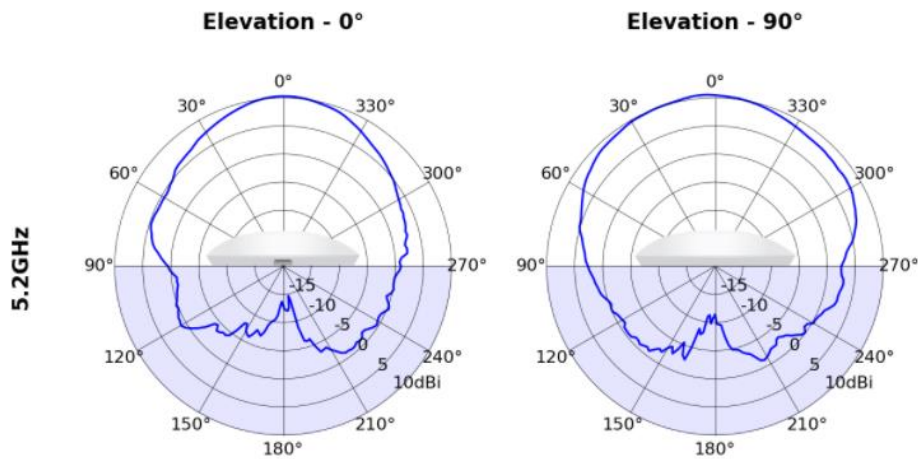
- b) Trao đổi chéo để tạo ra được quần thể mới.
- c) Thực hiện đột biến trên quần thể mới.
- d) Tính toán độ thích hợp cho quần thể mới.



Hình 1.5: Sơ đồ hoạt động của CGA

### 1.7. Thiết bị thu phát sóng vô tuyến.

Thiết bị thu phát sóng là thiết bị được sử dụng để thu và phát sóng tín hiệu điện từ trong các hệ thống viễn thông. Cách thức phát sóng tín hiệu là sử dụng bộ dao động từ trường bằng cách thay đổi liên tục các nguyên tử proton và electron sẽ tạo nên các lớp sóng tín hiệu ngược chiều nhau từ đây có thể giải mã chúng thành các tín hiệu hình sin với hai biên độ. Còn đối với thiết bị thu sau khi thực hiện quá trình giải mã và điều chế thì sẽ có được thông tin cần thiết.



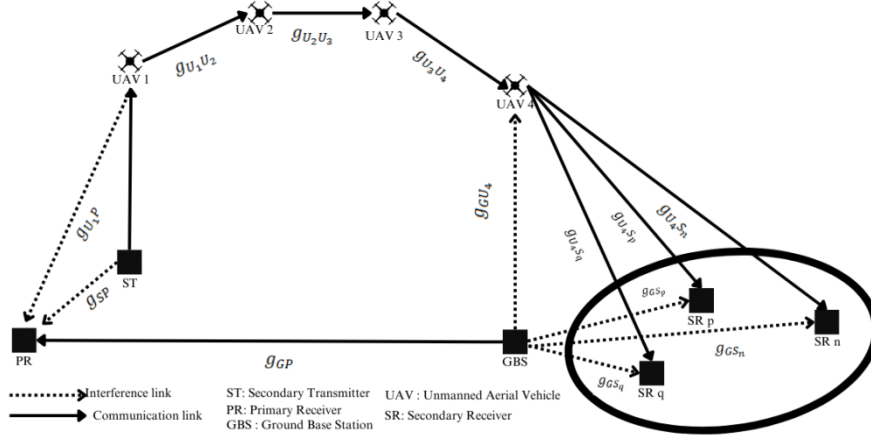
Hình 1.6: Các đường bức xạ của anten

Chức năng chính của thiết bị thu phát sóng là thu sóng điện từ từ môi trường xung quanh và chuyển đổi nó thành tín hiệu điện để xử lý hoặc phát sóng điều hướng. Khi được sử dụng như một anten thu, anten đó thu sóng từ môi trường xung quanh và tạo ra tín hiệu điện tương ứng. Khi được sử dụng như một anten phát, tín hiệu điện được cung cấp đến anten và nó chuyển đổi thành sóng điện từ trong không gian.

Thiết bị thu phát sóng là một công cụ giúp cho việc truyền tải thông tin được tối ưu hơn. Truyền tải thông tin vô tuyến trong không gian tự do không giống như truyền tải tín hiệu có dây bởi vì trong không gian tự do có rất nhiều tín hiệu và dải tần số khác nhau, điều này vô hình chung làm cho truyền tải tín hiệu gặp cản trở bởi nhiễu, suy hao,... bởi vậy cho nên rất ít trường hợp sử dụng vô tuyến trong truyền tín hiệu đường dài. Vậy sẽ có một số trường hợp bất khả kháng bắt buộc sử dụng vô tuyến trong truyền tín hiệu đường dài vậy bắt buộc phải lắp đặt thêm nhiều bộ thu phát để giúp tín hiệu không bị suy hao lẫn nhiễu. Nhưng cũng bởi vì sử dụng các bộ thu phát sóng như vậy nên sẽ tốn chi phí vận hành lẫn thiết bị hơn cách truyền thống.

## CHƯƠNG 2: MÔ HÌNH TỐI ƯU THÔNG LƯỢNG MẠNG CHUYỂN TIẾP SỬ DỤNG UAV.

### 2.1. Mô hình miêu tả cấu trúc của hệ thống tối ưu thông lượng mạng chuyển tiếp sử dụng UAV.



Hình 2.1: Mô hình kiến trúc mạng chuyển tiếp sử dụng UAV

Hình trên biểu thị cho một hệ thống mạng chuyển tiếp có sử dụng bốn UAV được trang bị trên mỗi UAV là một anten đơn để có thể truyền được tín hiệu. Với GBS và PR có thể coi là người dùng sơ cấp (PU) sử dụng nguyên tắc cấp phổ OMA trong suốt quá trình làm việc, còn đối với ST, UAV và SR sẽ là người dùng thứ cấp (SU) ở nhóm người dùng thứ cấp (SU) này sẽ được sử dụng phương pháp cấp phổ NOMA để không ảnh hưởng đến người dùng sơ cấp (PU) bởi công suất phát để giao tiếp sẽ không làm gián đoạn đoạn liên lạc của nhau. Độ lợi kênh của GBS – PR, ST – PR, UAV1 – PR, UAV1 – UAV2, UAV2 – UAV3, UAV3 – UAV4, GBS- UAV4, UAV4 – SR1, UAV4 – SR2, UAV4 – SRn, GBS – SR1, GBS – SR2, GBS – SRn được ký hiệu là:

$$g_{GP}, g_{SP}, g_{U_1U_2}, g_{U_2U_3}, g_{U_3U_4}, g_{GU_4}, g_{U_4S_1}, g_{U_4S_2}, g_{U_4S_n}, g_{GS_1}, g_{GS_2}, g_{GS_n}$$

Như vậy độ lợi kênh truyền trong hệ thống sẽ tương tự nhau và sẽ không đổi trong suốt thời gian truyền một gói. Độ lợi kênh được mô hình hóa như độ lợi của kênh fading Rayleigh, các biến ngẫu nhiên (RV) sẽ được phân phối theo hàm mũ. Vì vậy hàm mật độ xác suất (PDF) và hàm phân phối tích lũy (CDF) được xác định như sau:

$$f_{g_a}(x) = \frac{1}{\Omega_a} \exp\left(-\frac{x}{\Omega_a}\right) \quad (1)$$

$$F_{g_a}(x) = 1 - \exp(-\frac{x}{\Omega_a}) \quad (2)$$

Trong đó  $a \in \{SP, GP, GD_1, GD_2\}$  là một biến ngẫu nhiên có giá trị trung bình bằng  $\Omega_a = E[a]$ .

Trong mô hình này sử dụng cách thức thông tin liên lạc đất đối không và ngược lại, cho nên chắc hẳn sẽ có xảy ra hiện tượng suy hao trong đường truyền.

$$|L_b| = \beta_b d_b^{\eta_b} \quad (3)$$

Trong đó  $b \in \{SU_1, U_{ND_1}, U_{ND_2}\}$ .

Khả năng giao tiếp giữa hai anten ảnh hưởng bởi vùng nhìn thấy (LoS) hay ngoài vùng nhìn thấy (NLoS) do môi trường tác động vào là khá lớn ví dụ (mật độ các tòa nhà cao tầng, đồi núi...). Ta sẽ gán cho giá trị  $\eta_b = 2$ ; đại lượng  $\beta_b$  có công thức là

$\beta_b = 10^B$ , B được xác định là:

$$B = \frac{10 \log_{10} (\frac{4\pi f}{c})^2 + \omega_{NLoS}}{10} + \frac{\omega_{LoS} - \omega_{NLoS}}{10 + 10\varphi \exp[-\psi(\frac{180}{\pi}\theta - \varphi)]} \quad (4)$$

Trong đó:  $\theta$  chính là góc nâng của UAV Relay (UR) đối với GBS, ST.

$\varphi$  và  $\psi$  là hằng số phụ thuộc vào môi trường.

$\omega_{LoS}$  và  $\omega_{NLoS}$  là tham số phụ thuộc vào môi trường cũng như tần số đại diện cho suy hao đường truyền vượt mức của liên kết đường ngắm (LoS) và liên kết ngoài đường ngắm.

Còn đối với suy hao không đối không tức là sự giao tiếp giữa các UAV với nhau sẽ được biểu thị như sau:

$$L_{U_n U_{n+1}} = \beta_{U_n U_{n+1}} d_{U_n U_{n+1}}^{\eta_{U_n U_{n+1}}} \quad (5)$$

Trong đó  $\beta_{U_n U_{n+1}} = (\frac{4\pi f}{c})^2$

Ngoài độ lợi của kênh fading Rayleigh, thì ta còn có Nakagami fading hay còn gọi Nakagami – m là phân bố xác suất liên quan đến phân bố gamma. Nakagami fading xảy ra với tán xạ đa đường với độ trễ thời gian trải rộng tương đối lớn, với các cụm sóng phản xạ khác nhau.

Vì vậy PDF và CDF độ lợi kênh  $g_\alpha$  được thể hiện:

$$f_{g_\alpha}(x) = \left(\frac{m_\alpha}{\Omega_\alpha}\right)^{m_\alpha} \frac{x^{m_\alpha-1}}{\Gamma(m_\alpha)} \exp\left(-\frac{m_\alpha x}{\Omega_\alpha}\right) \quad (6)$$

$$F_{g_\alpha} = 1 - \sum_{j=0}^{m_\alpha x} \left(\frac{m_\alpha x}{\Omega_\alpha}\right)^j \frac{1}{j!} \exp\left(-\frac{m_\alpha x}{\Omega_\alpha}\right) \quad (7)$$

Trong đó:  $\alpha \in \{b, U_n U_{n+1}\}$ .

$g_\alpha$  là RV có giá trị trung bình  $\omega_\alpha = E[|g_\alpha|^2]$ .

$\Gamma$  là một hàm Gamma.

