ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HCM

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**

**KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**BỘ MÔN VIỄN THÔNG – MẠNG**

**NHÓM 11**

**ĐA TRUY CẬP PHI TRỰC GIAO MIỀN CÔNG SUẤT**

BÁO CÁO ĐỒ ÁN

MÔN HỌC: TRUYỀN THÔNG DI ĐỘNG

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

ThS. TRƯƠNG TẤN QUANG

**TP. Hồ Chí Minh – Năm 2024**

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HCM

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**

**KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**BỘ MÔN VIỄN THÔNG – MẠNG**

**NHÓM 11**

**ĐA TRUY CẬP PHI TRỰC GIAO MIỀN CÔNG SUẤT**

BÁO CÁO ĐỒ ÁN

MÔN HỌC: TRUYỀN THÔNG DI ĐỘNG

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

ThS. TRƯƠNG TẤN QUANG

TP. Hồ Chí Minh – Năm 2024

LỜI CẢM ƠN

Đầu tiên, chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến giảng viên hướng dẫn Trương Tấn Quang, người đã cung cấp sự chỉ dẫn, kiến thức và kinh nghiệm quý báu trong suốt quá trình thực hiện đề tài thực tập. Sự hướng dẫn và động viên của thầy đã giúp chúng em có được cái nhìn sâu sắc hơn về chủ đề, và là nguồn động lực để chúng em vượt qua các thách thức.

Chúng em cũng muốn bày tỏ lòng biết ơn đến các thành viên khác của nhóm, những bạn đã cống hiến thời gian và nỗ lực của mình để hoàn thiện báo cáo này. Sự cộng tác và góp ý từ các thành viên trong nhóm đã đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao chất lượng và sự hoàn thiện của đồ án.

Một lần nữa, chúng em xin chân thành cảm ơn sự giúp đỡ và hỗ trợ của thầy. Trong quá trình học tập và nghiên cứu, nếu chúng em có những sai sót gì, kính mong thầy bỏ qua cho chúng em!

Xin chân thành cảm ơn và kính chúc thầy nhiều sức khỏe, hạnh phúc và thành công trong công việc và cuộc sống.

LỜI MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, mạng di động thế hệ mới, đặc biệt là mạng 5G, đã trở thành tâm điểm của sự phát triển trong lĩnh vực viễn thông. Nhu cầu sử dụng dữ liệu tăng cao, đặc biệt là với các ứng dụng băng thông lớn như video 4K/8K, thực tế ảo (VR), thực tế tăng cường (AR), và các dịch vụ thông minh đòi hỏi các hệ thống mạng phải tối ưu hơn trong việc sử dụng tài nguyên phổ tần.

Đa truy cập phi trực giao (Non-Orthogonal Multiple Access - NOMA) là một trong những giải pháp tiên tiến được đề xuất để giải quyết những thách thức này. Khác với các phương thức truy cập trực giao (OMA), NOMA cho phép nhiều người dùng cùng truy cập vào tài nguyên tần số và thời gian giống nhau, nhưng với cách phân bổ công suất khác nhau. Cơ chế này không chỉ giúp tối ưu hóa phổ tần mà còn tăng số lượng kết nối đồng thời, điều này rất quan trọng trong mạng 5G và các thế hệ sau.

Một trong những đặc điểm nổi bật của NOMA là khả năng phân bổ công suất không đồng đều giữa các người dùng dựa trên điều kiện kênh của từng thiết bị. Những người dùng có kênh tín hiệu mạnh sẽ được cấp ít công suất hơn, trong khi người dùng ở xa trạm phát với điều kiện kênh yếu sẽ nhận được nhiều công suất hơn. Điều này giúp cân bằng khả năng truy cập giữa các thiết bị, đồng thời tối ưu hóa hiệu suất sử dụng tài nguyên. Bên cạnh đó, NOMA sử dụng kỹ thuật khử nhiễu kế tiếp (Successive Interference Cancellation - SIC), cho phép người dùng với tín hiệu mạnh có thể loại bỏ nhiễu từ các tín hiệu yếu hơn và giải mã dữ liệu một cách hiệu quả.

Các thuật toán học máy có thể được tích hợp vào quá trình quản lý và phân bổ tài nguyên trong NOMA, giúp hệ thống thích ứng nhanh hơn với những thay đổi của điều kiện mạng và người dùng. Điều này cho thấy tiềm năng rất lớn của NOMA không chỉ trong 5G mà còn trong mạng 6G và các hệ thống mạng tương lai.

Với những lý do trên, đề tài ***“Đa truy cập phi trực giao NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) miền công suất”*** được lựa chọn để làm sáng tỏ tiềm năng, các ứng dụng cũng như những thách thức của công nghệ này trong viễn thông hiện đại. Thông qua đề tài, người đọc sẽ có cái nhìn sâu sắc hơn về cách NOMA miền công suất giúp tối ưu hóa hiệu suất phổ tần, nâng cao khả năng kết nối và đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển của mạng viễn thông tương lai.

