

NGHIÊN CỨU VÀ XÂY DỰNG HÀM MỤC TIÊU ĐỐI VỚI BÀI TOÁN TỐI ƯU CÔNG SUẤT CHO MỘT SỐ MÔ HÌNH CHUYỂN TIẾP VÔ TUYẾN

RESEACH AND BUILD OBJECT FUNCTION FOR POWER OPTIMUM IN WIRELESS RELAY MODELS

Trần Đình Thông^{1,*},
Dư Đình Viên¹, Lê Thanh Hải²

TÓM TẮT

Các vấn đề về kỹ thuật điều hướng BF được áp dụng rộng rãi trong các hệ thống đa anten với mục đích nhằm cải thiện tốc độ luồng dữ liệu, tiết kiệm công suất truyền và giảm thiểu các nhiễu giao thoa mạng không dây đã được nghiên cứu mang lại nhiều kết quả triển vọng. Các tiêu chí kỹ thuật này được xem như là các bài toán có hàm mục tiêu phi tuyến cần được tối ưu hóa. Bài báo này sẽ giới thiệu về các hệ thống chuyển tiếp không dây tổng quát và xây dựng hàm mục tiêu làm nền tảng cơ sở trong việc giải bài toán tối ưu công suất.

Từ khóa: Kỹ thuật điều hướng; chuyển tiếp vô tuyến; tối ưu công suất.

ABSTRACT

Beamforming techniques have been used widely to exploit the benefits of multiple antenna systems and relaying schemes for enhancing the data rate, saving transmit power and limiting the interference. These targets can be considered as objective functions of some nonlinear optimization problems depending on the applications. In this paper, a brief overview on several common wireless relay systems and object function building is given to serve as background materials for solving optimization power.

Keywords: Beamforming technique; wireless relay; power optimization.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Viện Điện tử, Viện Khoa học Công nghệ và Quân sự

*Email: thong77.hai@gmail.com

Ngày nhận bài: 05/01/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 27/3/2017

Ngày chấp nhận đăng: 21/8/2018

Phản biện khoa học: TS. Trần Cao Quyền

CHỮ VIẾT TẮT

MIMO	Multi input multi output
BF	Beamforming
SDP	Semidefinite programming
SNR	Signal noise rate
AF	Amplifier - forward
QoS	Quality of Service
DF	Decode - forward
INT	Inteference

1. GIỚI THIỆU

Gần đây nhiều nghiên cứu về các hệ thống chuyển tiếp đa anten đã cải thiện được hiệu năng đối với truyền thông mạng không dây bởi việc sử dụng quá trình phân tập không gian một cách triệt để. Việc sử dụng truyền dẫn điều hướng đa anten đã được xem như là một kỹ thuật cơ bản cho tất cả hệ thống truyền thông hiện tại cũng như tương lai do sự đơn giản trong việc triển khai hệ thống. Kỹ thuật Beamforming có thể tối ưu hóa công suất trong khi vẫn đảm bảo được chất lượng dịch vụ cho phép đối với các đối tượng sử dụng. Những kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống đa anten sử dụng kỹ thuật beamforming có thể đạt được tốc độ truyền dẫn cao với dung lượng sử dụng lớn. Kỹ thuật beamforming thường được sử dụng trong hệ thống truyền dẫn đa người dùng như: Chia sẻ tài nguyên phổ, hệ thống chuyển tiếp đơn anten và đa anten.

Vấn đề thứ nhất cần quan tâm là việc tối ưu tài nguyên sử dụng phổ trong hệ thống truyền thông đa người dùng. Khó khăn lớn nhất đối với các hệ thống truyền thông thế hệ mới là hạn chế về phổ tần hiệu. Việc khai thác băng tần không hiệu quả trong khi vẫn xuất hiện các băng tần rỗi. Vấn đề khắc phục là tận dụng chia sẻ tài nguyên nhận thực giữa hệ thống truyền dẫn được cấp phép và không được cấp phép. Kỹ thuật vô tuyến nhận thực nhằm phát hiện các băng tần rỗi để tận dụng một cách hiệu quả bằng cách thiết lập các điều kiện phụ trợ để giám sát các băng tần không được cấp phép để thực hiện quá trình trao đổi thông tin ở hệ thống cấp phép không ảnh hưởng tới các hệ thống khác nhưng vẫn đảm bảo được các yêu cầu về chất lượng dịch vụ [1]. Mặt khác, việc tối thiểu chất lượng dịch vụ QoS như là các tham số SINR và tốc độ dữ liệu có thể được cải thiện ở các mức độ khác nhau dựa trên yếu tố công suất.

Một kỹ thuật hứa hẹn khác là sử dụng kỹ thuật điều hướng đường truyền phân tập không gian trong hệ thống MIMO. Kỹ thuật này đã được nghiên cứu nhiều và cải thiện đáng kể trong việc gia tăng tham số SINR hoặc tốc độ dữ liệu ở bên nhận. Đồng thời kỹ thuật này cũng được dùng để cải thiện đặc tính truyền thông nhận thực cho các hệ thống thu và phát ở cùng một tần số. Các nghiên cứu trước

đây [2] đã được chứng minh một cách hiệu quả đối với hệ thống truyền dẫn nhóm đơn và sau đó mở rộng cho trường hợp các đa nhóm người dùng [3].