Trong thực tế không giống hoàn toàn như trên lý thuyết, sẽ có sai số lúc đó thông tin trạng thái kênh không hoàn hảo lúc đó tất cả các kênh sẽ biến thành

$$g_a = \widetilde{g}_a + e_a \text{ và } g_\alpha = \widetilde{g}_\alpha + e_\alpha$$

Trong đó:  $\widetilde{g}_a$  và  $\widetilde{g}_\alpha$  là các hệ số kênh được ước lượng bằng việc sử dụng sai số bình phương trung bình tối thiểu (MMSE) lần lượt cho  $g_a$  và  $g_\alpha$ .

$e_a, e_\alpha \sim CN(0, \Omega_e)$  với  $\Omega_e$  là độ chính xác của ước lượng kênh cùng với đó  $CN(0, \Omega_e)$  là phân phối Gaussian phức với giá trị trung bình bằng 0 và phương sai  $\Omega_e$  [9].

## 2.2. Các giao thức dùng để truyền thông tin.

Trong sơ đồ trên GBS sử dụng kỹ thuật đa truy cập phi trực giao (NOMA) kết hợp vô tuyến nhận thức (CR) với một công suất phát  $P_p$  truyền thông tin tín hiệu đến PR trong không gian mạng đã được thiết lập từ trước. Còn hệ thống mạng thứ cấp, ST có thể nhận được tín hiệu từ dải tần số trong không gian mạng của GBS để truyền tín hiệu  $D_p, D_q$  có sự giúp đỡ của UR thông qua việc sử dụng kỹ thuật NOMA. Nếu ta có  $n$  số UAV thì ta cũng sẽ có  $(N+1)$  pha truyền tín hiệu từ GBS sang ID, nhưng trong sơ đồ trên có 4 UAV nên sẽ có các công thức tính như sau:

Trong pha đầu tiên thực hiện thì ST sẽ truyền tín hiệu  $x_{ST}$  đến  $D_p, D_q$  như sau:

$$x_{ST} = \sqrt{\mu_p} x_p + \sqrt{\mu_q} x_q$$

Với  $\mu_p + \mu_q = 1$  và  $\mu_p > \mu_q$

$\mu$  là hệ số phân bổ công suất.

$x_p, x_q$  là tín hiệu lần lượt tại p và q.

Vì vậy công thức của tín hiệu nhận được ở UR sẽ là:

$$y_{u_1} = \sqrt{\frac{P_{ST}}{\bar{L}_{SU_1}^\theta}} (\sqrt{\mu_p} x_p + \sqrt{\mu_q} x_q) g_{SU_1} + n_{u_1} \quad (8)$$

Trong đó:  $n_{u_1} \sim CN\{0, N_0\}$  cũng là nhiễu tại UAV 1.

$\bar{L}_{SU_1}^\theta$  là suy hao kênh giữa ST và UAV1.

$P_{ST}$  là công suất phát của ST.

$g_{SU_1}$  là độ lợi kênh truyền từ ST đến UAV1.

Tỷ số nhiễu (SINR) nhận được tại UR đầu tiên để giải mã  $x_p, x_q$  sẽ là:

$$\gamma_{U_1}^p = \frac{\mu_p P_s \tilde{g}_{SU_1}}{\bar{L}_{SU_1} (P_s \Omega_e + N_0)} \quad (9)$$

$$\gamma_{U_1}^q = \frac{\mu_q P_s \tilde{g}_{SU_1}}{\bar{L}_{SU_1} (\frac{\mu_q P_s \tilde{g}_{SU_1}}{\bar{L}_{SU_1}} + P_s \Omega_e + N_0)} \quad (10)$$

Trong đó  $\Omega_e$  là xác suất lỗi.

Ngoài ra GBS phát tín hiệu đến PR bằng phương pháp đa truy cập trực giao (OMA).

Đáng chú ý ST sẽ gây nhiễu cho PR trên băng tần của chúng do tính chất quảng bá của OMA, nên tín hiệu nhận tại PR trong pha đầu tiên sẽ là như sau:

$$y_P^1 = \sqrt{\frac{P_P}{d_{GP}^\theta}} g_{GP} x_p + \sqrt{\frac{P_s}{d_{SP}^\theta}} g_{SP} x_s + n_P^1 \quad (11)$$

Trong đó:  $n_P^1 \sim CN(0, N_0)$ ,

$d_{GP}^\theta$  là khoảng cách giữa GBS và PR.

Từ đây ta có thể xác định được SINR tại PR là:

$$\gamma_P^1 = \frac{P_P \tilde{g}_{GP}}{d_{SP}^\theta [\frac{P_s \tilde{g}_{SP}}{d_{GP}^\theta} + (P_s + P_P) \Omega_e + N_0]} \quad (12)$$

Trong pha thứ hai từ UAV1 truyền thông tin đến UAV2, UR đầu tiên sử dụng DF để giải mã chuyển tiếp tín hiệu từ ST sang UR thứ hai. Do đó, tín hiệu nhận được tại UR

thứ hai sẽ như sau:

$$y_{u_2} = \sqrt{\frac{P_{ST}}{\bar{L}_{U_1U_2}^\theta}} (\sqrt{\mu_p^1} x_p + \sqrt{\mu_q^1} x_q) g_{U_1U_2} + n_{U_2} \quad (13)$$

Trong đó  $n_{U_2} \sim CN(0, N_0)$ . Vậy nên, SINR của UR thứ hai nhận được để giải mã  $x_p, x_q$  sẽ như sau:

$$\gamma_{U_2}^p = \frac{\mu_p^1 P_{U_1} \tilde{g}_{U_1U_2}}{\bar{L}_{U_1U_2} (P_{U_1} \Omega_e + N_0)} \quad (14)$$

$$\gamma_{U_2}^q = \frac{\mu_q^1 P_{U_1} \tilde{g}_{U_1U_2}}{\bar{L}_{U_1U_2} (\frac{\mu_p^1 P_{U_1} \tilde{g}_{U_1U_2}}{\bar{L}_{U_1U_2}} + P_{U_1} \Omega_e + N_0)} \quad (15)$$

Khoảng cách trong hệ thống mạng khá ngắn nên sẽ không thể tránh được việc nhiễu tín hiệu nên sẽ có phương trình sau:

$$y_P^2 = \sqrt{\frac{P_P}{d_{GP}^\theta}} g_{GP} x_p + \sqrt{\frac{P_{U_1}}{d_{U_1P}^\theta}} g_{U_1P} x_s + n_P^2 \quad (16)$$

Trong đó  $n_P^2 \sim CN(0, N_0)$ . Do đó, SINR nhận được tại PR trong giai đoạn thứ hai được thể hiện như sau:

$$\gamma_P^2 = \frac{P_P \tilde{g}_{GP}}{d_{SP}^\theta [\frac{P_{U_1} \tilde{g}_{U_1P}}{\bar{L}_{U_1P}^\theta} + (P_{U_1} + P_P) \Omega_e + N_0]} \quad (17)$$

Tiếp tục tương tự như pha thứ hai thì tại pha thứ ba từ UAV3 chuyển tiếp tín hiệu đến UAV4 ta sẽ có tín hiệu nhận tại UR3 như sau:

$$y_{u_3} = \sqrt{\frac{P_{U_2}}{\bar{L}_{U_2U_3}^\theta}} (\sqrt{\mu_p^2} x_p + \sqrt{\mu_q^2} x_q) g_{U_2U_3} + n_{U_3} \quad (18)$$

Trong đó  $n_{U_3} \sim CN(0, N_0)$ . Vậy nên, SINR của UR thứ ba nhận được để giải mã  $x_p, x_q$  sẽ như sau:

$$\gamma_{U_3}^p = \frac{\mu_p^2 P_{U_2} \tilde{g}_{U_2U_3}}{\bar{L}_{U_2U_3} (P_{U_2} \Omega_e + N_0)} \quad (19)$$

$$\gamma_{U_3}^q = \frac{\mu_q^2 P_{U_2} \tilde{g}_{U_2U_3}}{\bar{L}_{U_2U_3} (\frac{\mu_p^2 P_{U_2} \tilde{g}_{U_2U_3}}{\bar{L}_{U_2U_3}} + P_{U_2} \Omega_e + N_0)} \quad (20)$$



Trong hệ thống mạng nêu trên tín hiệu nhận được ở PR tại pha thứ ba là:

$$y_P^3 = \sqrt{\frac{P_P}{d_{GP}^\theta}} g_{GP} x_p + n_P^3 \quad (21)$$

Trong đó  $n_P^3 \sim CN(0, N_0)$ . Do đó, SINR nhận được tại PR trong giai đoạn thứ ba được thể hiện như sau:

$$\gamma_P^3 = \frac{P_P \tilde{g}_{GP}}{d_{GP}^\theta (P_P \Omega_e + N_0)} \quad (22)$$

Và UAV4 cũng là UR cuối cùng nhận được tín hiệu sẽ có dạng như sau:

$$y_{u_4} = \sqrt{\frac{P_{U_3}}{\bar{L}_{U_3 U_4}^\theta}} (\sqrt{\mu_p^3} x_p + \sqrt{\mu_q^3} x_q) g_{U_3 U_4} + n_{u_4} \quad (23)$$

Trong đó  $n_{u_4} \sim CN(0, N_0)$ . Vậy nên, SINR của UR cuối cùng nhận được để giải mã  $x_p, x_q$  sẽ như sau:

$$\gamma_{u_4}^p = \frac{\mu_p^4 P_{U_3} \tilde{g}_{U_3 U_4}}{\bar{L}_{U_3 U_4} (P_{U_3} \Omega_e + N_0)} \quad (24)$$

$$\gamma_{u_4}^q = \frac{\mu_q^4 P_{U_3} \tilde{g}_{U_3 U_4}}{\bar{L}_{U_3 U_4} (\frac{\mu_q^4 P_{U_3} \tilde{g}_{U_3 U_4}}{\bar{L}_{U_3 U_4}} + P_{U_3} \Omega_e + N_0)} \quad (25)$$

Tín hiệu nhận ở PR tại pha thứ tư trong hệ thống mạng chính là sẽ là:

$$y_P^4 = \sqrt{\frac{P_P}{d_{GP}^\theta}} g_{GP} x_p + n_P^4 \quad (26)$$

Trong đó  $n_P^4 \sim CN(0, N_0)$ . Do đó, SINR nhận được tại PR trong giai đoạn thứ tư được thể hiện như sau:

$$\gamma_P^4 = \frac{P_P \tilde{g}_{GP}}{d_{GP}^\theta (P_P \Omega_e + N_0)} \quad (27)$$

Tín hiệu nhận được tại UR thứ ba,  $D_q$  và  $D_q$  trong khe thời gian thứ 4 và 5 là:

$$y_{u_4} = \sqrt{\frac{P_{U_3}}{\bar{L}_{U_3 U_4}^\theta}} g_{U_3 U_4} x_s + \sqrt{\frac{P_P}{d_{GU_4}^\theta}} g_{GU_4} x_p + n_{u_4} \quad (28)$$

$$y_{D_P} = \sqrt{\frac{P_{U_4}}{\bar{L}_{U_4}^\theta}} g_{U_4} x_s + \sqrt{\frac{P_P}{d_{GD_P}^\theta}} g_{GD_P} x_p + n_{D_P} \quad (29)$$

$$y_{D_q} = \sqrt{\frac{P_{U_4}}{\bar{L}_{U_4 D_q}}} g_{U_4 D_q} x_s + \sqrt{\frac{P_P}{d_{G D_q}^\theta}} g_{G D_q} x_q + n_{D_q} \quad (30)$$

