

KỸ THUẬT SOCP-PR HỘI TỤ NHANH CHO BÀI TOÁN TỐI THIỂU CÔNG SUẤT PHÁT TRONG TRUYỀN DẪN VÔ TUYẾN ĐA ĂNG-TEN

FAST CONVERGENCE SOCP-PR TECHNIQUE FOR POWER MINIMUM PROBLEM IN MULTI ANTENA TRANSMISSION

Trần Đình Thông^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.167>

TÓM TẮT

Nâng cao hiệu quả sử dụng mạng truyền dẫn vô tuyến thế hệ mới đang được giới khoa học trên thế giới hết sức quan tâm. Đặc biệt, vấn đề giảm thiểu công suất phát của hệ thống phân tập ăng-ten trong mạng truyền dẫn vô tuyến đã sử dụng nhiều kỹ thuật tối ưu hóa để xác định. Bên cạnh mục tiêu xác định giá trị tối ưu, việc cải thiện tốc độ hội tụ cho bài toán cũng được nghiên cứu. Kỹ thuật tối ưu hóa Nonsmooth (NSM) đã được đề xuất nhằm giải quyết các bài toán đưa ra giá trị tiệm cận tối ưu. Tuy nhiên, phương pháp NSM yêu cầu nhiều lần lặp để thu được kết quả hiệu quả do tốc độ hội tụ chậm. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất kỹ thuật tối ưu SOCP-PR (Second Order Cone Program - Phase Rotation) để cải thiện đáng kể tốc độ hội tụ cho bài toán tối thiểu công suất phát trong truyền dẫn vô tuyến đa ăng-ten đối với mô hình trạm gốc truyền dẫn đa ăng-ten.

Từ khóa: Tổng công suất phát, kỹ thuật NSM, kỹ thuật SOCP-PR, truyền dẫn vô tuyến đa ăng-ten.

ABSTRACT

Improving the efficiency of using the new generation radio transmission network is of great concern in the scientific community around the world. In particular, the problem of minimizing transmit power of the antenna diversity system in the wireless transmission network has used many optimization techniques to solve. Besides the goal of determining the optimal value, improving convergence speed for the problem is also studied. The nonsmooth (NSM) optimization technique has been introduced as an efficient candidate that solves the problems at nearly optimum. However, the NSM method requires many iterations to derive an efficient result due to the slow convergence rate. In this work, we propose SOCP-PR optimization technique for multi antenna transmission model that improves the convergence rate in power minimum problem significantly.

Keywords: Total transmit power, NSM technique, SOCP-PR technique, multi antenna wireless transmission.

¹Khoa Điện tử, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: trandinhthong@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/4/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 30/8/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/10/2023

1. GIỚI THIỆU

Sự phát triển đa dạng các dịch vụ truyền dẫn vô tuyến thế hệ mới trong bối cảnh giới hạn về tài nguyên phổ tần là một trong những vấn đề được quan tâm của cộng đồng các nhà khoa học trên thế giới. Nhiều công bố khoa học đã tập trung nghiên cứu nâng cao hiệu quả sử dụng cho mạng truyền dẫn vô tuyến. Có ba giải pháp cơ bản để nâng cao hiệu năng sử dụng mạng vô tuyến: Tăng mật độ triển khai các điểm truy cập; bổ sung thêm băng tần; cải thiện hiệu suất sử dụng phổ tần. Việc triển khai thêm các điểm truy cập cũng như cấp phát dải tần mới kéo theo sự tốn kém về chi phí và khó thực hiện triển khai hệ thống. Do đó, thực hiện tối đa hóa hiệu suất phổ trên một băng tần cho trước là một giải pháp hiệu quả và khả thi.