Tuy nhiên, các hệ thống truyền thông không dây có chuyển tiếp đã được nghiên cứu rất nhiều trong mấy năm gần đây. Các nút truyền thông chuyển tiếp phân tán giữa một số lượng các nguồn và đích. Trong mạng chuyển tiếp không dây đa người dùng, phân tập hợp tác được sử dụng để cải thiện tới chất lượng đường truyền, độ tin cậy và mở rộng phạm vi bao phủ mạng. Quá trình chuyển tiếp thường được chia thành các giai đoạn: Giải mã và chuyển tiếp (DF), nén và chuyển tiếp, khuếch đại và chuyển tiếp (AF). Trong đó quá trình AF được quan tâm nhiều bởi vì mức độ phức tạp để tiến hành thực hiện là nhỏ nhất do tất cả các bên thu, bên phát, nút chuyển tiếp được trang bị đơn anten. Trong quá trình AF các nút chuyển tiếp khuếch đại các tín hiệu từ các nguồn phát và sau đó truyền các tín hiệu vừa khuếch đại tới các điểm bên phía thu.

Gần đây, kỹ thuật chuyển tiếp đa anten đã được quan tâm nhiều trong mạng truyền thông hợp tác do nhiều khả năng cải thiện được các đặc tính mạng. Khi hoạt động như là nút chuyển tiếp, các nút đa anten có thể khai thác mạnh việc phân tập không gian để cải thiện tham số SINR cũng như việc khử nhiễu giao thoa giữa các user khi so sánh với trường hợp các nút được trang bị đơn anten. Thay vì việc khuếch đại các tín hiệu ở các nút chuyển tiếp bằng các vector trọng số điều hướng thì chuyển tiếp MIMO có thể tiến mã hóa các tín hiệu bằng ma trận tuyến tính giống như các đa anten được thực hiện tại một nút. Để giải quyết vấn đề tối ưu hóa, nhiều kỹ thuật khác nhau đã được sử dụng như là phương pháp SDP.

Các mô hình chuyển tiếp vô tuyến để thực hiện việc tối ưu hóa công suất cần xây dựng được các hàm mục tiêu kết hợp với các kỹ thuật tối ưu khác nhau để giải được bài toán nhằm tìm ra được giá trị gần tối ưu bên cạnh đó sử dụng các thuật toán nhằm cải thiện tốc độ hội tụ nhanh.

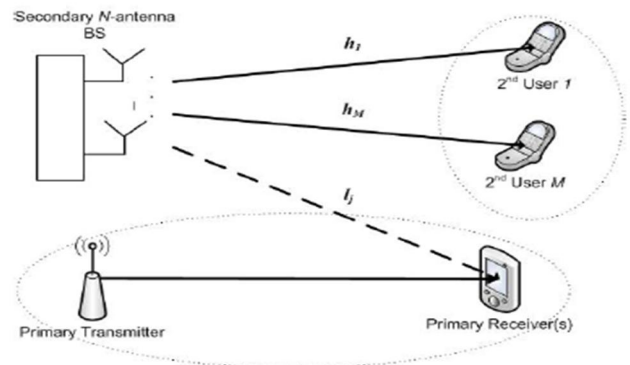
Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: Mục 2 trình bày xây dựng hàm mục tiêu cho một số mô hình chuyển tiếp vô tuyến. Mục 3 thể hiện nội dung kết luận và đề xuất hướng nghiên cứu khoa học tiếp theo.

2. XÂY DỰNG HÀM MỤC TIÊU CHO MỘT SỐ MÔ HÌNH CHUYỂN TIẾP VÔ TUYẾN

2.1. Mô hình Single Group Multicast

Chúng ta xem xét một cấu trúc cơ bản của hệ thống vô tuyến đơn giản như hình 1 [7, 8]. Trong hình 1 bên phát thứ cấp dùng N anten để truyền tín hiệu s mang cùng thông tin tới M user bên thu thứ cấp, mỗi user được mắc một anten. Hệ thống thứ cấp hoạt động đồng thời với mạng sơ cấp với L user được phép sử dụng phổ. Trong trường hợp này chúng ta xem xét truyền dẫn xuống có hướng từ các trạm gốc tới các user. Hoạt động của hệ thống thứ cấp không ảnh hưởng tới việc truyền dẫn của mạng sơ cấp. Nguyên nhân gây nhiễu giao thoa tại trạm gốc thứ cấp do các user sơ cấp bé hơn hoặc bằng mức cho phép. Ngoài ra việc thực hiện

beamforming phải thỏa mãn đảm bảo tỷ số tín hiệu trên tạp âm (SNR) cho các user thứ cấp. Chúng ta giả định rằng các BS thứ cấp có trạng thái thông tin kênh đã được thiết lập hoàn toàn từ cả các user sơ cấp và trạm gốc thứ cấp.



