

Joint Transmit and Receive Antenna Selection System for MIMONOMA with Energy Harvesting

Từ khoá search: EH and NOMA and MINO,

Bài báo cung cấp một nền tảng vững chắc cho việc nghiên cứu và triển khai hệ thống MIMO-NOMA với tiếp sóng thu hoạch năng lượng, đồng thời đề xuất các hướng tối ưu hóa để cải thiện hiệu suất hệ thống.

1. Vấn đề

Bài báo tập trung vào phân tích xác suất mất kết nối (**Outage Probability - OP**) trong hệ thống lựa chọn ăng-ten phát và thu chung (**Joint Transmit and Receive Antenna Selection - JTRAS**) trong mạng **MIMO-NOMA** với khả năng **thu hoạch năng lượng (Energy Harvesting - EH)**. Hệ thống này sử dụng tiếp sóng khuếch đại và chuyển tiếp (**Amplify-and-Forward - AF**) trong mạng hai chặng (**dual-hop**). Vấn đề chính mà nghiên cứu này đặt ra bao gồm:

- **Cải thiện hiệu suất OP** của mạng MIMO-NOMA sử dụng tiếp sóng EH.
- **Ảnh hưởng của nhiễu kế thừa trong hủy bỏ nhiễu kế tiếp (Successive Interference Cancellation - SIC)** đến hiệu suất hệ thống trong các trường hợp hoàn hảo (pSIC) và không hoàn hảo (ipSIC).
- **Xác định tỷ lệ phân chia công suất tối ưu tại tiếp sóng EH** để tối ưu hóa truyền dữ liệu.
- **Tìm vị trí tối ưu cho tiếp sóng EH** để giảm OP cho các người dùng.

2. Hướng giải quyết

Bài báo đề xuất một mô hình **MIMO-NOMA với tiếp sóng EH** có sự lựa chọn ăng-ten phát và thu (**JTRAS**) nhằm tối ưu hóa hiệu suất OP. Các kỹ thuật chính bao gồm:

- **Áp dụng JTRAS tối ưu (JTRAS-opt) trong chặng đầu** (Base Station -> Relay) và **JTRAS dựa trên số đông (JTRAS-maj) trong chặng thứ hai** (Relay -> Users).

- **Xây dựng mô hình toán học** để phân tích OP dưới kênh Nakagami-m fading, trong cả hai trường hợp pSIC và ipSIC.
- **Mô phỏng Monte Carlo** để kiểm chứng độ chính xác của phân tích toán học.
- **Tối ưu hóa tỷ lệ phân chia công suất tại tiếp sóng EH**, với mục tiêu phân bổ công suất phù hợp cho từng người dùng dựa trên điều kiện kênh.
- **Phân tích vị trí tối ưu của tiếp sóng EH** để đảm bảo hiệu suất truyền tốt nhất.

3. Ứng dụng

Hệ thống được đề xuất có thể ứng dụng trong:

- **Mạng 5G và 6G với NOMA**, nơi cần tối ưu hóa dung lượng hệ thống và khả năng phục vụ nhiều người dùng cùng lúc.
- **Các mạng thu hoạch năng lượng**, nơi các thiết bị có nguồn năng lượng hạn chế cần tối ưu hóa hiệu suất.
- **Hệ thống thông tin không dây sử dụng tiếp sóng**, đặc biệt là trong môi trường truyền thông công suất thấp.
- **Ứng dụng trong IoT (Internet of Things) và hệ thống cảm biến**, nơi tiết kiệm năng lượng là một yếu tố quan trọng.

4. Tổng kết

Bài báo đưa ra những phát hiện chính sau:

- **OP được cải thiện khi số lượng ăng-ten tăng lên**, đặc biệt đối với các người dùng có điều kiện kênh kém.
- **ipSIC làm giảm hiệu suất OP so với pSIC**, tuy nhiên không ảnh hưởng đến tỷ lệ phân chia công suất tối ưu.
- **Người dùng có điều kiện kênh tốt cần ít công suất truyền hơn từ tiếp sóng EH**, do đó tỷ lệ công suất tại tiếp sóng EH phải được điều chỉnh phù hợp.
- **Tiếp sóng EH nên đặt gần trạm gốc hơn**, vì nếu quá gần người dùng, hiệu suất OP sẽ giảm và hội tụ về cùng một giá trị cho tất cả người dùng.