MỤC LỤC

[LỜI CẢM ƠN 3](#_Toc181084221)

[LỜI MỞ ĐẦU 4](#_Toc181084222)

[MỤC LỤC 6](#_Toc181084223)

[DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT 8](#_Toc181084224)

[DANH SÁCH CÁC HÌNH 10](#_Toc181084225)

[CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU VỀ ĐA TRUY CẬP PHI TRỰC GIAO: 11](#_Toc181084226)

[1.1. Đa truy cập phi trực giao là gì? 11](#_Toc181084227)

[1.2. Nguyên lí hoạt động của NOMA: 13](#_Toc181084228)

[1.3. Các phương thức thực thi kỹ thuật đa truy cập phi trực giao NOMA: 13](#_Toc181084229)

[CHƯƠNG 2: NOMA TRONG MIỀN CÔNG SUẤT 15](#_Toc181084230)

[2.1. NOMA trong miền công suất là gì? 15](#_Toc181084231)

[2.2. Mã hóa xếp chồng SC: 16](#_Toc181084232)

[2.3. Các kỹ thuật khử nhiễu (SIC - Successive Interference Cancellation): 17](#_Toc181084233)

[2.4. Mô phỏng: 18](#_Toc181084234)

[2.5. Thách thức khi triển khai SIC trong thực tế: 24](#_Toc181084235)

[CHƯƠNG 3: HỢP TÁC GIỮA NOMA VÀ CÁC CÔNG NGHỆ KHÁC 25](#_Toc181084236)

[3.1. NOMA + MIMO (Multiple Input Multiple Output): 25](#_Toc181084237)

[3.2. NOMA + HetNet (Heterogeneous Networks): 25](#_Toc181084238)

[3.3. C-NOMA (Cooperative NOMA): 26](#_Toc181084239)

[3.4. NOMA + CoMP (Coordinated Multi-Point) 27](#_Toc181084240)

[CHƯƠNG 4: THÁCH THỨC VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA NOMA 28](#_Toc181084241)

[4.1. Thách thức trong triển khai NOMA: 28](#_Toc181084242)

[4.2. Các phương pháp cải thiện NOMA: 28](#_Toc181084243)

[4.3. Hướng phát triển trong tương lai: 29](#_Toc181084244)

[TÀI LIỆU THAM KHẢO 30](#_Toc181084245)

**DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU**, **CHỮ VIẾT TẮT**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Chữ viết tắt | Tên tiếng Anh | Tên tiếng Việt |
| NOMA | Non-Orthogonal Multiple Access | Đa truy cập phi trực giao |
| CDMA | Code Division Multiple Access | Đa truy cập phân chia theo mã |
| SIC | Successive Interference Cancellation | Kỹ thuật loại bỏ nhiễu liên tiếp |
| MIMO | Multiple Input Multiple Output | Công nghệ giao tiếp không dây dựa trên số lượng lượng anten thu phát để cung cấp tốc độ kết nối tương ứng |
| OFDMA | Orthogonal Frequency Division Multiple Access | Truy cập phân chia theo tần số trực giao |
| CoMP | Coordinated multi-point | Kỹ thuật phối hợp giữa các điểm truy cập |
| SC | Supperposition Coding | Kỹ thuật mã hóa xếp chồng |

DANH SÁCH CÁC BẢNG

[Bảng 1.1. *So sánh giữa NOMA và OMA* 11](#_Toc181042387)

[Bảng 3.1. *So sánh giữa NOMA so với NOMA+MIMO* 25](#_Toc181042382)

DANH SÁCH CÁC HÌNH

[Hình 1.1. *Minh họa sự khác biệt giữa OMA và NOMA.* 11](#_Toc181042357)

[Hình 1.2. *Nguyên lý hoạt động của NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) với kỹ thuật SIC.* 13](#_Toc181042358)

[Hình 2.1. *a) NOMA sử dụng máy thu SIC. b) NOMA trong hệ thống MIMO. c) NOMA trong hệ thống sử dụng kỹ thuật phối hợp đa điểm CoMP*. 15](#_Toc181042308)

[Hình 2.2. *Ví dụ mã hóa xếp chồng 2 người dùng* 16](#_Toc181042309)

[Hình 2.3. *Quy trình giải mã SIC của hệ thống NOMA có hai người dùng.* 18](#_Toc181042310)

[Hình 2.4. *Kết quả mô phỏng các tín hiệu trước, trong và sau khi giải mã* 22](#_Toc181042311)

[Hình 2.5. *Kết quả đồ thị dạng BER của 3 tín hiệu* 23](#_Toc181042312)

[Hình 3.1*. Truyền thông hợp tác để nâng cao hiệu quả phổ tần của mạng* 26](#_Toc181042313)

# GIỚI THIỆU VỀ ĐA TRUY CẬP PHI TRỰC GIAO:

## **Đa truy cập phi trực giao là gì**?

Đa truy cập phi trực giao (Non-Orthogonal Multiple Access - NOMA) là một phương thức truy cập đa người dùng sử dụng sự khác biệt trong độ lợi kênh của người dùng để ghép các tín hiệu khác nhau trong cùng một khối tài nguyên ở miền công suất. Nó có khả năng cho phép nhiều người dùng truy cập cùng một tài nguyên theo thời gian và tần số.