Hình 1. Mô hình hệ thống single group multicast

Đặc biệt, xem h_i là vector kênh giữa trạm phát thứ cấp và trạm thu thứ cấp thứ i , trong khi đó l_j là độ tăng ích kênh giữa trạm phát thứ cấp và các user sơ cấp. Thông tin trạng thái kênh truyền được nhận biết giữa trạm phát sơ cấp và thứ cấp. Tín hiệu được truyền s có trị trung bình bằng không và phương sai bằng 1, đối với nhiễu n_i ở phía thu thứ i có trị trung bình là không và phương sai là σ_i^2 . Với $x \in \mathbb{C}^N$ là được beamforming khi đó tín hiệu thu tại user thứ cấp thứ i được xác định:

$$d_i = \langle x, h_i \rangle s + n_i, i = 1, 2, \dots, M.$$

Các tín hiệu truyền tại trạm gốc thứ cấp sử dụng cùng băng tần với trạm sơ cấp do vậy tín hiệu giao thoa tại user thứ j được xác định:

$$d_j = \langle x, l_j \rangle s.$$

Tất cả các user thứ cấp nhận cùng thông tin, nhiễu giao thoa từ các hệ thống sơ cấp không được xác định do đó có thể xem như nhiễu trắng. Khi đó tỷ số SNR tại bên thu thứ cấp thứ i được xác định công thức:

$$\text{SNR}_i(x) = \frac{|\langle x, h_i \rangle|^2}{\sigma_i^2}, i = 1, 2, \dots, N.$$

Và nhiễu giao thoa do truyền dẫn từ trạm thứ cấp tới các user sơ cấp thứ j là:

$$\text{INT}_j(x) = |\langle x, l_j \rangle|^2, j = 1, 2, \dots, L.$$

Tuy nhiên tổng công suất beamforming tại trạm gốc thứ cấp được tính toán theo công thức:

$$P_T(x) = \langle x, x \rangle.$$

Vấn đề bài toán tối ưu hóa công suất beamforming với điều kiện ràng buộc là nhiễu giao thoa tại các user sơ cấp và tỷ số SNR thứ cấp được xác định theo điều kiện như sau:

$$\begin{aligned} & \min \langle x, x \rangle \\ & \text{s.t} \\ & \frac{\langle x x^H, h_i h_i^H \rangle}{\sigma_i^2} \geq \alpha_i, i = 1, 2, \dots, M. \\ & \langle x x^H, l_j l_j^H \rangle \leq \beta_j, j = 1, 2, \dots, L. \end{aligned}$$

Trong đó, hàm mục tiêu là tổng công suất beamforming, điều kiện bất đẳng thức được hiểu rằng tỷ số SNR tại mỗi phía thu thứ cấp phải lớn hơn một ngưỡng có giá trị là α_i và nhiễu giao thoa gây ra bởi quá trình truyền dẫn thứ cấp tại phía thu sơ cấp có giá trị bé hơn β_j . Bài toán tối ưu đặt ra là các hàm không lồi và là các dạng NP - hard và không thể giải được một cách bằng phương pháp trực tiếp. Một trong những phương pháp phổ biến có thể giải được là kỹ thuật ngẫu nhiên.

Nếu thay thế $X = xx^H$ với X trở thành ma trận positive semidefinite, khi đó có thể bài toán trên được biểu diễn dưới đây:

$$\begin{aligned} \min \langle X \rangle \\ \text{s.t. } X \in \mathbb{C}^{N \times N} \\ \langle X, H_i \rangle \geq \alpha_i, i = 1, 2, \dots, M. \\ \langle X, L_j \rangle \leq \beta_j, j = 1, 2, \dots, L. \\ \text{rank}(X) = 1, X \geq 0, \end{aligned}$$

$$\text{Ở đây: } H_i = \frac{h_i h_i^H}{\sigma_i^2} \text{ và } L_j = l_j l_j^H.$$

Hàm mục tiêu và các điều kiện đã cho là tuyến tính, tuy nhiên điều kiện của hạng ma trận X là hàm không lồi. Bằng cách giảm thiểu giá trị hạng của X thì bài toán là một dạng SDR và có thể giải được giống như các đa thức trong miền thời gian. Tuy nhiên để giải được hàm mục tiêu là tối ưu khi các điều kiện ràng buộc có rank là 1. Trong trường hợp này vector beamforming tối ưu có thể xác định được từ các vector giá trị riêng lớn nhất của ma trận X . Đối với các bài toán cỡ lớn khi số user M và số anten N tăng lên thì yêu cầu bài toán tối ưu được giải khi hạng ma trận lớn hơn 1. Để thực hiện được tối ưu có thể sử dụng kỹ thuật ngẫu nhiên ở các nghiên cứu trước đây. Tuy nhiên vẫn không đảm bảo được rằng các cách giải xấp xỉ khó tìm được giá trị tối ưu.