Trong đó  $n_{U_4}, n_{D_q}, n_{D_p} \sim CN(0, N_0)$ , vậy SINR tại  $U_4, D_p, D_p$  để giải mã tín hiệu thứ p và thứ q:

$$\gamma_{U_4}^p = \frac{\mu_p^3 P_{U_3} \tilde{g}_{U_3 U_4}}{\bar{L}_{U_3 U_4} \left( \frac{P_P \tilde{g}_{G U_4}}{\bar{L}_{G U_4}} + (P_P + P_{U_3}) \Omega_e + N_0 \right)} \quad (31)$$

$$\gamma_{U_4}^q = \frac{\mu_q^3 P_{U_3} \tilde{g}_{U_3 U_4}}{\bar{L}_{U_3 U_4} \left[ \frac{\mu_p^3 P_{U_3} \tilde{g}_{U_3 U_4}}{\bar{L}_{U_3 U_4}} + \frac{P_P \tilde{g}_{G U_4}}{\bar{L}_{G U_4}} + (P_P + P_{U_3}) \Omega_e + N_0 \right]} \quad (32)$$

$$\gamma_{D_p}^p = \frac{\mu_p^4 P_{U_4} \tilde{g}_{U_4 D_p}}{\bar{L}_{U_4 D_p} \left[ \frac{P_P \tilde{g}_{G D_p}}{d_{G P}^\theta} + (P_P + P_{U_4}) \Omega_e + N_0 \right]} \quad (33)$$

$$\gamma_{D_q}^q = \frac{\mu_q^4 P_{U_4} \tilde{g}_{U_4 D_q}}{\bar{L}_{U_4 D_q} \left[ \frac{\mu_p^4 P_{U_4} \tilde{g}_{U_4 D_q}}{\bar{L}_{U_3 U_4}} + \frac{P_P \tilde{g}_{P D_q}}{d_{G P}^\theta} + (P_P + P_{U_4}) \Omega_e + N_0 \right]} \quad (34)$$

Trong đề tài này em sử dụng bốn UAV ngoài ra có thể sử dụng nhiều UAV hơn. Vậy nếu giả sử số UAV là “n” mà “n” nằm trong khoảng từ 3 đến N, với N là số UAV lớn nhất thì ta sẽ có một số công thức như sau:

Tín hiệu nhận được tại UAV thứ n sẽ là:

$$y_{u_n} = \sqrt{\frac{P_{U_{n-1}}}{\bar{L}_{U_{n-1} U_n}^\theta}} \left( \sqrt{\mu_p^{n-1}} x_p + \sqrt{\mu_q^{n-1}} x_q \right) g_{U_{n-1} U_n} + n_{U_n} \quad (35)$$

Trong đó  $n_{U_n} \sim CN(0, N_0)$ . Tiếp theo đó, tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu SINR nhận được tại UR thứ “n” để phục vụ cho việc giải mã  $x_p, x_q$  sẽ có công thức như sau:

$$\gamma_{U_n}^p = \frac{\mu_p^n P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1} U_n}}{\bar{L}_{U_{n-1} U_n} (P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0)} \quad (36)$$

$$\gamma_{U_n}^q = \frac{\mu_q^{n-1} P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1} U_n}}{\bar{L}_{U_{n-1} U_n} \left( \frac{\mu_q^{n-1} P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1} U_n}}{\bar{L}_{U_{n-1} U_n}} + P_{U_n} \Omega_e + N_0 \right)} \quad (37)$$

Trong hệ thống mạng sơ cấp thì tín hiệu mà PR nhận được trong pha thứ “n” là:

$$y_P^n = \sqrt{\frac{P_P}{d_{G P}^\theta}} g_{G P} x_p + n_P^n \quad (38)$$

Vậy ta có SINR nhận được trong giai đoạn thứ “n” tại PR sẽ là:

$$\gamma_P^n = \frac{P_P \tilde{g}_{GP}}{d_{GP}^\theta (P_P \Omega_e + N_0)} \quad (39)$$

Tại khe thời gian thứ “N” và “N+1”. UR thứ “N” và IoT Destinations (IDs) bị ảnh hưởng bởi nhiễu từ GBS phát ra. Vì vậy cho nên, các tín hiệu UR thứ “N”  $D_p$  và  $D_q$  sẽ đổi thành:

$$y_{U_N} = \sqrt{\frac{P_{U_{N-1}}}{L_{U_{N-1}U_N}}} g_{U_{N-1}U_N} x_s + \sqrt{\frac{P_P}{d_{GU_N}^\theta}} g_{GU_N} x_P + n_{U_N} \quad (40)$$

$$y_{D_P} = \sqrt{\frac{P_{U_N}}{L_{U_N}}} g_{U_N} x_s + \sqrt{\frac{P_P}{d_{GD_P}^\theta}} g_{GD_P} x_P + n_{D_P} \quad (41)$$

$$y_{D_q} = \sqrt{\frac{P_{U_N}}{L_{U_N D_q}}} g_{U_N D_q} x_s + \sqrt{\frac{P_P}{d_{GD_q}^\theta}} g_{GD_q} x_q + n_{D_q} \quad (42)$$

Trong đó  $n_{U_N}, n_{D_P}$  và  $n_{D_q} \sim CN(0, N_0)$ , SINR tại  $U_N, D_p, D_p$  để giải mã tín hiệu thứ p và thứ q là:

$$\gamma_{U_N}^p = \frac{\mu_p^{N-1} P_{U_{N-1}} \tilde{g}_{U_{N-1}U_N}}{L_{U_{N-1}U_N} \left( \frac{P_P \tilde{g}_{GU_N}}{L_{GU_N}} + (P_P + P_{U_{N-1}}) \Omega_e + N_0 \right)} \quad (43)$$

$$\gamma_{U_N}^q = \frac{\mu_q^{N-1} P_{U_{N-1}} \tilde{g}_{U_{N-1}U_N}}{L_{U_{N-1}U_N} \left[ \frac{\mu_p^{N-1} P_{U_{N-1}} \tilde{g}_{U_{N-1}U_N}}{L_{U_{N-1}U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{GU_N}}{L_{GU_N}} + (P_P + P_{U_{N-1}}) \Omega_e + N_0 \right]} \quad (44)$$

$$\gamma_{D_p}^p = \frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_p}}{L_{U_N D_p} \left[ \frac{P_P \tilde{g}_{GD_p}}{d_{GP}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]} \quad (45)$$

$$\gamma_{D_q}^q = \frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_q}}{L_{U_N D_q} \left[ \frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_q}}{L_{U_{N-1}U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{PD_q}}{d_{GP}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]} \quad (46)$$

Vậy trong pha thứ “N” và “N+1” sẽ không bị ảnh hưởng bởi nhiễu từ GBS, có thể nói SINR nhận được tại PR trong pha thứ “N+1” và cũng tương tự như pha thứ “n”:

$$\gamma_p^N = \gamma_p^{N+1} = \gamma_p^n \quad (47)$$

Các SINR đầu cuối để giải mã tín hiệu ở IDs thứ q và p như sau:

$$\gamma_{E2E}^p = \min\{\gamma_U^p, \gamma_{D_p}^p\} \quad (48)$$

$$\gamma_{E2E}^q = \min\{\gamma_U^q, \gamma_{D_q}^q\} \quad (49)$$

Trong đó  $\gamma_U^p = \min_{n \in \{1, \dots, N\}} \gamma_{U_n}^p$  và  $\gamma_U^q = \min_{n \in \{1, \dots, N\}} \gamma_{U_n}^q$

### 2.3. Phân tích hiệu suất của hệ thống.

Hiệu suất của hệ thống sử dụng đa truy cập phi trực giao (NOMA) kết hợp với vô tuyến nhận thức (CR) đã được xác định được ngưỡng làm việc đạt hiệu suất cao nhất bằng cách phân bổ công suất của chúng một cách hợp lý để có thể đảm bảo được rằng giao tiếp giữa GBS đến PR không phải chịu suy hao và thông lượng của mạng được tối đa hóa.

Để có thể duy trì được trạng thái nói trên ta cần phải giữ được OP của PR trong tất cả giai đoạn phải nhỏ hơn ngưỡng xác định trước  $\varepsilon_p$

$$OP = Pr\{C_p < \gamma_p\} \leq \varepsilon_p \quad (50)$$

Trong đó:  $\gamma_p$  là ngưỡng dùng hoạt động của PR.

$C_p$  là dung lượng kênh của liên kết giữa GBS và PR với hệ thống băng thông (W) như sau:

$$\begin{aligned} C_p &= \min_{n \in \{1, \dots, N+1\}} C_p^n \\ C_p^n &= \min_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{W}{N+1} \log(1 + \gamma_p^n) \end{aligned} \quad (51)$$

Ta có thể tìm ra được cách tính OP của mạng thứ cấp như sau:

$$OS = \{C_s^p < \gamma_s\} \text{ hoặc } OS = \{C_s^q < \gamma_s\} \quad (52)$$

Trong đó:  $\gamma_s$  là ngưỡng dùng hoạt động của các IDs

$C_s^p$  và  $C_s^q$  là dung lượng liên kết ST-  $D_p$  và ST-  $D_q$

$$C_s^p = \frac{W}{N+1} \log(1 + \gamma_{E2E}^p) \quad (53)$$

$$C_s^q = \frac{W}{N+1} \log(1 + \gamma_{E2E}^q) \quad (54)$$

Thông lượng của hệ thống mạng thứ cấp được xác định như sau:

$$T_s = (1 - OS)\gamma_s \quad (55)$$

Cũng giống như mạng sơ cấp thì hệ thống mạng thứ cấp cũng cần tối ưu như hệ thống mạng sơ cấp theo các yêu cầu của OP mạng sơ cấp. Đó là tối ưu hóa các hệ số phân bổ công suất tại các UAV, có nghĩa là  $\mu_p$ ,  $\mu_p^n$  và độ cao của các UAV. Cuối cùng sẽ được bài toán tối ưu hóa như sau:

$$\max_{\mu_p, \mu_p^n, h_n} \{T_s\} \quad (56)$$

$$P_s \leq P_{max_{ST}} \quad (57)$$

$$OP^n \leq \varepsilon_p \quad (58)$$

$$\mu_p + \mu_q = 1 \quad (59)$$

$$\mu_p^n + \mu_q^n = 1 \quad (60)$$

$$n \in \{1, \dots, N + 1\} \quad (61)$$

#### 2.4. Phân tích xác suất dừng của hệ thống.

Đầu tiên ta sẽ nghiên cứu về xác suất dừng của hệ thống sơ cấp, ở phần (50) ta đã xác định được ngưỡng dừng hoạt động của hệ thống kết hợp cùng (51) ta sẽ đưa ra được xác suất dừng như sau:

$$\begin{aligned} OP &= Pr\{\min_{n \in \{1, \dots, N+1\}} C_p < \gamma_p\} < \varepsilon_p \\ &= Pr\left\{\min_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{W}{N+1} \log(1 + \gamma_p^n) < \gamma_p\right\} \end{aligned}$$