Bài toán tối thiểu tổng công suất phát của các ăng-ten tại trạm gốc hoặc nút chuyển tiếp là một trong những giải pháp kỹ thuật nhằm cải thiện sử dụng phổ tần một cách hiệu quả. Trong đó, sử dụng các các véc-tơ hoặc ma trận trọng số tạo búp BF của các ăng-ten phát tại trạm gốc hoặc các trạm chuyển tiếp để xây dựng hàm mục tiêu nhằm tối thiểu tổng công suất phát có các điều kiện ràng buộc tại phía thu. Các bài toán tối thiểu tổng công suất phát với hàm mục tiêu không lồi phi tuyến thuộc lớp bài toán NP-khó (NP-hard) có độ phức tạp tính toán cao và khó xác định được giá trị tối ưu do có nhiều cực trị địa phương. Áp dụng và phát triển các lý thuyết toán học để xác định giá trị tối ưu toàn cục và giảm độ phức tạp của bài toán là một vấn đề nghiên cứu có tính cấp thiết trong khoa học cũng như trong thực tiễn. Một điều rõ ràng khi thiết kế các vector công suất tối ưu BF đối với mạng truyền dẫn vô tuyến nhận thức thường là những bài toán toàn phương bất định [1]. Một trong những vấn đề giống như những bài toán không lồi, các kỹ thuật đề xuất trước đây thường chuyển về bài toán SDP lồi với các điều kiện rank-1 [2]. Sau đó, các điều kiện ràng buộc không lồi và không liên tục được biến đổi để đạt được các giá trị tối ưu thích hợp và trên cơ sở kỹ thuật ngẫu nhiên để khôi phục giá trị tối ưu của bài toán gốc được trình bày trong [3, 4]. Tuy

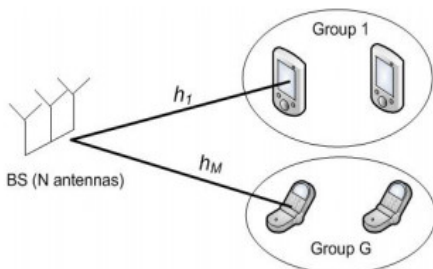
nhiên, các kỹ thuật đề xuất cũng chỉ ra các kết quả của bài toán với các điều kiện ràng buộc có giá trị tối ưu khác với các giá trị tối ưu thực tế của bài toán gốc.

Kỹ thuật tối ưu không trơn NSM được đề xuất để xác định giá trị tối ưu được xem như là một bài toán thiết kế hiệu quả. Với kết quả số liệu thực nghiệm có được đã chỉ ra rằng thuật toán đề xuất đã tìm ra được hầu hết các giá trị tối ưu toàn cục trong khi yêu cầu độ phức tạp tính toán thấp. Những hạn chế của phương pháp NSM có thể được bộc lộ với những trường hợp phức tạp khi một số lượng ăng-ten lớn được sử dụng tại trạm phát và các user. Nhiều trường hợp, các thủ tục của thuật toán NSM yêu cầu một số lượng lớn các bước lặp để đạt được độ hội tụ khá tốt hoặc nếu không sẽ mang đến kết quả tối ưu cục bộ. Điều này có thể dẫn tới trong việc khó khăn lựa chọn điểm ban đầu (x_0, μ_0 trong bài báo [8]) cũng như việc gia tăng các hệ số giữa hai bước lặp liền nhau. Trong bài báo này, chúng tôi tập trung nhằm cải thiện phương pháp NSM bằng cách thực hiện việc lựa chọn giá trị ban đầu phù hợp.

Gần đây, bài toán có dạng SOCP-PR [6, 7] đã sử dụng kỹ thuật quay pha nhằm cải thiện tốc độ hội tụ. Bằng việc so sánh số liệu với phương pháp NSM thì kỹ thuật SOCP-PR có kết quả tốt hơn. Phương pháp đề xuất SOCP-PR mới dựa trên nền tảng của kỹ thuật hàm phạt [9, 10]. Đây là một kỹ thuật hiệu quả và quan trọng được sử dụng đối với nhiều bài toán kỹ thuật tối ưu không lồi. Kết quả mô phỏng đã minh chứng những đặc tính tốt hơn khi so sánh với phương pháp NSM truyền thống liên quan đến tốc độ hội tụ.