Thêm vào đó, đối với mức độ quan trọng của dịch vụ thì cần thiết lập tới các user có mức độ ưu tiên thấp. Điều này có thể xem như các bài toán max min SNR để cùng đảm bảo được tổng công suất beamforming với các điều kiện nhiễu liên kênh. Bài toán max min có thể được xem xét sau đây:

$$\begin{aligned} \max_{X \in \mathbb{C}^N} \min_{i=1,2,\dots,M} \frac{\langle xx^H, h_i h_i^H \rangle}{\sigma_i^2} \\ \text{s.t. } \langle x, x \rangle \leq P \\ \langle xx^H, l_j l_j^H \rangle \leq \beta_j, j = 1, 2, \dots, L, \end{aligned}$$

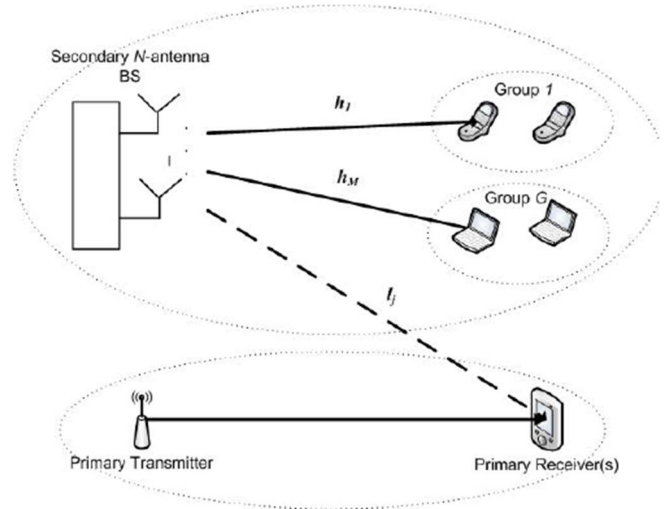
Ở đây, P là giá trị giới hạn tổng công suất BF. Trong điều kiện truyền dẫn đa người dùng với tất cả các user đều thu được thông tin như nhau thì giá trị tối thiểu SNR xác định được dung lượng kênh truyền.

Bài toán tối ưu đã cho ở trên cũng là dạng không lồi và là NP hard, việc biến đổi đối với các bài toán có kích thước cỡ lớn.

2.2. Mô hình Multiple Group Multicast

Từ trường hợp như hình 1 chúng ta có thể mở rộng cho trường hợp multiple group multicast như hình 2. Các user thứ cấp được chia thành G nhóm $\{g_1, g_2, \dots, g_G\}$, các user

trong mỗi nhóm đều thu nhận cùng một thông tin. Với $x_g \in \mathbb{C}^N$ là vector BF được cung cấp cho các user trong nhóm g tại các trạm gốc thứ cấp có N anten. Hệ thống này hoạt động khi xuất hiện sự có mặt của L user thu sơ cấp được phép. Tất cả các thành phần còn lại trong hệ thống được giả định giống như trong hệ thống single group multicast.



Hình 2. Mô hình hệ thống multiple group multicast

Tổng công suất beamforming là hàm có dạng toàn phương được mô tả như sau:

$$P_T(x_g) = \sum_{g=1}^G \langle x_g, x_g \rangle$$

Quá trình truyền dẫn trong hệ thống multiple group multicast gây ra nhiễu giao thoa trong nhóm với nhau nên tỷ số SNR tại user thứ i được xác định:

$$SNR_i(x_g) = \frac{\langle x_g x_g^H, h_i h_i^H \rangle}{\sum_{k \neq g} \langle x_g x_g^H, h_i h_i^H \rangle + \sigma_i^2}.$$

Trong đó thành phần tử số là công suất tín hiệu mong muốn tại user thứ i và thành phần mẫu số là tổng nhiễu giao thoa trong nhóm và nhiễu trắng. Ngoài ra nguyên nhân gây ra nhiễu giao thoa của của phía thu sơ cấp thứ j trong quá trình truyền dẫn thứ cấp có công thức:

$$INT_j(x_g) = \sum_{g=1}^G \langle x_g x_g^H, l_j l_j^H \rangle$$

Đầu tiên là bài toán tối thiểu công suất BF để tỷ số SNR thứ cấp và điều kiện nhiễu giao thoa sơ cấp được xác định như sau:

$$\begin{aligned} \min P_T(x_g) \\ x_g \in \mathbb{C}^N, g = 1, 2, \dots, G \\ \text{s.t. } \text{SI } N(x_g) \geq \alpha_i, i \in g_g, i = 1, \dots, M \\ \text{I } N(x_g) \leq \beta_j, j \in g_g, i = 1, \dots, L \end{aligned}$$

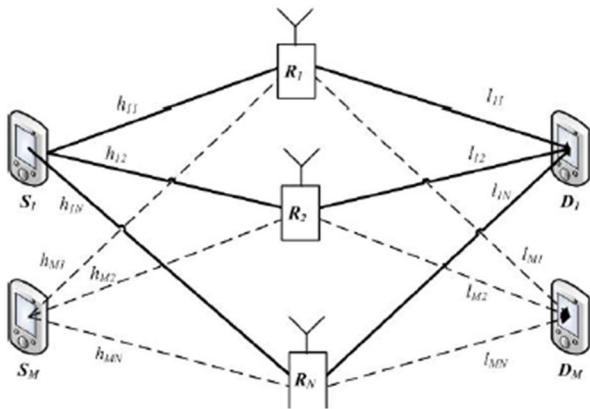
Tuy nhiên bài toán max min tỷ số SNR phía thu sơ cấp để đảm bảo cân bằng tham số QoS với các user thứ cấp được mô tả như sau:

$$\begin{aligned} \max_{x_g \in C^N, g=1,2,\dots,G} \quad & \min_{i=1,2,\dots,M} \text{SI} \quad N\mathbb{R}(x_g) \\ \text{s.t.} \quad & P_T(x_g) \leq P_0 \\ & I_j(x_g) \leq \beta_j, i \in g_g, i = 1, \dots, L \end{aligned}$$