Bởi vì chỉ có giá trị của  $\gamma_p^n$  chứa biến  $n$  nên t có thể xét giá trị nhỏ nhất của  $\gamma_p^n$ :

$$\begin{aligned} &= Pr\left\{\frac{W}{N+1} \log(1 + \min_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \gamma_p^n) < \gamma_p\right\} \\ &= Pr\left\{1 + \min_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \gamma_p^n < 10^{\frac{N+1}{W} \gamma_p}\right\} \\ &= Pr\left\{1 + \min_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{P_P \tilde{g}_{GP}}{d_{GP}^{\theta}(P_P \Omega_e + N_0)} < 10^{\frac{N+1}{W} \gamma_p}\right\} \\ &= Pr\left\{\min_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{P_P \tilde{g}_{GP}}{d_{GP}^{\theta}(P_P \Omega_e + N_0)} < 10^{\frac{N+1}{W} \gamma_p} - 1\right\} \end{aligned}$$

Bởi vì  $d_{GP}^{\theta}(P_P \Omega_e + N_0)$  đang đóng vai trò là mẫu số cho nên càng lớn thì phân số đó càng nhỏ.

$$\begin{aligned}
&= \Pr \{P_P \tilde{g}_{GP} < \max_{n \in \{1, \dots, N+1\}} d_{GP}^\theta(P_P \Omega_e + N_0)(10^{\frac{N+1}{W} \gamma p} - 1)\} \\
&= \Pr \left\{ \tilde{g}_{GP} < \max_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{d_{GP}^\theta(P_P \Omega_e + N_0)(10^{\frac{N+1}{W} \gamma p} - 1)}{P_P} \right\} \quad (62)
\end{aligned}$$

Ở đây nếu hai thiết bị giao tiếp với nhau cùng ở mặt đất thì:

$$\begin{aligned}
&F g_{GP} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{d_{GP}^\theta(P_P \Omega_e + N_0)(10^{\frac{N+1}{W} \gamma p} - 1)}{P_P} \right) \\
&= 1 - \exp \left( - \frac{\max_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{d_{GP}^\theta(P_P \Omega_e + N_0)(10^{\frac{N+1}{W} \gamma p} - 1)}{P_P}}{\Omega_e} \right) \\
&= 1 - \exp \left( \max_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{d_{GP}^\theta(P_P \Omega_e + N_0)(10^{\frac{N+1}{W} \gamma p} - 1)}{P_P \Omega_e} \right) \quad (63)
\end{aligned}$$

Mặt khác, nếu một trong hai hoặc cả hai không cùng ở dưới mặt đất thì ta sẽ có:

$$\begin{aligned}
&F g_{GP} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{d_{GP}^\theta(P_P \Omega_e + N_0)(10^{\frac{N+1}{W} \gamma p} - 1)}{P_P} \right) \\
&= 1 - \sum_{i=0}^{m_{GP}} \left( \frac{\max_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{m_{GP} d_{GP}^\theta(P_P \Omega_e + N_0)(10^{\frac{N+1}{W} \gamma p} - 1)}{P_P}}{\Omega_e} \right)^j \\
&\quad \frac{1}{j!} \exp \left( - \frac{\max_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{m_{GP} d_{GP}^\theta(P_P \Omega_e + N_0)(10^{\frac{N+1}{W} \gamma p} - 1)}{P_P}}{\Omega_e} \right) \\
&= 1 - \sum_{i=0}^{m_{GP}} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{m_{GP} d_{GP}^\theta(P_P \Omega_e + N_0)(10^{\frac{N+1}{W} \gamma p} - 1)}{P_P \Omega_e} \right)^j \\
&\quad \frac{1}{j!} \exp \left( - \max_{n \in \{1, \dots, N+1\}} \frac{m_{GP} d_{GP}^\theta(P_P \Omega_e + N_0)(10^{\frac{N+1}{W} \gamma p} - 1)}{P_P \Omega_e} \right) \quad (64)
\end{aligned}$$

Sau khi triển khai được xác suất dừng hệ thống của hệ thống mạng sơ cấp thì ta tiếp dụng sử dụng (52), (53) và (54) để có thể đi tìm được xác suất dừng của hệ thống thứ cấp:

$$OS = \Pr\{C_s^p \text{ or } C_s^q < \gamma_s\}$$

Ta có thể viết thành như sau:

$$\begin{aligned}
OS &= Pr\{\min(C_s^p, C_s^q) < \gamma_s\} \\
&= Pr\{\min(\frac{W}{N+1} \log(1 + \gamma_{E2E}^p), \frac{W}{N+1} \log(1 + \gamma_{E2E}^q)) < \gamma_s\} \\
&= Pr\{\frac{W}{N+1} \log(1 + \gamma_{E2E}^p) < \gamma_s\} \times Pr\{\frac{W}{N+1} \log(1 + \gamma_{E2E}^q) < \gamma_s\} \\
&= Pr\{\frac{W}{N+1} \log\left(1 + \min\{\gamma_U^p, \gamma_{D_p}^p\}\right) < \gamma_s\} \\
&\times Pr\{\frac{W}{N+1} \log\left(1 + \min\{\gamma_U^q, \gamma_{D_q}^q\}\right) < \gamma_s\} \\
&= Pr\{\frac{W}{N+1} \log\left(1 + \min\{\gamma_U^p, \gamma_{D_p}^p\}\right) < \gamma_s\} \\
&\times Pr\{\frac{W}{N+1} \log\left(1 + \min\{\gamma_U^q, \gamma_{D_q}^q\}\right) < \gamma_s\} \\
&= Pr\left\{\left(1 + \min\{\gamma_U^p, \gamma_{D_p}^p\}\right) < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}}\right\} \\
&\times Pr\left\{\left(1 + \min\{\gamma_U^q, \gamma_{D_q}^q\}\right) < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}}\right\} \\
&= Pr\left\{\min\{\gamma_U^p, \gamma_{D_p}^p\} < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \\
&\times Pr\left\{\min\{\gamma_U^q, \gamma_{D_q}^q\} < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \\
&= Pr\left\{\gamma_U^p < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \times Pr\left\{\gamma_{D_p}^p < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \\
&\times Pr\left\{\gamma_U^q < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \times Pr\left\{\gamma_{D_q}^q < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \tag{65}
\end{aligned}$$

Nếu  $C_s^p$  nhỏ hơn  $C_s^q$  ta sẽ triển khai:

$$\begin{aligned}
OS &= Pr\left\{\gamma_U^p < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \times Pr\left\{\gamma_{D_p}^p < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \\
&= Pr\left\{\min_{n \in \{1, \dots, N\}} \gamma_{U_n}^p < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \times Pr\left\{\gamma_{D_p}^p < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \\
&= Pr\left\{\min_{n \in \{1, \dots, N\}} \gamma_{U_n}^p < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \times Pr\left\{\gamma_{D_p}^p < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\} \\
&= Pr\left\{\min_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{\mu_p^n P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1}U_n}}{\bar{L}_{U_{n-1}U_n}(P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0)} < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1\right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times \Pr \left\{ \frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_p}}{\bar{L}_{U_N D_p} \left[ \frac{P_p \tilde{g}_{G D_p}}{d_{G P_p}^\theta} + (P_p + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]} < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1 \right\} \\
& = \Pr \left\{ \tilde{g}_{U_{n-1} U_n} < \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{\left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1 \right) \bar{L}_{U_{n-1} U_n} (P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0)}{\mu_p^N P_{U_{n-1}}} \right\} \\
& \times \Pr \left\{ \tilde{g}_{U_N D_p} < \frac{(\gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1) \bar{L}_{U_N D_p} \left[ \frac{P_p \tilde{g}_{G D_p}}{d_{G P_p}^\theta} + (P_p + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\mu_p^N P_{U_N}} \right\} \quad (66)
\end{aligned}$$

Có một chút khác biệt so với mạng sơ cấp bởi vì đa phần thiết bị sử dụng là các UAV cho nên sẽ đưa ra công thức tính xác suất cho thiết bị bay trên không:

$$\begin{aligned}
\text{OS} &= F_{g_{U_{n-1} U_n}} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{\left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1 \right) \bar{L}_{U_{n-1} U_n} (P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0)}{\mu_p^N P_{U_{n-1}}} \right) \\
&\times F_{g_{U_N D_p}} \left( \frac{(\gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1) \bar{L}_{U_N D_p} \left[ \frac{P_p \tilde{g}_{G D_p}}{d_{G P_p}^\theta} + (P_p + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\mu_p^N P_{U_N}} \right) \\
&= [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_{n-1} U_n}} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1} U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1 \right) \bar{L}_{U_{n-1} U_n} (P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0)}{\frac{\mu_p^N P_{U_{n-1}}}{\Omega_{U_{n-1} U_n}}} \right)^j] \\
&\frac{1}{j!} \exp \left( - \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1} U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1 \right) \bar{L}_{U_{n-1} U_n} (P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0)}{\frac{\mu_p^N P_{U_{n-1}}}{\Omega_{U_{n-1} U_n}}} \right) \\
&\times [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_N D_p}} \left( \frac{m_{U_N D_p} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1) \bar{L}_{U_N D_p} \left[ \frac{P_p \tilde{g}_{G D_p}}{d_{G P_p}^\theta} + (P_p + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\frac{\mu_p^N P_{U_N}}{\Omega_{U_N D_p}}} \right)^j] \\
&\frac{1}{j!} \exp \left( - \frac{m_{U_N D_p} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1) \bar{L}_{U_N D_p} \left[ \frac{P_p \tilde{g}_{G D_p}}{d_{G P_p}^\theta} + (P_p + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\frac{\mu_p^N P_{U_N}}{\Omega_{U_N D_p}}} \right)
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&= [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_{n-1}U_n}} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1}U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_{n-1}U_n} (P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0)}{\mu_p^n P_{U_{n-1}} \Omega_{U_{n-1}U_n}} \right)^j \\
&\quad \frac{1}{j!} \exp \left( - \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1}U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_{n-1}U_n} (P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0)}{\mu_p^n P_{U_{n-1}} \Omega_{U_{n-1}U_n}} \right) ] \\
&\quad \times [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_N D_p}} \left( \frac{m_{U_N D_p} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_N D_p} \left[ \frac{P_p \tilde{g}_{G D_p}}{d_{G P_p}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\mu_p^N P_{U_N} \Omega_{U_N D_p}} \right)^j \\
&\quad \frac{1}{j!} \exp \left( - \frac{m_{U_N D_p} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_N D_p} \left[ \frac{P_p \tilde{g}_{G D_p}}{d_{G P_p}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\mu_p^N P_{U_N} \Omega_{U_N D_p}} \right) ] \quad (67)
\end{aligned}$$