A diagram of a power and power chart

Description automatically generated

Hình 1.1. *Minh họa sự khác biệt giữa OMA và NOMA.*

Bảng 1.1. *So sánh giữa NOMA và OMA*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tiêu chí** | **NOMA** | **OMA (FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA)** |
| Phân bổ tài nguyên | Chồng lấn thời gian/tần số với phân bổ công suất khác nhau | Phân chia trực giao tài nguyên cho từng người dùng |
| Số lượng người dùng đồng thời | Cao hơn nhờ khả năng chia sẻ tài nguyên | Giới hạn bởi tài nguyên cố định được phân chia |
| Hiệu suất phổ tần | Cao hơn do sử dụng tài nguyên hiệu quả hơn | Thấp hơn vì tài nguyên không được tận dụng linh hoạt |
| Khả năng khử nhiễu | Yêu cầu SIC tại máy thu | Không cần SIC vì tài nguyên không chồng lấn |
| Phức tạp khi triển khai | Phức tạp hơn do yêu cầu kỹ thuật khử nhiễu | Dễ triển khai hơn |
| Ứng dụng | Mạng 5G và các hệ thống thế hệ mới | Được sử dụng trong mạng từ 2G đến 4G |

- Ưu điểm: NOMA được công nhận là một trong những giải pháp đáng chú ý cho mạng 5G và có tiềm năng ứng dụng mạnh mẽ trong các thế hệ tiếp theo bởi các ưu điểm như:

* Tăng hiệu quả phổ tần
* Giảm độ trễ
* Mật độ kết nối cao
* Cải thiện sự công bằng cho người dùng
* Hỗ trợ đa dạng chất lượng dịch vụ (QoS).

- Nhược điểm:

* Tăng độ phức tạp của máy thu.
* Nhạy cảm hơn với sự không chắc chắn của kênh truyền.

## **Nguyên lí hoạt động của NOMA:**

Tại máy phát, các tín hiệu từ các user khác nhau sẽ được chồng chập trực tiếp lên nhau sau khi điều chế và mã hóa kênh, các user này sử dụng chung tài nguyên miền thời gian và miền tần số. Tại phía máy thu, tín hiệu được tách sóng và khử nhiễu liên tiếp SIC (Successive Interference Cancellation).

Sau đó nhiều BS phối hợp với nhau truyền các tín hiệu NOMA, người dùng ở các vị trí khác nhau nhận được các tín hiệu đồng thời từ nhiều nguồn, qua đó tăng cường chất lượng tín hiệu tổng thể và giảm thiểu hiện tượng nhiễu. Các BS phối hợp lập lịch và định hướng chùm tia để tối ưu hóa việc phân bổ công suất NOMA, giảm nhiễu liên UE và nâng cao hiệu quả sử dụng tần số.

A diagram of a communication system

Description automatically generated

Hình 1.2. *Nguyên lý hoạt động của NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) với kỹ thuật SIC.*

## **Các phương thức thực thi kỹ thuật đa truy cập phi trực giao NOMA:**

Có 2 phương thức:

* Kỹ thuật NOMA miền mã (CD - NOMA): kỹ thuật này tương tự kỹ thuật CDMA hoặc CDMA đa sóng mang MC-CDMA (MultiCarrier-CDMA) với sự khác biệt cơ bản là sử dụng các chuỗi mật độ thấp hoặc các chuỗi phi trực giao có độ tương quan thấp.
* Kỹ thuật NOMA miền công suất (PD - NOMA): với kỹ thuật này, các user khác nhau sẽ dùng chung tài nguyên thời gian – tần số - mã nhưng được cấp phát các mức công suất khác nhau dựa vào chất lượng kênh truyền.

# NOMA TRONG MIỀN CÔNG SUẤT

## **NOMA trong miền công suất là gì?**

NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) là một phương thức truy cập mới trong các hệ thống viễn thông, đặc biệt được nghiên cứu và áp dụng trong mạng 5G và các thế hệ sau. Khác với các phương thức OMA (Orthogonal Multiple Access) như FDMA, TDMA, CDMA và OFDMA, trong đó tài nguyên được phân chia theo cách trực giao giữa các người dùng (nghĩa là không có sự chồng lấn về thời gian, tần số hoặc mã hóa), NOMA cho phép nhiều người dùng truy cập đồng thời vào cùng một tài nguyên. Nguyên tắc chính của NOMA là dựa trên phân bổ công suất không đồng đều, từ đó các tín hiệu của người dùng được tách ra thông qua kỹ thuật khử nhiễu kế tiếp (Successive Interference Cancellation - SIC).

Diagram of a diagram showing a signal and a signal detector

Description automatically generated with medium confidence

Hình 2.1. *a) NOMA sử dụng máy thu SIC. b) NOMA trong hệ thống MIMO. c) NOMA trong hệ thống sử dụng kỹ thuật phối hợp đa điểm CoMP*.

Trong NOMA miền công suất (Power-Domain NOMA), người dùng được phân bổ công suất khác nhau dựa trên điều kiện kênh của từng thiết bị. Những người dùng có kênh tín hiệu mạnh (gần trạm phát) được cấp ít công suất hơn, trong khi những người dùng có tín hiệu yếu hơn (ở xa trạm phát) sẽ nhận được nhiều công suất hơn. Điều này cho phép hệ thống tối ưu hóa hiệu suất truyền dẫn cho nhiều người dùng với các điều kiện kênh khác nhau.

Trong NOMA thì chúng ta thấy phân bổ công suất không đồng đều.

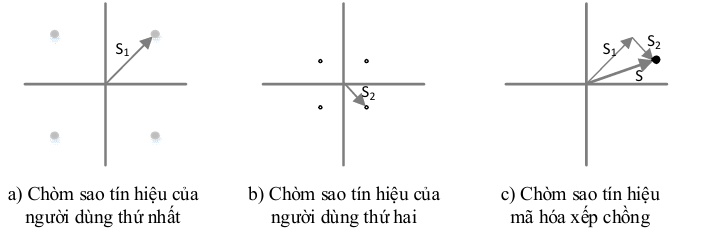
Công suất truyền được phân bổ không đồng đều theo nguyên tắc:

* Người dùng gần trạm phát có tín hiệu tốt sẽ nhận ít công suất hơn, giúp giảm nhiễu cho người dùng khác.
* Người dùng ở xa trạm phát hoặc trong điều kiện kênh kém sẽ nhận nhiều công suất hơn để duy trì chất lượng tín hiệu.