Với P_0 là công suất được cung cấp lớn nhất cho phép. Các bài toán tối ưu trên đều thuộc dạng bài toán NP - hard không lồi. Khi so sánh với các bài toán với hệ thống single group multicast thì các bài toán tối ưu trong hệ thống multiple group multicast sẽ phức tạp hơn do phải xử lý các ma trận và các điều kiện ràng buộc SINR là các hàm không lồi có dạng toàn phương [5].

2.3. Mô hình Two stage relaying model

Việc sử dụng các nút chuyển tiếp đơn anten có thể nâng cao được hiệu năng cho hệ thống truyền dẫn nhiều người dùng một cách rõ rệt. Chúng ta xem xét mô hình như hình 3 [9].



Hình 3. Mô hình Two stage Amplify - Forward

Trong đó, M user ($S_1 \dots S_M$) hoạt động như các nguồn cung cấp tín hiệu tới M thuê bao thu ($D_1 \dots D_M$). Quá trình tín hiệu từ nguồn tới đích được thực hiện thông qua N nút chuyển tiếp ($R_1 \dots R_N$). Quá trình truyền tín hiệu chỉ được thực hiện qua các nút chuyển tiếp và giả định thực hiện kết nối trực tiếp giữa các user. Đồng thời mỗi thuê bao thu phát và các nút chuyển tiếp được trang bị một anten. Quá trình truyền tin được chia thành hai giai đoạn, giai đoạn đầu tiên mỗi tín hiệu được truyền từ phía nguồn được nhân với ma trận trọng số tại các nút (khuếch đại) và sau đó ở giai đoạn thứ hai các nút chuyển tiếp sẽ truyền các tín hiệu đã được khuếch đại tới các phí thu. Tuy nhiên, ở mỗi điểm thu tín hiệu cả thành phần tín hiệu và nhiễu giao thoa được cộng thêm thành phần nhiễu trắng.

Đầu tiên, M nguồn phát truyền M tín hiệu độc lập được mô tả bằng vector $s = [s_1, s_2 \dots s_M]^T$ tới M điểm thu tương ứng. Ngoài ra các tín hiệu truyền được giả định có kỳ vọng bằng không và cùng phương sai $\sigma_s^2 = E[|s_i|^2]$. Vector kênh $h_i = [h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{iN}]^T$ từ nguồn phát thứ i tới các nút chuyển tiếp và $l_i = [l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{iN}]^T$ là vector kênh từ N nút chuyển tiếp tới nguồn đích thứ i . Tại các nút chuyển tiếp ở giai đoạn khuếch đại vector trọng số beamforming $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN}]^T$

được nhân với tín hiệu nhận được sau đó các tín hiệu được truyền tới phía thu. Vì vậy tỷ số SINR tại thuê bao thu thứ i được xác định như sau:

$$\text{SNR}_i(x) = \frac{\sigma_s^2 |\langle x, c_{ii} \rangle|^2}{\sigma_s^2 \sum_{j \neq i} |\langle x, c_{ji} \rangle|^2 + \sigma_r^2 \langle x x^H, L_i \rangle + \sigma_d^2}$$

Trong đó: $c_{ij} = h_j \odot l_i$ là độ tăng ích kênh và dịch pha giữa nguồn phát j tới nguồn thu i ; σ_r^2 và σ_d^2 là kỳ vọng của nhiễu trắng tại các nút chuyển tiếp và đích tương ứng với $L_i = \text{diag}(|l_{i1}|^2, |l_{i2}|^2, \dots, |l_{iN}|^2)$.

Tổng công suất beamforming tại N chuyển tiếp có biểu thức:

$$P_T(x) = \langle x x^H, R \rangle,$$

Với R là một ma trận trực giao và phần tử trực giao của thứ n của ma trận được xác định $R_{nn} = \sigma_s^2 \sum_{i=1}^M |h_{in}|^2 + \sigma_r^2$. Công suất truyền dẫn riêng tại nút n được mô tả:

$$P_n(x) = R_{nn} |x_n|^2,$$

trong đó x_n là phần tử thứ n của vector beamforming x .