Vậy thì  $C_s^q$  nhỏ hơn  $C_s^p$  ta sẽ có được:

$$\begin{aligned}
OS &= \Pr \left\{ \gamma_U^q < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right\} \times \Pr \left\{ \gamma_{D_q}^q < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right\} \\
&= \Pr \left\{ \min_{n \in \{1, \dots, N\}} \gamma_{U_n}^q < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right\} \times \Pr \left\{ \gamma_{D_q}^q < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right\} \\
&= \Pr \left\{ \min_{n \in \{1, \dots, N\}} \gamma_{U_n}^q < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right\} \times \Pr \left\{ \gamma_{D_q}^q < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right\} \\
&= \Pr \left\{ \min_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{\mu_q^n P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1}U_n}}{\bar{L}_{U_{n-1}U_n} \left( \frac{\mu_p^n P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1}U_n}}{\bar{L}_{U_{n-1}U_n}} + P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0 \right)} < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right\} \\
&\quad \times \Pr \left\{ \frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_q}}{\bar{L}_{U_N D_q} \left[ \frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_q}}{\bar{L}_{U_{N-1}U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{P D_q}}{d_{G P_q}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]} < \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right\} \\
&= \Pr \left\{ \tilde{g}_{U_{n-1}U_n} < \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{\left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_{n-1}U_n} \left( \frac{\mu_p^n P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1}U_n}}{\bar{L}_{U_{n-1}U_n}} + P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0 \right)}{\mu_q^n P_{U_{n-1}}} \right\}
\end{aligned}$$

$$\times \Pr \left\{ \tilde{g}_{U_N D_P} < \frac{(\gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1) \bar{L}_{U_N D_q} \left[ \frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_q}}{\bar{L}_{U_{N-1} U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{PD_q}}{d_{GP_q}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\mu_q^N P_{U_N}} \right\} \quad (68)$$

Tiếp tục với (68) ta sẽ tính được:

$$\begin{aligned} OS &= F_{\tilde{g}_{U_{n-1} U_n}} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{\left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1 \right) \bar{L}_{U_{n-1} U_n} \left( \frac{\mu_p^N P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1} U_n}}{\bar{L}_{U_{n-1} U_n}} + P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0 \right)}{\mu_q^N P_{U_{n-1}}} \right) \\ &\times F_{\tilde{g}_{U_N D_P}} \left( \frac{(\gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1) \bar{L}_{U_N D_q} \left[ \frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_q}}{\bar{L}_{U_{N-1} U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{PD_q}}{d_{GP_q}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\mu_q^N P_{U_N}} \right) \\ &= [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_{n-1} U_n}} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1} U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1 \right) \bar{L}_{U_{n-1} U_n} \left( \frac{\mu_p^N P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1} U_n}}{\bar{L}_{U_{n-1} U_n}} + P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0 \right)}{\frac{\mu_p^N P_{U_{n-1}}}{\Omega_{U_{n-1} U_n}}} \right)^j \\ &\quad \frac{1}{j!} \exp \left( - \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1} U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1 \right) \bar{L}_{U_{n-1} U_n} \left( \frac{\mu_p^N P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1} U_n}}{\bar{L}_{U_{n-1} U_n}} + P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0 \right)}{\frac{\mu_p^N P_{U_{n-1}}}{\Omega_{U_{n-1} U_n}}} \right)] \\ &\times [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_N D_P}} \left( \frac{m_{U_N D_P} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1) \bar{L}_{U_N D_q} \left[ \frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_q}}{\bar{L}_{U_{N-1} U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{PD_q}}{d_{GP_q}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\frac{\mu_p^N P_{U_N}}{\Omega_{U_N D_P}}} \right)^j \\ &\quad \frac{1}{j!} \exp \left( - \frac{m_{U_N D_P} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}} - 1) \bar{L}_{U_N D_q} \left[ \frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_q}}{\bar{L}_{U_{N-1} U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{PD_q}}{d_{GP_q}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\frac{\mu_p^N P_{U_N}}{\Omega_{U_N D_P}}} \right)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_{n-1}U_n}} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1}U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_{n-1}U_n} \left( \frac{\mu_p^{nP} U_{n-1} \tilde{g}_{U_{n-1}U_n} + P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0 \right)}{\frac{\mu_p^{nP} U_{n-1}}{\Omega_{U_{n-1}U_n}}} \right)^j \\
&\quad \frac{1}{j!} \exp \left( - \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1}U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_{n-1}U_n} \left( \frac{\mu_p^{nP} U_{n-1} \tilde{g}_{U_{n-1}U_n} + P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0 \right)}{\frac{\mu_p^{nP} U_{n-1}}{\Omega_{U_{n-1}U_n}}} \right) ] \\
&\quad \times [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_N D_p}} \left( \frac{m_{U_N D_p} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1}) \bar{L}_{U_N D_p} \left[ \frac{\mu_p^{NP} U_N \tilde{g}_{U_N D_p}}{\bar{L}_{U_{N-1}U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{PDp}}{d_{GPq}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\frac{\mu_p^{NP} U_N}{\Omega_{U_N D_p}}} \right)^j \\
&\quad \frac{1}{j!} \exp \left( - \frac{m_{U_N D_p} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1}) \bar{L}_{U_N D_p} \left[ \frac{\mu_p^{NP} U_N \tilde{g}_{U_N D_p}}{\bar{L}_{U_{N-1}U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{PDp}}{d_{GPq}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\frac{\mu_p^{NP} U_N}{\Omega_{U_N D_p}}} \right) ] \\
&= [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_{n-1}U_n}} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1}U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_{n-1}U_n} \left( \frac{\mu_p^{nP} U_{n-1} \tilde{g}_{U_{n-1}U_n} + P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0 \right)}{\mu_p^{nP} U_{n-1} \Omega_{U_{n-1}U_n}} \right)^j \\
&\quad \frac{1}{j!} \exp \left( - \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1}U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_{n-1}U_n} \left( \frac{\mu_p^{nP} U_{n-1} \tilde{g}_{U_{n-1}U_n} + P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0 \right)}{\mu_p^{nP} U_{n-1} \Omega_{U_{n-1}U_n}} \right) ] \\
&\quad \times [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_N D_p}} \left( \frac{m_{U_N D_p} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1}) \bar{L}_{U_N D_p} \left[ \frac{\mu_p^{NP} U_N \tilde{g}_{U_N D_p}}{\bar{L}_{U_{N-1}U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{PDp}}{d_{GPq}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\mu_p^{NP} U_N \Omega_{U_N D_p}} \right)^j \\
&\quad \frac{1}{j!} \exp \left( - \frac{m_{U_N D_p} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1}) \bar{L}_{U_N D_p} \left[ \frac{\mu_p^{NP} U_N \tilde{g}_{U_N D_p}}{\bar{L}_{U_{N-1}U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{PDp}}{d_{GPq}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0 \right]}{\mu_p^{NP} U_N \Omega_{U_N D_p}} \right) ] \quad (69)
\end{aligned}$$

Ta gộp (67) và (69) ta sẽ có được xác suất dừng hệ thống của mạng thứ cấp như sau:

$$\begin{aligned}
&= [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_{n-1}U_n}} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1}U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_{n-1}U_n} (P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0)}{\mu_p^{nP} U_{n-1} \Omega_{U_{n-1}U_n}} \right)^j \\
&\quad \frac{1}{j!} \exp \left( - \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1}U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_{n-1}U_n} (P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0)}{\mu_p^{nP} U_{n-1} \Omega_{U_{n-1}U_n}} \right) ]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_N D_p}} \left( \frac{m_{U_N D_p} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1}) \bar{L}_{U_N D_p} [\frac{P_p \tilde{g}_{GDp}}{d_{GPp}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0]}{\mu_p^N P_{U_N} \Omega_{U_N D_p}} \right)^j \\
& \frac{1}{j!} \exp \left( - \frac{m_{U_N D_p} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1}) \bar{L}_{U_N D_p} [\frac{P_p \tilde{g}_{GDp}}{d_{GPp}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0]}{\mu_p^N P_{U_N} \Omega_{U_N D_p}} \right) ] \\
& \times [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_{n-1} U_n}} \left( \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1} U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_{n-1} U_n} \left( \frac{\mu_p^N P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1} U_n} + P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0}{\bar{L}_{U_{n-1} U_n}} \right)}{\mu_p^N P_{U_{n-1}} \Omega_{U_{n-1} U_n}} \right)^j \\
& \frac{1}{j!} \exp \left( - \max_{n \in \{1, \dots, N\}} \frac{m_{U_{n-1} U_n} \left( \gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1} \right) \bar{L}_{U_{n-1} U_n} \left( \frac{\mu_p^N P_{U_{n-1}} \tilde{g}_{U_{n-1} U_n} + P_{U_{n-1}} \Omega_e + N_0}{\bar{L}_{U_{n-1} U_n}} \right)}{\mu_p^N P_{U_{n-1}} \Omega_{U_{n-1} U_n}} \right) ] \\
& \times [1 - \sum_{i=0}^{m_{U_N D_q}} \left( \frac{m_{U_N D_p} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1}) \bar{L}_{U_N D_q} [\frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_q}}{\bar{L}_{U_{N-1} U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{PDq}}{d_{GPq}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0]}{\mu_p^N P_{U_N} \Omega_{U_N D_p}} \right)^j \\
& \frac{1}{j!} \exp \left( - \frac{m_{U_N D_p} (\gamma_s^{\frac{W}{N+1}-1}) \bar{L}_{U_N D_q} [\frac{\mu_p^N P_{U_N} \tilde{g}_{U_N D_q}}{\bar{L}_{U_{N-1} U_N}} + \frac{P_P \tilde{g}_{PDq}}{d_{GPq}^\theta} + (P_P + P_{U_N}) \Omega_e + N_0]}{\mu_p^N P_{U_N} \Omega_{U_N D_p}} \right) ] \quad (70)
\end{aligned}$$

## CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ.

### 3.1. Phần mềm mô phỏng và thuật toán.

#### 3.1.1. Phần mềm mô phỏng.

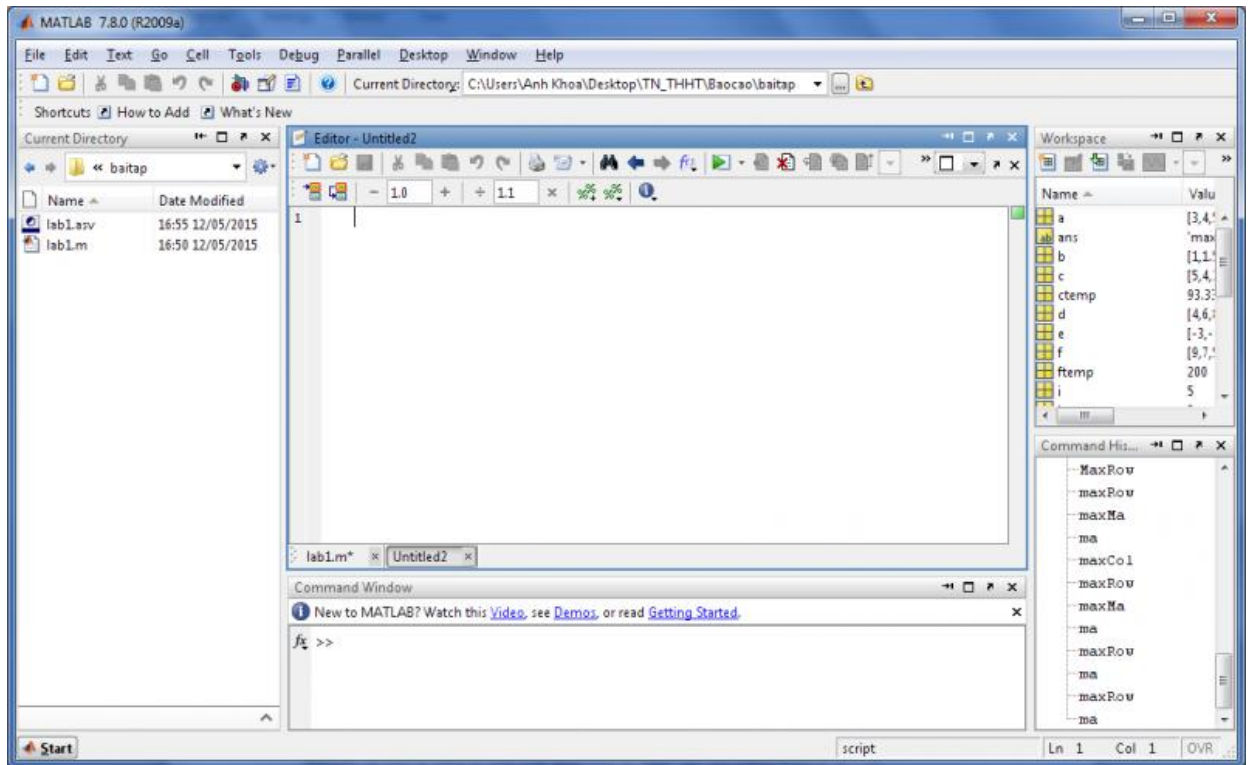
MATLAB (Matrix Laboratory) là một môi trường tính toán và cũng là ngôn ngữ lập trình được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực tính toán số và khoa học dữ liệu. MATLAB cung cấp một loạt các công cụ và chức năng mạnh mẽ để thực hiện các phép toán số, tính toán ma trận, xử lý tín hiệu, đồ thị hóa dữ liệu, mô phỏng và phân tích số liệu.

Với MATLAB, người dùng có thể thực hiện các phép toán số học cơ bản như cộng, trừ, nhân, chia, cũng như các phép toán phức tạp như tích phân, vi phân, đại số tuyến tính, và giải phương trình. MATLAB cũng cung cấp các chức năng mạnh mẽ để thao tác với ma trận và vector, cho phép người dùng thực hiện các phép toán ma trận như nhân ma trận, chuyển vị, định thức, giải hệ phương trình tuyến tính, và nhiều hơn nữa.

Một trong những điểm mạnh của MATLAB là khả năng đồ họa, người dùng có thể dễ dàng tạo ra đồ thị 2D và 3D từ dữ liệu số hoặc kết quả tính toán. MATLAB cung cấp các công cụ mạnh mẽ để tạo ra biểu đồ, sơ đồ, và hình ảnh minh họa, giúp người dùng hiểu và trực quan hóa dữ liệu.

Ngoài ra, MATLAB cũng hỗ trợ việc lập trình và phát triển ứng dụng thông qua ngôn ngữ lập trình MATLAB. Người dùng có thể viết mã MATLAB để tạo ra các chương trình và tập lệnh tùy chỉnh, thực hiện các thuật toán phức tạp và xử lý dữ liệu.

MATLAB được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như khoa học, kỹ thuật, toán học, thống kê, khoa học dữ liệu, và nghiên cứu. Đặc biệt, MATLAB là công cụ phổ biến trong lĩnh vực xử lý tín hiệu, điều khiển tự động, truyền thông, và thiết kế hệ thống.



Hình 3.1: Giao diện chính của phần mềm MATLAB

### 3.1.2. Thuật toán di truyền liên tục.

Trong đề tài này em sẽ sử dụng thuật toán di truyền cho hai trường hợp chủ yếu đó là tối ưu công suất và tối ưu độ cao. Bài toán trên sẽ tìm kiếm đường đi đến các phương tiện hàng không không người lái (UAV) để có thể phân chia được công suất một cách đồng đều và đồng thời sẽ tìm được độ cao phù hợp để cho độ phủ của sóng phù hợp nhất.

Việc phân bổ công suất lẫn độ cao sẽ giúp cho việc tiết kiệm được năng lượng và cũng có thể duy trì lâu hơn trên mỗi phương tiện hàng không không người lái (UAV) đồng thời việc phân chia như vậy sẽ tối ưu được thông lượng sẽ được truyền đi trong không gian, sau đây em xin giới thiệu cách thức áp dụng thuật toán di truyền vào trong việc tối ưu hóa thông lượng vô tuyến sử dụng UAV:

Bước 1: Khởi tạo:

+ Tạo ra một hợp các cá thể để bắt đầu quá trình tiến hóa các giá trị độ cao, năng lượng...

+  $t = 0, \lambda, r_c, r_m$  và  $T$ ; với  $T$  là số lần lặp thế hệ tối đa.

Bước 2: Khởi tạo quần thể ban đầu:

+ Ta sẽ thiết lập cho các giá trị đã được khởi tạo ở trên,  $d_k^t$ ;  $k = 1, \dots, \lambda$ ;  $t = 1, \dots, T$ .

for (t=1;t<T;t++){

for(k=1;k<λ;k++){

Bước 3: Đánh giá mức độ thích nghi của mỗi nhiễm sắc thể trong quần thể trong quần thể bằng cách đưa ra các tính toán các chỉ số đánh giá đã được xác định:  $f_k^t = T_s$  như trong (55). }//end for

Bước 4: Tái tạo nhiễm sắc thể trên kết quả đánh giá. Ta sử dụng phương pháp lai ghép hay đột biến bằng cách kết hợp và biến đổi các giá trị.

+ Ở đây ta sẽ áp dụng lai ghép bằng cách ghép bố mẹ theo  $r_c$ .

+ Áp dụng đột biến theo  $r_m$  cho đời con. }//end for

Thuật toán CGA có thể xử lý khối lượng thông tin lớn. Trong thuật toán vừa được biểu diễn ở trên các tham số được sử dụng đã được xác định ở (56). CGA coi các nhiễm sắc thể là vector của các giá trị thực, vậy nên có hiệu quả trong các miền liên tục. Nhiễm sắc thể thứ k ở thế hệ thứ t là:

$$d_k^t = [\mu_p, \mu_p^n, h_n] \quad (62)$$

Trong đó  $n \in \{1, \dots, N+1\}$

Trong thuật toán sẽ bắt đầu với những nhiễm sắc thể ngẫu nhiên trong một quần thể đầu tiên  $d_k^0$ . Sau khi các nhiễm sắc thể được tính toán giá trị hàm mục tiêu và được chọn lọc ra những nhiễm sắc thể nổi trội và tốt nhất để duy trì và sinh sản tạo ra một quần thể  $\lambda$ . Quá trình lai tạo được thiết lập bởi các cặp nhiễm sắc thể được tái tổ hợp thành những cặp với tỷ lệ lai tạo  $r_c$  để tạo ra được các nhiễm sắc thể mang được các đặc điểm nổi trội giữa hai sắc thể ban đầu, được gọi là thế hệ con lai. Ở đây khi ta bắt cặp hai cá thể bất kỳ  $d_i^t$  và  $d_j^t$ , nó sẽ tạo thành hai nhiễm sắc thể con lai như sau:

$$d_i^{t+1} = (1 - u)d_i^t + ud_j^t \quad (63)$$

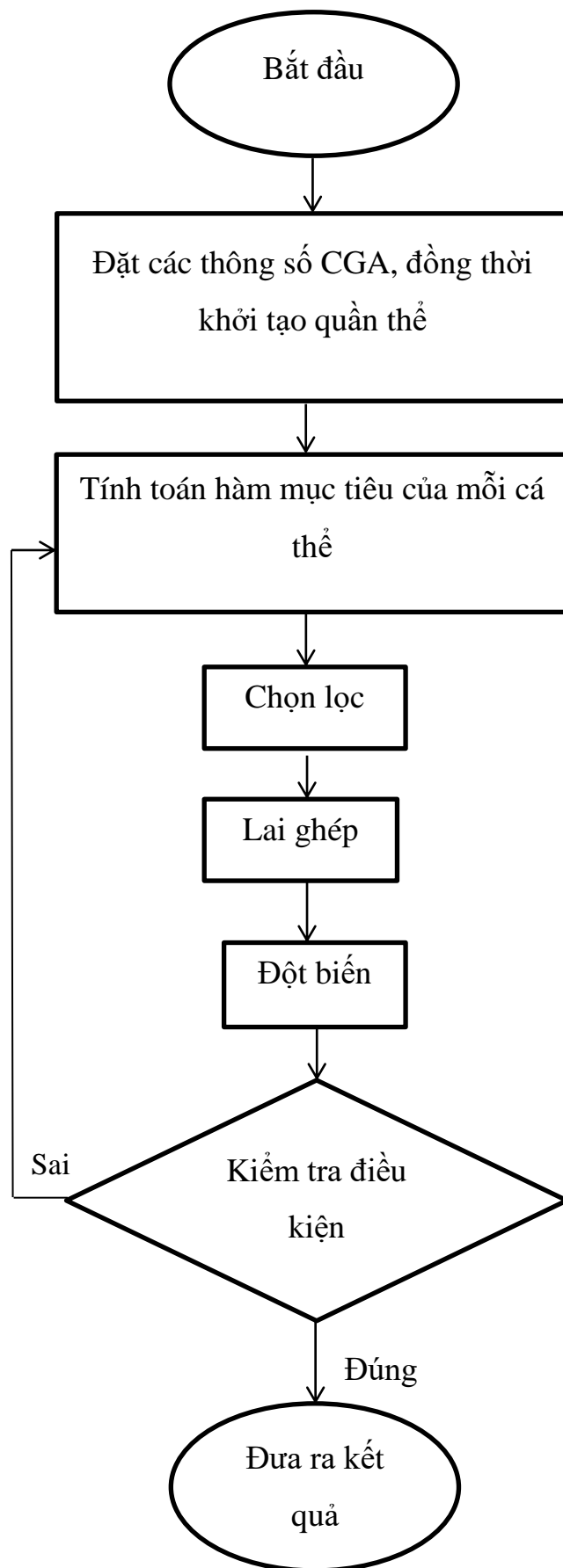
$$d_j^{t+1} = (1 - u)d_j^t + ud_i^t \quad (64)$$

Trong đó u là giá trị ngẫu nhiên thống nhất thỏa mãn  $0 < u < 1$ .