Điều này đảm bảo rằng tất cả người dùng, dù có điều kiện kênh khác nhau, đều có thể truyền và nhận dữ liệu ổn định.

## **Mã hóa xếp chồng SC:**

Kỹ thuật mã hóa xếp chồng SC (Supperposition Coding) là kỹ thuật truyền thông tin đến nhiều người dùng đồng thời từ một nguồn phát. Bên phát phải mã hóa thông tin liên quan đến từng người dùng.



Hình 2.2. *Ví dụ mã hóa xếp chồng 2 người dùng*

Xét mã hóa xếp chồng cho 2 người dùng như trong hình 2.2, bên phát phải gồm 2 bộ mã hóa tương ứng với hai người dùng. Trong hình, chòm sao dịch pha cầu phương QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) của người dùng thứ nhất có mức công suất phát cao hơn người dùng thứ hai. Với (n) và (n) lần lượt là tín hiệu phát cho người dùng thứ nhất và thứ hai, chuỗi tín hiệu ngõ ra của bộ phát được biểu diễn như sau:

Trong đó, và lần lượt là hệ số của tổng công suất P được gán cho người dùng thứ nhất và thứ hai, với

## **Các kỹ thuật khử nhiễu (SIC - Successive Interference Cancellation):**

Kỹ thuật SIC (Successive Interference Cancellation) là chìa khóa trong hoạt động của NOMA. Do các tín hiệu của người dùng được truyền trên cùng một tần số và thời gian, việc khử nhiễu là cần thiết để bộ thu có thể tách biệt và giải mã từng tín hiệu một cách chính xác.

Quy trình SIC hoạt động theo các bước sau:

* Giải mã tín hiệu của người dùng có công suất thấp trước (tức là người dùng có tín hiệu mạnh hơn).
* Loại bỏ tín hiệu đã giải mã khỏi tín hiệu tổng, sau đó tiếp tục giải mã tín hiệu còn lại (tức là của người dùng có công suất lớn hơn).

Ý tưởng chính của SIC là tín hiệu của người dùng được giải mã một cách liên tục. Khi tín hiệu của một người dùng đã được giải mã xong thì sẽ được trừ đi trong tín hiệu tổng hợp trước khi được giải mã cho người dùng tiếp theo. Trong SIC, khi giải mã cho một người dùng thì những tín hiệu của các người dùng khác được xem là giao thoa. Nhưng một khi đã giải mã xong cho một người dùng thì “giao thoa” đó được loại bỏ. Thứ tự ưu tiên trong SIC là theo cường độ tín hiệu. Người dùng có cường độ tín hiệu mạnh nhất sẽ được giải mã đầu tiên, sau đó đến người dùng có cường độ tín hiệu yếu hơn và cứ thế cho đến hết.

A diagram of a flowchart

Description automatically generated

Hình 2.3. *Quy trình giải mã SIC của hệ thống NOMA có hai người dùng.*

Tại người dùng thứ nhất, một bộ giải mã đơn người dùng được áp dụng để giải mã thông điệp (n) bằng cách xem(n) như giao thoa từ tín hiệu thu nhặt được(n).

Sự thành công của SIC phụ thuộc vào việc loại bỏ hoàn hảo các tín hiệu trong các bước lặp. Máy phát phải phân chia chính xác công suất giữa các dạng sóng thông tin của người dùng và chồng chúng lên nhau. Trong SIC thực tế, rất khó để trừ tín hiệu đã giải mã khỏi tín hiệu nhận được mà không có bất kỳ lỗi nào.

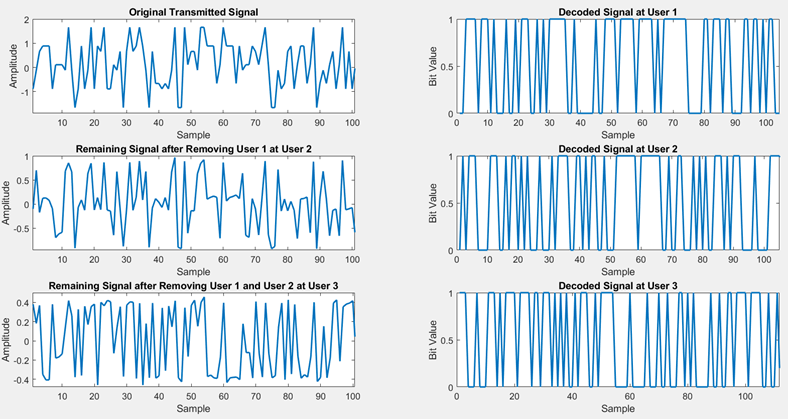
## **Mô phỏng:**

Mô phỏng khử can nhiễu theo kỹ thuật SIC trong NOMA với 3 tín hiệu trong MATLAB như sau:

- Dưới đây là code mô phỏng để khử can nhiễu SIC trong hệ thống NOMA với 3 tín hiệu từ 3 người dùng (user). Giả sử rằng các user có độ mạnh kênh khác nhau và hệ số phân bổ công suất của 3 tín hiệu lần lượt là: α1 = 0.6; α2 = 0.25; α3 = 0.15:

|  |
| --- |
| clc; clear variables; close all;  N = 10^5; %Number of monte carlo simulations  SNR = 0:30; %SNR range in dB  snr = db2pow(SNR); %SNR range in linear scale  %Generate random data bits for transmission  x1 = randi([0 1],1,N); %Data bits of user 1  x2 = randi([0 1],1,N); %Data bits of user 2  x3 = randi([0 1],1,N); %Data bits of user 3  %Do BPSK modulation of data  xmod1 = 2\*x1 - 1;  xmod2 = 2\*x2 - 1;  xmod3 = 2\*x3 - 1;  %Set power weights for users  a1 = 0.6; a2 = 0.25; a3 = 0.15;  %Do superposition coding  x = sqrt(a1)\*xmod1 + sqrt(a2)\*xmod2 + sqrt(a3)\*xmod3  %Add AWGN to x (Transmit x through an AWGN channel)  for u = 1:length(snr)  y1 = awgn(x,SNR(u),'measured'); %Received signal at user 1 corrupted by AWGN  y2 = awgn(x,SNR(u),'measured'); %Received signal at user 2 corrupted by AWGN  y3 = awgn(x,SNR(u),'measured'); %Received signal at user 2 corrupted by AWGN  %AT USER 1  %Direct decoding of x from y1  x1\_hat = ones(1,N); %just a buffer  x1\_hat(y1 < 0) = 0;  %AT USER 2  %Direct decoding of x from y2  x11\_est = ones(1,N); %just a buffer  x11\_est(y2 < 0) = 0; %Estimate user 1's signal first  x11\_est(x11\_est == 0) = -1; %Remodulate user 1's signal  %Subtract remodulated x11\_est component from y2  rem = y2 - sqrt(a1)\*x11\_est;  %Decode x2 from rem  x2\_hat = zeros(1,N);  x2\_hat(rem>0) = 1;  % AT USER 3  %Direct decoding of x from y3  x111\_est = ones(1, N);  x111\_est(y3 < 0) = 0;  x111\_est(x111\_est == 0) = -1;  %Subtract remodulated x111\_est component from y3  rem3 = y3 - sqrt(a1) \* x111\_est;  x22\_est = ones(1, N);  x22\_est(rem3 < 0) = 0;  x22\_est(x22\_est == 0) = -1;  rem3\_final = rem3 - sqrt(a2) \* x22\_est;  %Decode x2 from rem  x3\_hat = ones(1, N);  x3\_hat(rem3\_final < 0) = 0;  %Estimate BER  ber1(u) = biterr(x1,x1\_hat)/N;  fprintf('ber1: %.4f\n', ber1);  ber2(u) = biterr(x2,x2\_hat)/N;  fprintf('ber2: %.4f\n',ber2);  ber3(u) = biterr(x3,x3\_hat)/N;  fprintf('ber3: %.4f\n',ber3);  end  %plot BER curves  figure(1);  semilogy(SNR, ber1, 'linewidth', 1.5); hold on;  semilogy(SNR, ber2, 'linewidth', 1.5); grid on;  semilogy(SNR, ber3, 'linewidth', 1.5); grid on;  legend('User 1 \alpha\_1 = 0.6','User 2 \alpha\_2 = 0.25', 'User 3 \alpha\_3 = 0.15');  xlabel('SNR (dB)');  ylabel('BER');  title('BER graph for NOMA in AWGN channel');    figure(2);  subplot(3,2,1);  plot(x(1:1000), 'LineWidth', 1.5); title('Original Transmitted Signal'); xlabel('Sample'); ylabel('Amplitude');  subplot(3, 2, 2);  plot(x1\_hat(1:1000), 'LineWidth', 1.5); title('Decoded Signal at User 1'); xlabel('Sample'); ylabel('Bit Value');  subplot(3,2,3);  plot(rem(1:1000), 'LineWidth', 1.5); title('Remaining Signal after Removing User 1 at User 2'); xlabel('Sample'); ylabel('Amplitude');  subplot(3,2,4);  plot(x2\_hat(1:1000), 'LineWidth', 1.5); title('Decoded Signal at User 2'); xlabel('Sample'); ylabel('Bit Value');  subplot(3,2,5);  plot(rem3\_final(1:1000), 'LineWidth', 1.5); title('Remaining Signal after Removing User 1 and User 2 at User 3'); xlabel('Sample'); ylabel('Amplitude');  subplot(3,2,6);  plot(x3\_hat(1:1000), 'LineWidth', 1.5); title('Decoded Signal at User 3'); xlabel('Sample'); ylabel('Bit Value'); |

- Kết quả mô phỏng các tín hiệu trước, trong và sau khi giải mã:



Hình 2.4. *Kết quả mô phỏng các tín hiệu trước, trong và sau khi giải mã*

Nhận xét:

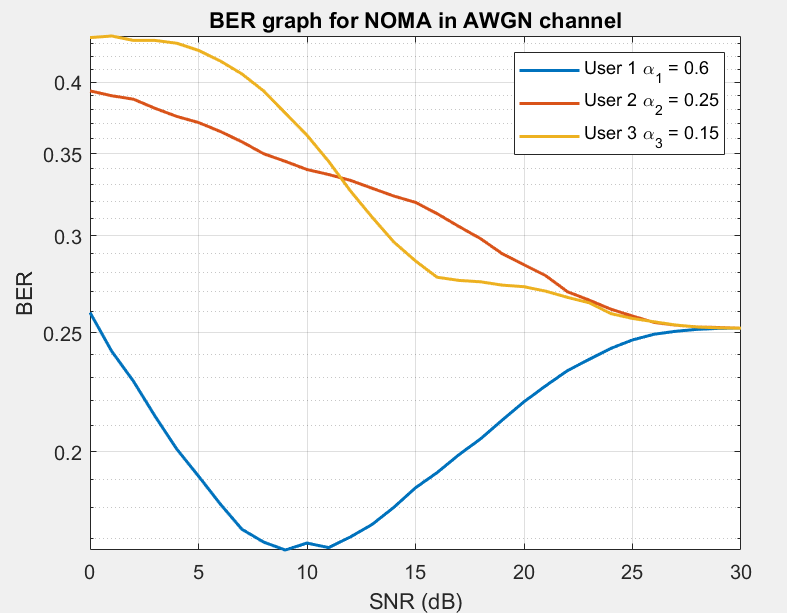
Biểu đồ ở trên cùng bên trái cho thấy tín hiệu ban đầu được truyền đi, kết hợp các tín hiệu của nhiều người dùng khác nhau. Biểu đồ này có biên độ thay đổi phức tạp, phản ánh sự kết hợp của nhiều tín hiệu người dùng.