Hai bài toán tối ưu cần nghiên cứu: Đầu tiên là tối thiểu tổng công suất beamforming để thỏa mãn điều kiện ràng buộc SINR tại các user thu phía đích, khi đó bài toán được định dạng như sau:

$$\begin{aligned} \min_{x \in C^N} \quad & P_T(x) \\ \text{s.t.} \quad & \text{SI} \quad N\mathbb{R}(x) \geq \alpha_i, i \in g_g, i = 1, \dots, M \end{aligned}$$

Tổng công suất beamforming tối ưu sẽ dẫn tới việc suy giảm công suất tại các nút chuyển tiếp. Để khắc phục những hạn chế trong trường hợp này thì cần thỏa mãn điều kiện bài toán tối ưu công suất riêng tại các nút chuyển tiếp. Đồng nghĩa với việc phải thỏa mãn các điều kiện bắt buộc của SINR tại phía thu. Khi đó bài toán được xây dựng như sau:

$$\begin{aligned} \min_{x \in C^N} \quad & \max_{i=1,2,\dots,M} P_n(x) \\ \text{s.t.} \quad & \text{SI} \quad N\mathbb{R}(x) \geq \alpha_i, i = 1, 2, \dots, M \end{aligned}$$

Cả hai bài toán trên đều là các bài toán không lồi và dạng NP hard vì các điều kiện ràng buộc của SINR. Thông thường, các bài toán này được chuyển đổi về dạng SDP bằng cách biến đổi biến ma trận $X = x x^H$ với $X \in C^{N \times N}$ là ma trận positive semidefinite đối xứng. Một số phần mềm sử dụng phương pháp lựa chọn điểm khởi đầu trong giống như [4] có thể giải được bài toán tối ưu một cách phù hợp. Việc giải những bài toán liên quan đến hạng của ma trận lớn hơn 1 yêu cầu nhiều bước tính toán để đạt được giá trị tối ưu như kỹ thuật ngẫu nhiên. Khi xử lý tính toán thêm các bước này sẽ làm tăng độ phức tạp tính toán. Thậm chí khi giải quyết được mức độ phức tạp tính toán thì có thể không tìm được giá trị tối ưu.

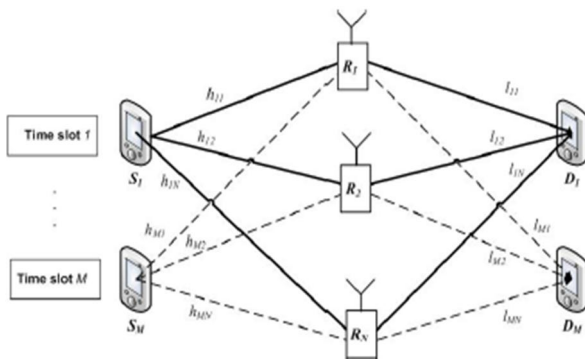
2.4. Mô hình Multi-stage Relay Model

Hai bài toán tối ưu ở trên để giải được thường có tỷ lệ không khả thi là rất lớn khi các nút chuyển tiếp phục vụ nhiều user với yêu cầu tỷ lệ SINR cao. Chẳng hạn hàng chục nút chuyển tiếp chỉ có thể phục vụ từ 3 đến 4 user tại cùng

một thời điểm. Để khắc phục hạn chế của trường hợp này một mô hình chuyển tiếp không dây đa chặng AF tạo ra $M+1$ khe thời gian thay thế trường hợp hai giai đoạn như mô hình hai chặng. Sơ đồ chuyển tiếp đa chặng như hình 4 có M node nguồn trao đổi thông tin với M node đích thông qua N chuyển tiếp. Chúng ta giả định rằng không có trường hợp trao đổi thông tin trực tiếp từ các node nguồn tới các node đích. Tại M khe thời gian đầu tiên, tín hiệu từ mỗi user được truyền tới toàn bộ N chuyển tiếp với khe thời gian tương ứng. Quá trình truyền tin của các user này được xem như thời gian trực giao. Mỗi nút chuyển tiếp lưu trữ tín hiệu tại mỗi khe thời gian. Hơn nữa, một node chuyển tiếp có thể hoạt động như một đơn vị xử lý trung tâm mà có thể tính toán các vector trọng số beamforming của từng tín hiệu trong mỗi khe thời gian tại các node đó. Do vậy, sẽ xảy ra yêu cầu nhiều quá trình hợp tác tại các nút chuyển tiếp. Đối với các khe thời gian cuối, các tín hiệu tại các nút chuyển tiếp được gửi tới toàn bộ M bộ thu tại cùng một thời điểm. Cuối cùng tại mỗi user thu, cả thành phần tín hiệu và nhiễu giao thoa được cộng với nhiễu trắng. Các giả thiết về độ tăng ích kênh, tín hiệu và nhiễu giống như trường hợp của mô hình chuyển tiếp hai chặng. Với x_i là vector chuyển tiếp tại khe thời gian thứ i , tỷ số SINR tại user thứ i được biểu diễn:

$$SINR_i(x_i) = \frac{\sigma_s^2 |\langle c_{ii}, x_i \rangle|^2}{\sigma_s^2 \sum_{i \neq j} |\langle x_j, c_{ji} \rangle|^2 + \sum_{j=1}^M \langle x_i x_i^H, G_i \rangle + \sigma_d^2}$$

với $G_i = \sigma_r^2 \text{diag}(|l_{1j}|^2, |l_{2j}|^2, \dots, |l_{Nj}|^2)$.