Để tránh việc tối ưu cục bộ, bước đột biến được sử dụng để chọn các nhiễm sắc thể có tỷ lệ đột biến thấp hơn so với mặt bằng chung và bắt đầu biến đổi chúng bằng cách ngẫu nhiên bằng cách thêm một giá trị ngẫu nhiên với mỗi tham số của nhiễm sắc thể gốc. Các giá trị này được điều chỉnh bởi phân phối Gauss có giá trị trung bình là 0 và tỷ lệ là  $r_m$ . Việc sử dụng biến đổi giá trị là có thể duy trì sự đa dạng di truyền trong quần thể vì số lượng gen ngày ít vì đã tiêu hủy những gen không tốt. Vì trải qua nhiều lần lai tạo hay đột biến nên sẽ trong một thế hệ luôn có những nhiễm sắc thể tốt nhất trong quá trình chọn lọc và ta chọn đó là đầu ra của quá trình tối ưu hóa.

$$d^* = [\mu_p^*, \mu_p^{n^*}, h_n^*] \quad (48)$$





Hình 3.2: Sơ đồ khối thuật toán di truyền liên tục

Hình 3.2 đã mô tả cách thức thực hiện di truyền trong mô hình tối ưu dữ liệu và tài nguyên nói chung hay tối ưu thông lượng trong vô tuyến nói riêng, ở đây em sẽ đề cập về việc tối ưu chiều cao và công suất phát.

Lúc này có thể nói chúng ta đã có một quần thể mới tốt hơn cái cũ và cũng có thể đưa ra các nhiệm vụ thể tốt nhất trong quần thể đó. Trong quá trình tiến hóa, các cá thể tốt nhất sẽ được lựa chọn và tiếp tục phát triển qua các thế hệ. Qua mỗi thế hệ, thông qua phép lai ghép và đột biến, quần thể sẽ tiến dần đến các giải pháp tốt hơn cho việc tối ưu hóa phân bổ năng lượng và độ cao trong hệ thống.

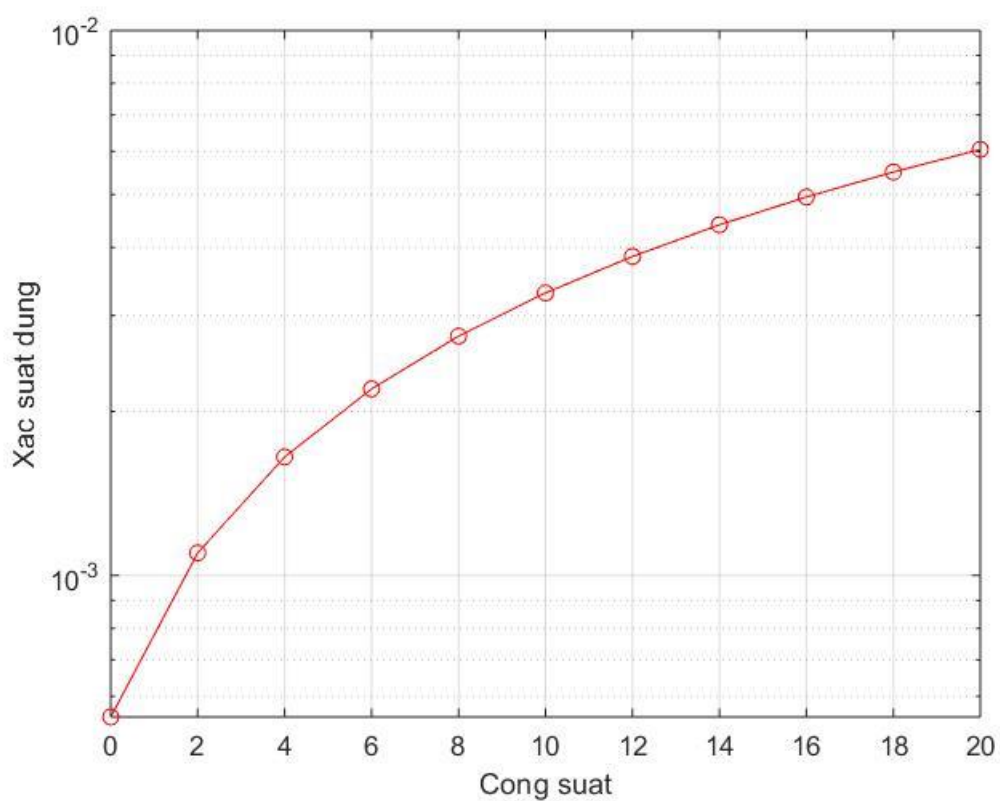
### **3.2. Thử nghiệm và nghiên cứu.**

#### **3.2.1. Đánh giá kết quả phân tích xác suất dừng hệ thống.**

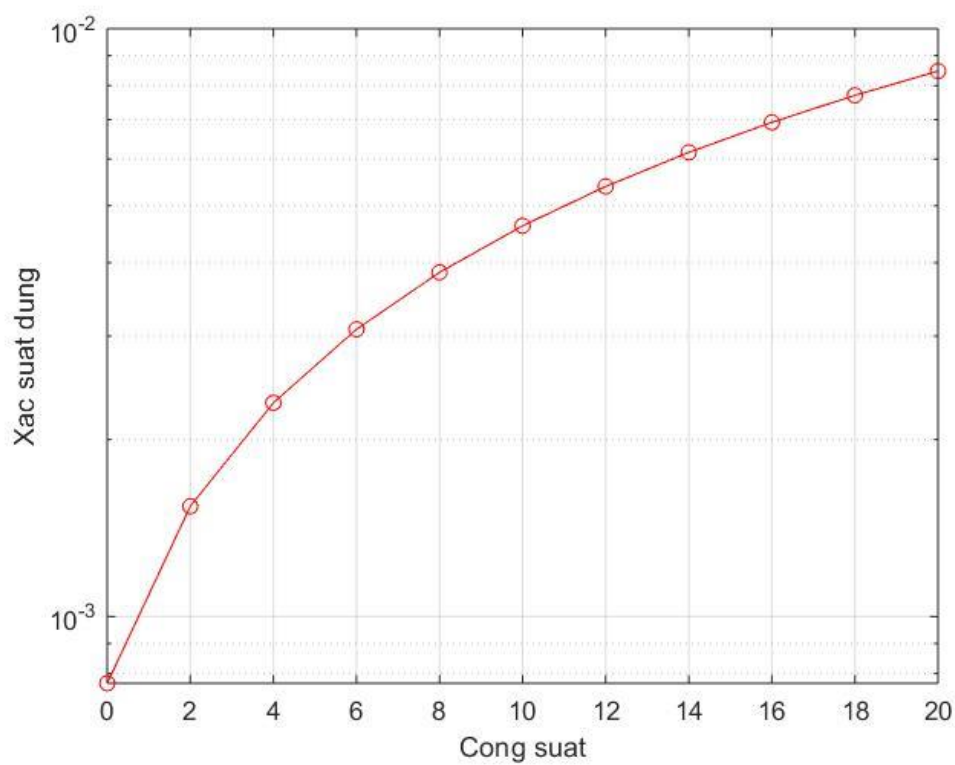
Trong phần này em sẽ phân tích kết quả xác suất dừng của hệ thống mạng sơ cấp và cả thứ cấp, xem xét độ tương quan giữa chúng và công suất phát kèm theo đó là ảnh hưởng của độ cao đến với thông lượng hệ thống.

Mọi số tham số cần được làm rõ trong quá trình tính toán để có được kết quả như: tham số fading được thiết lập là  $m_\alpha = 2$ , băng thông trong hệ thống là  $W = 100$  MHz, số lượng UAV được sử dụng là 4, xác suất lỗi  $\Omega_e = [3 \ 7]$ , ngưỡng của ID và PR để giải mã thành công tín hiệu của chúng là  $\gamma_s = [3 \ 5 \ 7]$ , ngoài ra còn có các chỉ số môi trường trong đô thị như:  $\varphi = 9,6177$ ;  $\Psi = 0,1581$ ;  $\omega LoS = 1$ ;  $\omega NLoS = 20$ .

### 3.2.1.1. Kết quả phân tích xác suất dừng hệ thống sơ cấp.



Hình 3.3: Ảnh hưởng của công suất phát đến xác suất dừng hệ thống sơ cấp với  $\Omega_e=3$

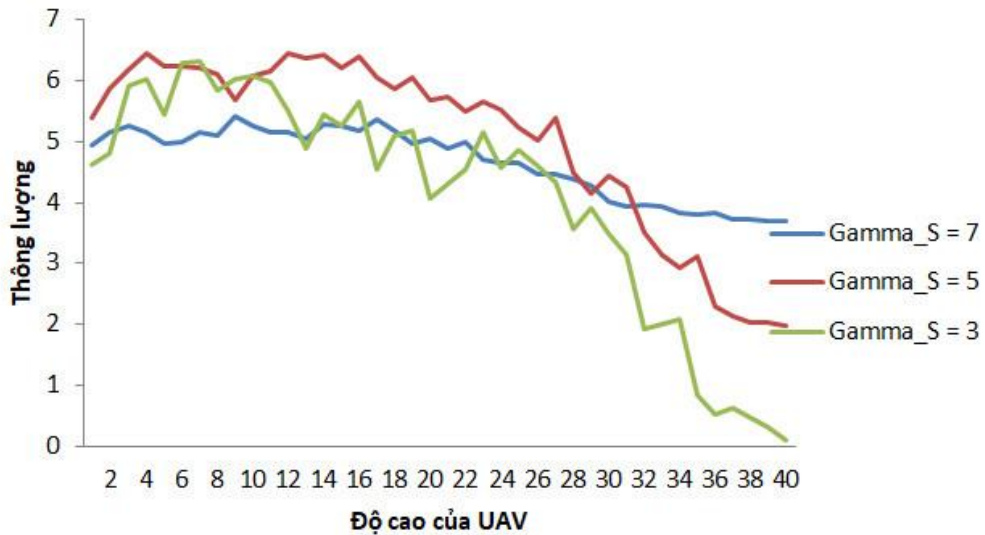


Hình 3.4: Ảnh hưởng của công suất phát đến xác suất dừng hệ thống sơ cấp với  $\Omega_e=7$

Với hình 3.3 là xác suất dừng hệ thống sơ cấp với  $\Omega_e = 3$  cho thấy công suất phát càng lớn thì xác suất dừng hệ thống càng cao, tương tự như hình 3.4 cùng với  $\Omega_e = 7$  nhưng có thể thấy công suất phát có xu hướng tăng mạnh hơn so với  $\Omega_e = 3$ .