Biểu đồ thứ hai bên trái cho thấy tín hiệu còn lại sau khi đã loại bỏ ảnh hưởng của người dùng 1. Tín hiệu này có biên độ nhỏ hơn và phức tạp, thể hiện rằng một phần nhiễu hoặc tín hiệu không mong muốn đã được loại bỏ.

Biểu đồ thứ ba bên trái cho thấy tín hiệu còn lại sau khi loại bỏ tín hiệu của người dùng 1 và người dùng 2. Tín hiệu này tiếp tục giảm biên độ và độ phức tạp, chỉ còn tín hiệu của người dùng 3 hoặc một tín hiệu yếu hơn, phản ánh việc loại bỏ hầu hết các ảnh hưởng từ những người dùng khác**.**

Ba biểu đồ bên phải hiển thị tín hiệu sau khi giải mã cho từng người dùng. Các tín hiệu này có dạng bit (giá trị 0 và 1), thể hiện các bit nhị phân đã được giải mã từ tín hiệu gốc cho từng ngườidùng.

- Kết quả đồ thị dạng BER của 3 tín hiệu:



Hình 2.5. *Kết quả đồ thị dạng BER của 3 tín hiệu*

Nhận xét: Từ đồ thị BER ở hình 2.5 cho thấy:

Người dùng 1 (α₁ = 0.6): Có trọng số công suất cao nhất nên đạt BER thấp nhất khi SNR tăng. BER giảm đến mức thấp quanh SNR = 10 dB rồi tăng dần, phản ánh tác động của NOMA trong môi trường nhiễu.

Người dùng 2 (α₂ = 0.25): Với công suất trung bình, BER giảm khi SNR tăng, nhưng chậm hơn người dùng 1, cho thấy bị ảnh hưởng mạnh bởi nhiễu.

Người dùng 3 (α₃ = 0.15): Do có công suất thấp nhất, BER cao nhất, đặc biệt khi SNR thấp, gây khó khăn trong giải mã tín hiệu.

Phân bổ công suất trong NOMA giúp người dùng có trọng số cao đạt hiệu suất tốt hơn.

* Từ các kết quả mô phỏng, ta thấy rằng việc kết hợp kỹ thuật SIC đã loại bỏ được giao thoa trong hệ thống truyền dẫn NOMA và đem lại hiệu năng BER, đặc biệt là tốc độ tổng rất tốt trong khi dùng chung tài nguyên vô tuyến thay vì cấp phát riêng như OMA.

## **Thách thức khi triển khai SIC trong thực tế:**

Mặc dù SIC mang lại nhiều lợi ích, nhưng việc triển khai nó cũng đối diện với nhiều thách thức:

* Độ phức tạp tính toán cao: Bộ thu phải thực hiện nhiều phép toán để giải mã lần lượt từng tín hiệu, điều này làm tăng chi phí và phức tạp của thiết bị đầu cuối.
* Đồng bộ hóa tín hiệu: Để SIC hoạt động hiệu quả, các tín hiệu cần được đồng bộ hóa chính xác. Bất kỳ sự không đồng bộ nào cũng có thể dẫn đến lỗi trong việc giải mã.
* Hiệu ứng nhiễu chéo: Khi có quá nhiều người dùng cùng truy cập, mức độ nhiễu giữa các tín hiệu sẽ tăng lên, gây khó khăn cho việc khử nhiễu chính xác.

# HỢP TÁC GIỮA NOMA VÀ CÁC CÔNG NGHỆ KHÁC

## **NOMA + MIMO (Multiple Input Multiple Output):**

MIMO là công nghệ giao tiếp không dây dựa trên số lượng anten thu phát để cung cấp tốc độ kết nối tương ứng. Các anten ở mỗi đầu của mạch liên lạc được kết hợp để giảm thiểu lỗi, tối ưu hóa tốc độ dữ liệu và cải thiện khả năng truyền sóng vô tuyến bằng cách cho phép dữ liệu truyền qua nhiều đường tín hiệu cùng một lúc.

Kết hợp NOMA với MIMO giúp tăng cường đáng kể khả năng truyền dẫn và dung lượng mạng. MIMO sử dụng nhiều ăng-ten để truyền và nhận dữ liệu, trong khi NOMA tận dụng cùng một băng tần cho nhiều người dùng. Sự kết hợp này giúp nâng cao hiệu suất mạng và giảm nhiễu giữa các kết nối.