Hình 4. Mô hình hệ thống Multi-stage Relay Model

Tổng công suất chuyển tiếp được xác định bởi công thức sau:

$$P_T(x_k) = \sum_{k=1}^M \langle D_k, x_k x_k^H \rangle$$

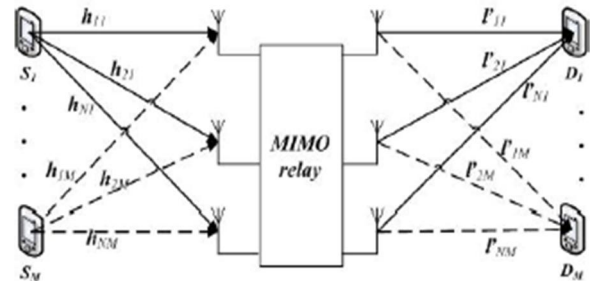
$$\text{với } D_k = \text{diag}(\sigma_s^2 |h_{1k}|^2 + \sigma_r^2, \dots, \sigma_s^2 |h_{Nk}|^2 + \sigma_r^2).$$

Các vector trọng số này phải được thiết kế để tổng công suất tại các nút chuyển tiếp đạt giá trị nhỏ nhất trong khi tỷ số SINR tại nút đích vẫn được đảm bảo lớn hơn một mức ngưỡng nào đó. Vì vậy bài toán tối ưu được mô tả như sau:

$$\begin{aligned} \min \quad & P_T(x_i) \\ \text{s.t.} \quad & x \in C^N, i = 1, 2, \dots, M \\ & SINR_i(x_i) \geq \alpha_i, i = 1, 2, \dots, M \end{aligned}$$

Bài toán tối ưu trên là những bài toán toàn phương với điều kiện ràng buộc không lồi. Có thể sử dụng kỹ thuật SDR để giải M ma trận positive semidefinite đối xứng với các biến X_k được thay thế bởi các biến x_k . Trong mô hình này chúng ta thấy rằng sử dụng kỹ thuật SDR thì ma trận cần tìm luôn luôn có hạng bằng 1 khi đó vấn đề tối ưu được đảm bảo.

2.5. Mô hình Single MIMO Relay System



Hình 5. Mô hình Single MIMO Relay System

Chúng ta khảo sát mô hình truyền thông chuyển tiếp MIMO được xét như hình 5 [10] với M nguồn phát giao tiếp với M đích nhận được hỗ trợ nút chuyển tiếp MIMO có N anten. Khi sử dụng chuyển tiếp MIMO sẽ dẫn tới gia tăng kết nối truyền tin, điều này đảm bảo không hình thành các kết nối trực tiếp từ nguồn tới đích. Quá trình chuyển tiếp MIMO hai chặng với giao thức khuếch đại chuyển tiếp sẽ được khảo sát. Với vector tín hiệu s truyền từ M nguồn phát được giả định có kỳ vọng bằng không và phương sai $\sigma_s = E[|s_i|^2]$. Vector kênh hướng lên h_i giữa nguồn thứ i và chuyển tiếp, trong khi đó l_j là vector kênh hướng xuống giữa chuyển tiếp và đích thu thứ j . Tín hiệu thu được tại nút chuyển tiếp được xác định:

$$y_{up} = Hs + n_r$$

với $n_r = [n_{r1}, \dots, n_{rN}]^T \in C^N$ là nhiễu trắng cộng tại nút chuyển tiếp có phương sai $\sigma_r = E[|n_{rn}|^2]$,

$$n = 1, 2, \dots, N.$$

Giả sử X là ma trận tiền giải mã beamforming được nhân với các tín hiệu thu tại nút chuyển tiếp được nút chuyển tiếp truyền tới các nút đích.

$$y_{am} = XHs + Xn_r$$

trong đó H là ma trận kênh hướng lên gồm các vector cột.

Khi đó tín hiệu thu được ở phí đích thu có dạng:

$$y_d = L'XHs + L'Xn_r + n_d$$

với n_d là nhiễu Gaussian trắng cộng tại các đích có phương sai σ_d^2 và L' là ma trận kênh hướng xuống.

Tổng công suất beamforming tại các nút chuyển tiếp có biểu thức:

$$P_T(X) = E\{\|y_{amp}\|^2\} = \langle (\sigma_s^2 HH^H + \sigma_r^2 I_N) X^H X \rangle.$$

Tuy nhiên, công suất riêng tại mỗi anten của nút chuyển tiếp có thể được xác định:

$$P_n(X) = X(n, :) [\sigma_s^2 H H^H + \sigma_r^2 I_N] X(n, :)^H.$$

Với $X(n, :)$ là hàng thứ n của ma trận X .

Tham số QoS được xác định là tỷ số tín hiệu trên tạp âm SINR tại đích thu thứ i có công thức như sau:

$$SNR_i(x_i) = \frac{\sigma_s^2 \langle l_i l_i^H X h_i h_i^H X^H \rangle}{\sigma_s^2 \sum_{i \neq j} \langle l_i l_i^H X h_i h_i^H X^H \rangle + \sigma_r^2 \langle l_i l_i^H h_i h_i^H \rangle + \sigma_d^2}$$

với $l_i = (l_i^*)^*$ là thành phần phức liên hợp của thông tin kênh hướng xuống tại user thứ i .