Tham khảo tại:

<https://arxiv.org/pdf/2103.15504>

Các khái niệm quan trọng

1. MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)

- Là công nghệ sử dụng nhiều ăng-ten ở cả trạm phát và trạm thu để tăng tốc độ dữ liệu và cải thiện chất lượng tín hiệu.
- Ví dụ: Nếu điện thoại của bạn có nhiều ăng-ten, nó có thể nhận nhiều tín hiệu cùng lúc, giúp kết nối nhanh và ổn định hơn.

2. NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access)

- Là một phương pháp chia sẻ tài nguyên trong mạng di động, giúp nhiều người dùng sử dụng cùng tần số và thời gian nhưng với công suất khác nhau.
- **Khác biệt với phương pháp cũ (OMA - Orthogonal Multiple Access):** OMA cấp riêng tần số hoặc thời gian cho từng người dùng, còn NOMA cho phép tất cả người dùng sử dụng chung tài nguyên nhưng tách tín hiệu bằng công suất và kỹ thuật xử lý nhiễu.

3. Energy Harvesting (EH - Thu hoạch năng lượng)

- Là công nghệ giúp thiết bị không cần nguồn pin liên tục mà có thể **thu năng lượng từ môi trường**, như sóng vô tuyến, ánh sáng mặt trời, hoặc nhiệt.
- Trong bài báo, **tiếp sóng (relay)** sử dụng năng lượng thu được từ trạm gốc để truyền tiếp tín hiệu.

4. Relay (Tiếp sóng)

- Một thiết bị trung gian giữa **trạm gốc (Base Station - BS)** và **người dùng (User - U)** giúp mở rộng phạm vi phủ sóng hoặc cải thiện chất lượng tín hiệu.
- Trong bài báo, relay **khuếch đại và chuyển tiếp (Amplify-and-Forward - AF)** tín hiệu từ BS đến người dùng.

5. JTRAS (Joint Transmit and Receive Antenna Selection - Lựa chọn ăng-ten phát và thu chung)

- Một kỹ thuật chọn **cặp ăng-ten tốt nhất** để truyền và nhận tín hiệu, giúp tối ưu hóa hiệu suất mạng.
- Có hai loại chính:
- **JTRAS tối ưu (JTRAS-opt)**: Tìm cặp ăng-ten tối ưu nhất dựa trên tín hiệu mạnh nhất.
- **JTRAS dựa trên số đông (JTRAS-maj)**: Chọn ăng-ten dựa trên phương pháp đa số (majority-based), có độ phức tạp thấp hơn nhưng vẫn đảm bảo hiệu suất.

6. Outage Probability (OP - Xác suất mất kết nối)

- Là **khả năng** một người dùng **không thể nhận được tín hiệu** với **chất lượng đủ tốt**.
- Giá trị OP thấp nghĩa là **kết nối tốt hơn**, OP cao nghĩa là **mạng dễ bị gián đoạn**.

7. Successive Interference Cancellation (SIC - Hủy nhiễu kế tiếp)

- Kỹ thuật trong NOMA giúp phân biệt tín hiệu của nhiều người dùng.
- **Ví dụ**: Nếu hai người nói chuyện cùng lúc, bạn nghe người có giọng to hơn trước, rồi lọc bỏ giọng đó để nghe người kia.
- **pSIC (perfect SIC)**: Hủy nhiễu hoàn hảo, tách tín hiệu chính xác.
- **ipSIC (imperfect SIC)**: Hủy nhiễu có lỗi, gây ảnh hưởng đến chất lượng tín hiệu.

8. Nakagami-m Fading

- Là mô hình mô tả **sự suy hao tín hiệu trong môi trường không dây**.
- Dùng để mô phỏng các điều kiện thực tế như **vật cản, phản xạ, hoặc mất mát tín hiệu** trong không gian.

9. Power Splitting Ratio (Tỷ lệ phân chia công suất)

- Khi relay nhận tín hiệu từ BS, nó phải **chia công suất** giữa hai nhiệm vụ:
- **Thu hoạch năng lượng để phát lại tín hiệu.**
- **Giữ lại tín hiệu để xử lý và truyền đi.**
- Việc **tính toán tỷ lệ phân chia phù hợp** giúp tối ưu hiệu suất truyền dữ liệu.

10. Optimal EH Relay Location (Vị trí tiếp sóng EH tối ưu)

- Nếu tiếp sóng **quá gần trạm gốc**, tín hiệu mạnh nhưng khoảng cách đến người dùng xa, gây mất tín hiệu.
- Nếu **quá gần người dùng**, nó không nhận đủ năng lượng từ trạm gốc để hoạt động.
- Vị trí **tốt nhất là cân bằng giữa khoảng cách và chất lượng tín hiệu.**