Bảng 3.1. *So sánh giữa NOMA so với NOMA+MIMO*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tiêu chí | NOMA | NOMA + MIMO |
| Số lượng kết nối | Cao | Cao hơn nhờ sử dụng nhiều ăng-ten |
| Hiệu suất truyền dẫn | Tối ưu hóa phổ tần | Tăng cường nhờ khả năng phân tập |
| Phức tạp triển khai | Trung bình | Phức tạp hơn do cần nhiều ăng-ten |

## **NOMA + HetNet (Heterogeneous Networks):**

Mạng HetNet bao gồm nhiều loại tế bào khác nhau (macrocell, microcell, femtocell) để mở rộng vùng phủ sóng và nâng cao dung lượng mạng. Khi tích hợp với NOMA, HetNet có thể tận dụng tài nguyên phổ tần hiệu quả hơn bằng cách cho phép nhiều thiết bị kết nối đồng thời, ngay cả khi các thiết bị đó thuộc các lớp tế bào khác nhau.

Ví dụ: NOMA cho phép các thiết bị trong macrocell và femtocell sử dụng cùng tài nguyên tần số, mà vẫn đảm bảo chất lượng dịch vụ nhờ khả năng phân bổ công suất thích hợp và kỹ thuật khử nhiễu SIC.

## **C-NOMA (Cooperative NOMA):**

Để đạt được cường độ tín hiệu tốt hơn giữa BS và đích, truyền thông hợp tác C-NOMA sử dụng một hoặc nhiều rơle. Nó sử dụng hai khung thời gian: truyền pha trực tiếp (BS -> R) được sử dụng trong khung đầu tiên và thông tin chuyển tiếp từ rơle được chuyển tiếp đến khung cuối cùng đích đến trong khung thứ hai trong hình minh họa

A diagram of a network

Description automatically generated

Hình 3.1*. Truyền thông hợp tác để nâng cao hiệu quả phổ tần của mạng*

Các nhà nghiên cứu đã tận dụng C-NOMA để nâng cao hiệu quả quang phổ của mạng. Giảm sự dư thừa trong hệ thống, tính công bằng và tăng tính đa dạng của người dùng là tất cả lợi ích của sự tích hợp này.

## **NOMA + CoMP (Coordinated Multi-Point)**

CoMP là một kỹ thuật trong mạng không dây, nơi nhiều trạm cơ sở (BS) phối hợp truyền tín hiệu đến các người dùng cùng một lúc, nhằm giảm thiểu nhiễu và cải thiện hiệu suất truyền tải.

Sau đó nhiều BS phối hợp với nhau truyền các tín hiệu NOMA, người dùng ở các vị trí khác nhau nhận được các tín hiệu đồng thời từ nhiều nguồn, qua đó tăng cường chất lượng tín hiệu tổng thể và giảm thiểu hiện tượng nhiễu. Các BS phối hợp lập lịch và định hướng chùm tia để tối ưu hóa việc phân bổ công suất NOMA, giảm nhiễu liên UE và nâng cao hiệu quả sử dụng tần số.

- Ứng dụng:

* Tăng hiệu suất phổ: NOMA cho phép nhiều người dùng chia sẻ cùng một tài nguyên tần số bằng cách sử dụng các mức công suất khác nhau, giúp tăng hiệu suất sử dụng phổ so với các phương pháp truy cập trực giao truyền thống.
* Cải thiện chất lượng dịch vụ: Kết hợp NOMA với CoMP giúp cải thiện chất lượng dịch vụ cho người dùng ở các vùng biên của các ô (cell edge), nơi mà tín hiệu thường yếu hơn.
* Giảm nhiễu và tăng cường độ tin cậy: CoMP phối hợp giữa các trạm gốc để giảm nhiễu và tăng cường độ tin cậy của kết nối, trong khi NOMA giúp tối ưu hóa việc phân bổ tài nguyên.

# THÁCH THỨC VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA NOMA

## **Thách thức trong triển khai NOMA:**

- Độ phức tạp tính toán cao khi sử dụng SIC:

Một trong những thách thức lớn nhất của NOMA là việc sử dụng kỹ thuật khử nhiễu kế tiếp (SIC) để giải mã tín hiệu tại máy thu. Do các tín hiệu từ nhiều người dùng chồng lấn lên nhau, bộ thu cần thực hiện nhiều phép tính phức tạp để tách và giải mã từng tín hiệu theo thứ tự. Khi số lượng người dùng tăng lên, độ phức tạp tính toán của SIC cũng tăng, dẫn đến việc yêu cầu phần cứng mạnh hơn và gây ra độ trễ trong quá trình xử lý. Đây là một hạn chế lớn, đặc biệt trong các ứng dụng yêu cầu thời gian thực.

- Ảnh hưởng của nhiễu và tình trạng mất đồng bộ:

Trong hệ thống NOMA, nhiều người dùng chia sẻ cùng một tài nguyên tần số, dẫn đến nguy cơ nhiễu chồng lấn giữa các tín hiệu. Nếu không được xử lý hiệu quả, nhiễu có thể gây sai lệch trong quá trình giải mã tín hiệu bằng SIC. Ngoài ra, các hệ thống NOMA cũng đòi hỏi đồng bộ hóa tín hiệu chính xác giữa các thiết bị. Bất kỳ sai lệch nào trong quá trình đồng bộ hóa đều có thể dẫn đến lỗi trong giải mã, đặc biệt trong môi trường mạng động với các thiết bị di chuyển nhanh.