Trong truyền thông chuyển tiếp, mục tiêu của nút chuyển tiếp là hỗ trợ quá trình truyền tin từ nguồn tới đích đảm bảo được chất lượng dịch vụ trong khi tiết kiệm công suất tại nút chuyển tiếp đó. Bài toán tối ưu tổng công suất beamforming với điều kiện ràng buộc SINR được mô tả như sau:

$$\begin{aligned} \min \quad & P_T(X) \\ \text{s.t.} \quad & x \in C^N \\ & SI_N(X) \geq \alpha_i, i = 1, 2, \dots, M \end{aligned}$$

Một điều chắc chắn rằng hàm mục tiêu $P_T(X)$ là hàm toàn phương lồi trong khi các điều kiện ràng buộc là hàm toàn phương không lồi. Khi đó vấn đề tối ưu là các bài toán toàn phương không lồi của ma trận X gặp nhiều khó khăn để giải.

Giả sử rằng tối thiểu hóa công suất tổng có thể dẫn tới không cân bằng giữa các anten khi đó một số ít anten được cung cấp công suất thấp hơn các anten khác. Thêm vào đó, thực tế các loại anten ngày nay được kèm theo khuếch đại riêng bị hạn chế về dung lượng. Việc tối thiểu công suất truyền cực đại giữa các anten với điều kiện ràng buộc QoS của các user sẽ được thể hiện thông qua bài toán tối ưu sau:

$$\begin{aligned} \max_{x \in C^N} \quad & \min_{i=1,2,\dots,M} SI_N(X) \\ \text{s.t.} \quad & P_n(X) \leq \rho_n, i = 1, 2, \dots, N, \end{aligned}$$

với ρ_n là mức ngưỡng công suất tại chuyển tiếp của anten thứ n . Bài toán này cũng là bài toán có hàm mục tiêu không lồi.

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một số mô hình cơ bản trong việc xác định bài toán tối ưu công suất cho mạng chuyển tiếp vô tuyến. Trên cơ sở các mô hình đã xây dựng các hàm mục tiêu công suất tại các nút chuyển tiếp vô tuyến. Đây là một trong những vấn đề được nghiên cứu nhiều để áp dụng đối với các mạng vô tuyến thế hệ mới, mạng internet tốc độ cao. Đồng thời làm căn cứ khoa học khi sử dụng các kỹ thuật tối ưu không lồi phù hợp với các mô hình để giải quyết bài toán tối ưu công suất. Ngoài ra kết hợp các thuật toán cải tiến nhằm giải quyết các vấn đề liên quan đến tốc độ hội tụ bài toán như các kỹ thuật SDP, kỹ thuật ngẫu nhiên, Nonsmooth... Kết quả của bài báo là một hướng mở mới cho những nhà khoa học quan tâm tới các vấn đề về tối ưu hóa cho mạng vô tuyến chuyển tiếp MIMO. Đây là một vấn đề còn được nghiên cứu và quan tâm nhiều trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. FCC Spectrum Policy Task Force, 2002. *Report of the spectrum efficiency working group*. Federal Communications Commission, Tech. Rep. ET Docket No. 02-135.
- [2]. N. D. Sidiropoulos, T. N. Davidson, and Z.-Q. Luo, 2006. *Transmit beamforming for physical-layer multicasting*. IEEE Trans. Signal Processing, vol. 54, no. 6, pp. 2239–2251.
- [3]. T. Phan, A. Vorobyov, N. D. Sidiropoulos, and C. Tellambura, 2009. *Spectrum sharing in wireless networks via QoS-aware secondary multicast beamforming*. IEEE Trans. Signal Processing, vol. 57, no. 6, pp. 2323–2335.
- [4]. J. F. Sturm, 1999. *Using SeDuMi 1.02, a Matlab toolbox for optimization over symmetric cones*. Optim. Methods Softw., vol. 11-12, pp. 625–653.
- [5]. S. Boyd, L. Vandenberghe, 2004. *Convex Optimization*. Cambridge.
- [6]. D. Gesbert, S. Hanly, H. Huang, S. Shamai Shitz, O. Simeone, and W. Yu, 2010. *Multi-cell MIMO cooperative networks: a new look at interference*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 28, no. 9, pp. 1380–1408.
- [7]. T. M. Cover and A. A. E. Gamal, 1979. *Capacity theorems for the relay channel*. IEEE Transactions on Information Theory, vol. 25, no. 5, pp. 572–584.
- [8]. L. Sanguinetti, A. A. D. 'Amico, and R. Yue, 2012. *A tutorial on the optimization of amplify-and-forward MIMO relay systems*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 30, no. 8, pp. 1331–1346.
- [9]. A. El-Keyi and B. Champagne, 2010. *Adaptive linearly constrained minimum variance beamforming for multiuser cooperative relaying using the kalman filter*. IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 9, no. 2, pp. 641–651.
- [10]. T. Riihonen, A. Balakrishnan, K. Haneda, S. Wyne, S. Werner, and R. Wichman, 2011. *Optimal eigenbeamforming for suppressing self-interference in full-duplex MIMO relays*. in Proceedings of the 45th Annual Conference on Information Sciences and Systems, pp. 1–6.