### 3.2.1.2. Kết quả phân tích xác suất dừng hệ thống thứ cấp.

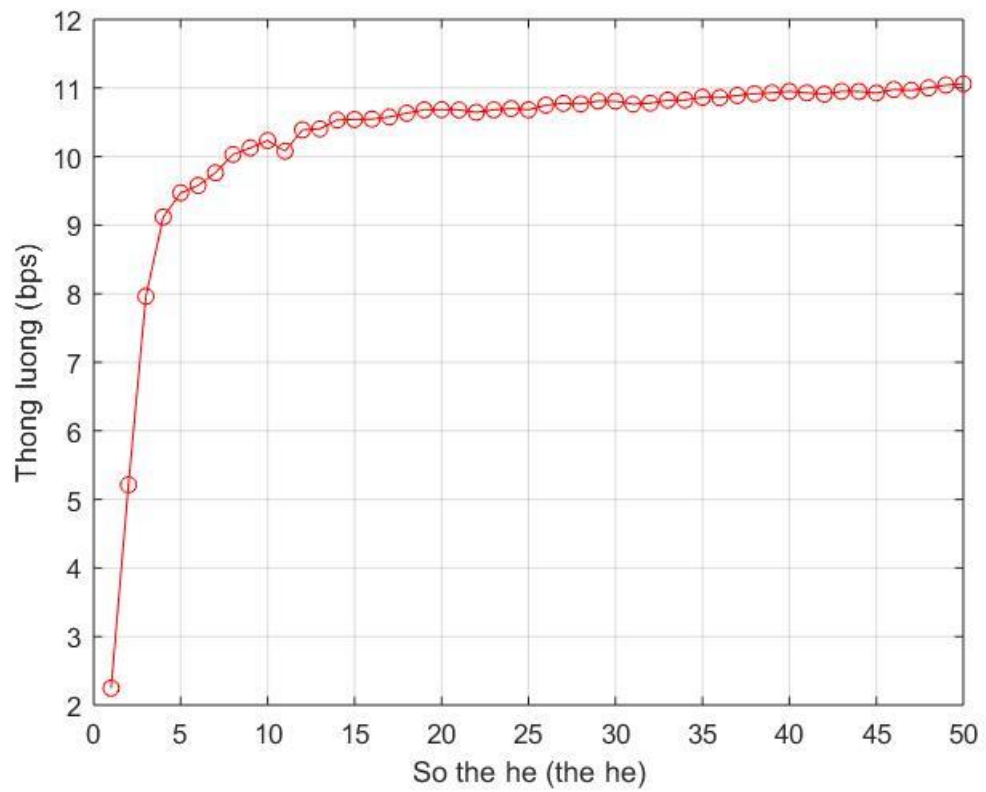
Giống như các chỉ số đã được giới thiệu ở trên, áp dụng chúng vào trong hệ thống thứ cấp.



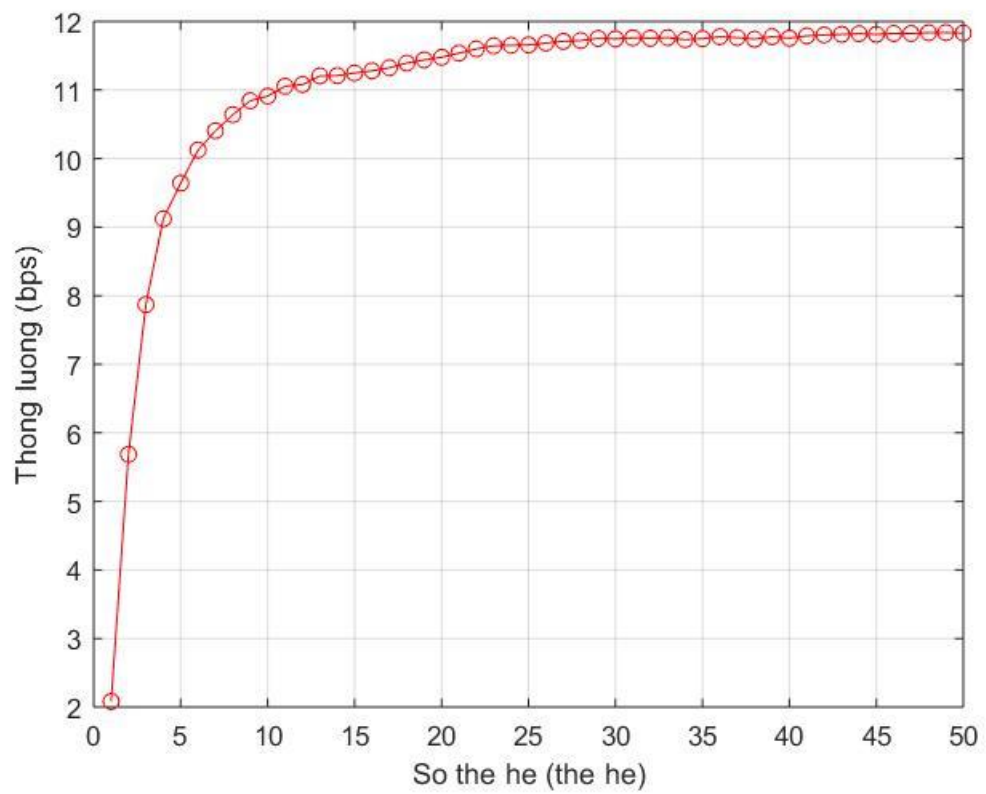
Hình 3.5: Sự ảnh hưởng của độ cao đến với thông lượng

Trong hình 3.5 biểu thị sự ảnh hưởng của độ cao đến với ngưỡng dừng hoạt động của hệ thống. Chúng biểu thị cho thấy khi độ cao tăng cao đến một ngưỡng vừa phải thì thông lượng hệ thống sẽ đạt đến cực đỉnh nhưng nếu chúng ta tiếp tục tăng độ cao của UAV thì lúc đó thông lượng sẽ bị giảm bởi hiện tượng suy hao diễn ra.

Tiếp theo đó CGA sẽ được áp dụng vào để tối ưu hóa hệ thống, sẽ có hai số lượng dân số được đưa vào đó là  $\lambda = \{20, 100\}$ , tỷ lệ lai tạo là  $r_c = \{0,3; 0,5; 0,7\}$  cùng với quy mô đột biến  $r_m = \{0,1; 0,2; 0,3\}$  ta sẽ kiểm tra trong vòng 50 thế hệ  $T=50$ .



Hình 3.6: Mức độ tối ưu thông lượng qua từng thể hệ với kích thước quần thể là 30



Hình 3.7: Mức độ tối ưu thông lượng qua từng thể hệ với kích thước quần thể là 100

Hai hình 3.6 và 3.7 đã thể hiện rõ mức độ thích nghi của quần thể trong việc tối ưu thông lượng mạng. Đối với số lượng của quần thể bằng 30 (hình 3.6) thì sự tiến hóa qua sẽ mất ổn định hơn so với hình 3.7. Đây cũng là việc tính toán chi phí và sự ổn định của hệ thống. Nếu ta để ý đến các giá trị thì nó sẽ đạt cực đại.

Số thể hệ bình quân để đạt được 90% giá trị	$r_c = 0,3$	$r_c = 0,5$	$r_c = 0,7$
$r_m = 0,3$	16	15	11
$r_m = 0,5$	14	12	8
$r_m = 0,7$	13	12	7

Bảng 1: So sánh sự hội tụ theo  $r_c$  và  $r_m$

Bảng 1 đã đưa ra sự so sánh giữa tỷ lệ chéo  $r_c$  và tỷ lệ đột biến  $r_m$ . Ở đây sẽ gán số lượng dân số cố định sẽ là 100 trong suốt quá trình thực nghiệm bảng 1. Khi nhìn vào trong bảng 1 ta có thể thấy giá trị nhỏ nhất để đạt được thông lượng bằng với 90% so với thông lượng tối đa mà hệ thống có thể đạt được là 16 khi  $r_c = 0,3$  và  $r_m = 0,3$ , ở đây bởi vì tỷ lệ đột biến cao thấp vào đó là tỷ lệ chéo giữa các cá thể bên trong quần thể thấp dẫn đến việc đưa đạt được cực đại chậm hơn so với các tỷ lệ khác. Có thể thấy đối lập với  $r_c = 0,7$  và  $r_m = 0,7$  là những tỷ lệ phát triển chậm nhất thì  $r_c = 0,7$  và  $r_m = 0,7$  mất đến 7 thế hệ để có thể đạt được con số 90% so với cực đại.

# KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI

## **Kết luận:**

Sau quá trình nghiên cứu em đã rút ra những vấn đề sau trong đề tài trên:

- Làm rõ các khái niệm chính có trong mô hình.
- Đưa ra các công thức tính toán cho từng thông số, xác suất dừng hệ thống, công suất phát, tỷ số tín hiệu trên nhiễu.
- Thử nghiệm và phân tích kết quả trên phần mềm MATLAB để kiểm tra tính đúng đắn của các công thức toán học đã nêu ra.

Ngoài ra trong đề tài còn nhiều hạn chế chưa được cải thiện:

- Vẫn còn gặp nhiều hạn chế có trong mạng vô tuyến như: nhiễu, vật cản...
- UAV chỉ hoạt động trong khoảng thời gian ngắn cho nên muốn hệ thống hoạt động liên tục trong thời gian dài thì gặp nhiều khó khăn. Thay vào đó ta có thể sử dụng những phương tiện mặt đất để cải thiện.

Trong quá trình thực hiện đề tài em đã hiểu được cách mô hình hoạt động, các nguyên lý cơ bản và nhận xét đánh giá mức độ hiệu quả của đề tài.

## **Hướng phát triển của đề tài:**

Mạng vô tuyến là một mô hình mạng mang lại sự tiện lợi cho người sử dụng bởi vậy đây cũng là mô hình mạng đến từ tương lai. Ngoài ra có thể phát triển mở rộng mô hình cùng với đó có thể kết hợp với nhiều phương tiện để có thể đa dạng môi trường tác nghiệp hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Duyen, Nguyen Le Mai, Van Nhan Vo, Thi Thanh Lan Tran , Minh Nhat Nguyen, Nayyar Anand, and Hung Dang Viet . *Throughput Optimization for NOMA Cognitive Radios with Multi-UAV Assisted Relay*. n.d.
- [2] Ali, Hayajneh, Ghogho Mounir, and Raza Zaidi Syed Ali. *Performance Analysis of UAV Enable Disaster Recovery Networks: A Stochastic Geometric Framework Based on Cluster Processes*. 2018.
- [3] Baofeng, Ji, Li Yuqi, Chen Sudan, Han Congzheng, Li Chunguo, and Wen Hong . *Secrecy Outage Analysis of UAV Assisted Relay and Antenna Selection for Cognitive Network under Nakagami-m Channel*. n.d.
- [4] Dinh , Thuan Do, Sang Van Nguyen Minh, and Moo Lee Byung. *Outage Performance Improvement by Selected User in D2D Transmission and Implementation of Cognitive Radio-Assisted NOMA*. n.d.
- [5] Lokman, Sboui, Rezki Zouhier, and Ghazzai Hakim. *On the Throughout of Cognitive Radio MIMO Systems Assisted with UAV Relays*. 2017.
- [6] Madan, H.T, and I.Basarkod Prabhugoud. *Throughput and Outage Probability Analysis for Cognitive Radio-Non-Orthogonal Multiple Access in Uplink and Downlink Scenarios* . n.d. <https://doi.org/10.18280/mmep.070419>.
- [7] Pablo Palacios; Milton, Roman Canizares; Samuel Montejo Sanchez; Samuel, Baraidi Mafra;. *On the Performance of NOMA Power Control Scheme in Cognitive Radio Networks*. 2019.
- [8] Trần , Thanh Sơn, and Thị Thanh Hoa Kiều. *Ảnh hưởng của tỉ lệ đột biến tới kết quả ước lượng trạng thái hệ thống điện bằng thuật toán di truyền*. 2020.