## **Các phương pháp cải thiện NOMA:**

- Kết hợp NOMA với các công nghệ tối ưu hóa khác:

Để khắc phục những thách thức hiện tại, một hướng đi tiềm năng là kết hợp NOMA với các công nghệ tối ưu hóa khác, chẳng hạn như: MIMO (Multiple Input Multiple Output): Việc kết hợp NOMA với MIMO giúp tăng dung lượng mạng bằng cách tận dụng nhiều ăng-ten để cải thiện hiệu quả truyền dẫn. HetNet (Heterogeneous Networks): Khi tích hợp vào mạng HetNet, NOMA có thể tối ưu hóa việc phân bổ tài nguyên cho các thiết bị thuộc nhiều lớp tế bào khác nhau, như macrocell và femtocell.

- Phát triển thuật toán khử nhiễu hiệu quả hơn:

Các thuật toán SIC truyền thống đòi hỏi tính toán nhiều bước và dễ gặp lỗi khi số lượng người dùng lớn. Vì vậy, việc nghiên cứu các thuật toán khử nhiễu mới là cần thiết. Các thuật toán này cần được tối ưu để giảm độ phức tạp tính toán, đồng thời duy trì độ chính xác cao khi giải mã tín hiệu. Ngoài ra, việc ứng dụng thuật toán thích ứng có thể giúp hệ thống tối ưu hóa quy trình khử nhiễu tùy theo điều kiện thực tế của mạng.

## **Hướng phát triển trong tương lai:**

NOMA không chỉ đóng vai trò quan trọng trong mạng 5G mà còn được kỳ vọng là một phần không thể thiếu của mạng 6G. Với mục tiêu cung cấp tốc độ dữ liệu cao hơn và độ trễ gần như bằng không, mạng 6G cần những giải pháp truy cập hiệu quả hơn. NOMA có thể giúp đáp ứng yêu cầu này bằng cách tăng cường khả năng kết nối và sử dụng tài nguyên tối ưu trong các hệ thống mạng phức tạp.

NOMA là một công nghệ hứa hẹn cho các thế hệ mạng hiện đại, nhưng vẫn còn nhiều thách thức kỹ thuật cần được giải quyết. Độ phức tạp tính toán, nhiễu chồng lấn, và yêu cầu đồng bộ hóa là những vấn đề cản trở việc triển khai NOMA trên quy mô lớn. Tuy nhiên, với các phương pháp cải thiện như phát triển thuật toán khử nhiễu và kết hợp với các công nghệ tối ưu hóa khác, NOMA sẽ tiếp tục phát triển. Trong tương lai, NOMA sẽ đóng vai trò quan trọng trong mạng 6G, và sự kết hợp với AI/ML sẽ mang lại khả năng quản lý mạng thông minh và hiệu quả hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Dai, L., Wang, B., Yuan, Y., Han, S., Chih-Lin, I., & Wang, Z. (2015). Non-orthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends. *IEEE Communications Magazine, 53*(9), 74-81.

Ding, Z., Adachi, F., & Poor, H. V. (2017). The application of MIMO to non-orthogonal multiple access. *IEEE Transactions on Wireless Communications, 15*(1), 537-552.

Islam, S. R., Avazov, N., Dobre, O. A., & Kwak, K. S. (2017). Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19*(2), 721-742.

Liu, Y., Qin, Z., Elkashlan, M., Ding, Z., Nallanathan, A., & Hanzo, L. (2017). Non-orthogonal multiple access for 5G and beyond. *Proceedings of the IEEE, 105*(12), 2347-2381.

Ali, M. S., Tabassum, H., & Hossain, E. (2016). Dynamic user clustering and power allocation for uplink and downlink non-orthogonal multiple access (*NOMA) systems. IEEE Access, 4, 6325-6343.*

123docz. (n.d.). *Kỹ thuật đa truy cập phi trực giao NOMA trong mạng 5G.* 123docz*.* <https://123docz.net/document/9730797-ky-thua-t-da-truy-ca-p-phi-tru-c-giao-noma-trong-ma-ng-5g.htm>

123docz. (n.d.). *Đánh giá hiệu năng của NOMA trong thông tin vô tuyến*. 123docz. <https://text.123docz.net/document/10008956-danh-gia-hieu-nang-cua-noma-trong-thong-tin-vo-tuyen.htm>

P.M.Triết, Đ.H.Phúc, N.H.Vũ và K.A.Tuấn. (2020). *GIẢI PHÁP TRUYỀN THÔNG D2D-NOMA TRONG MẠNG DI ĐỘNG 5G*. Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp, Tập 9, Số 3, 2020, 65-72. <https://dthujs.vn/index.php/dthujs/article/download/269/223>

T.Đ.Hưng, V.M.Hảo, N.T.Luân, P.T.Tín, Đ.T.T.Thủy. (2022). *NÂNG CAO HIỆU NĂNG MẠNG HỢP TÁC HAI CHIỀU DÙNG NOMA VÀ LỰA CHỌN CHUYỂN TIẾP*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Số 57, 2022. <https://jst.iuh.edu.vn/index.php/jst-iuh/article/download/4389/658>

Miss Cheska. (2022b, January 9). *ECE23: Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=kQJzTIaFE20>

TeamUp5G MSCA. (2021, February 18). *Non orthogonal multiple access NOMA* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=nTnojnApJ-4>

Mustafa Sadiq ICT Academy. (2020, March 10). *Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) -1* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=SlxbnXZNSmo>

Wei, Z., Yuan, J., Ng, D. W. K., Elkashlan, M., & Ding, Z. (2016b). *A survey of Downlink non-orthogonal multiple access for 5G wireless communication networks*. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Survey-of-Downlink-Non-orthogonal-Multiple-Access-Wei-Yuan/cca673dbe63d96cdf6836325d18c0bd7ee703277>