Giả thiết: Các ma trận và vector cột được ký hiệu bằng ký tự viết hoa và thường tương ứng. Đối với ma trận Hermitian A thì $\lambda_{\max}(A)$ là trị riêng lớn nhất trong khi đó $\rho(A)$ là bán kính phổ được xác định $\rho(A) = \max|\lambda_i(A)|$ với $\lambda_i(A)$ là các giá trị riêng, $i = 1, 2, \dots$. Khi $A \geq 0$ thì ma trận A được gọi là ma trận PSD. Chúng ta giả thiết $\langle A \rangle = \text{trace}(A)$ khi A là một ma trận vuông và $\langle A, B \rangle = \text{trace}(A^H B)$ khi ma trận A và B cùng kích thước với A^H là chuyển vị liên hợp của A . Tương tự khi hai vector phức x và y có cùng kích thước thì: $\langle x, y \rangle = x^H y$, $\|x\| = \sqrt{x^H x}$ và $|\langle x, y \rangle|^2 = \text{trace}(x x^H y y^H) = |x^H y|^2$ Ngoài ra, E_x là toán hạng kỳ vọng của biến ngẫu nhiên x .

2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG VÀ XÂY DỰNG HÀM MỤC TIÊU BÀI TOÁN



Hình 1. Mô hình hệ thống trạm gốc phát đa nhóm

Xem xét trường hợp trạm gốc trang bị số lượng N ăng-ten được mô tả như hình 1. Trong đó, trạm gốc có chức năng

truyền thông tin G mang tín hiệu $s_g, g = 1, 2, \dots$, tới G nhóm g_g bên thu. Mỗi nhóm g_g bao gồm i_g các thiết bị thu, do vậy tổng số lượng thiết bị thu là $M = \sum_{g=1}^G i_g$. Để thuận tiện, chúng ta giả thiết $i \in g_g$ nếu thiết bị thu thứ i thứ cấp thuộc nhóm g_g . Mỗi thông tin mang tín hiệu s_g được gán bởi trọng số BF $x_g \in \mathbb{C}^N$ trước khi kết hợp để tạo thành tín hiệu $\sum_{g=1}^G x_g s_g$ được

truyền đi từ N anten. Giả sử các $s_g, g = 1, 2, \dots, G$ là độc lập, giá trị trung bình bằng không, phương sai đơn vị. Do vậy, tổng công suất BF được xác định là $\sum_{g=1}^G x_g x_g^H$. Ngoài ra

$h_i = [h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{iN}]^T, i = 1, 2, \dots, M$ là độ tăng ích kênh giữa bên thu và phát thứ i . Với tín hiệu nhiễu n_i ở phía thu thứ i có trị trung bình bằng không, phương sai σ_i^2 , tín hiệu thu ở user thứ i là:

$$d_i = \text{trace}(x_k h_i) s_k + \sum_{g \neq k} \text{trace}(x_g h_i) s_k + n_i$$

Vi vậy, tỷ số tín hiệu trên nhiễu giao thoa SINR tại bên thu thứ $i \in g_k$ được xác định bởi công thức:

$$\text{SNR}_i = \frac{|x_k^H h_i|^2}{\sum_{g \neq k} |x_g^H h_i|^2 + \sigma_i^2}$$

Bài toán tối thiểu tổng công suất BF với điều kiện ràng buộc được xác định dưới đây:

$$\min_{x_g \in \mathbb{C}^N, g=1, \dots, G} \sum_{g=1}^G \text{trace}(x_g x_g^H) \tag{1}$$

Thỏa mãn:

$$\frac{\text{trace}(x_k x_k^H h_i h_i^H)}{\sum_{g \neq k} \text{trace}(x_g x_g^H h_i h_i^H) + \sigma_i^2} \geq \alpha_i, i \in g_k; k = 1, \dots, G$$

Để đơn giản, bằng việc biến đổi $h_i \rightarrow \frac{\sqrt{\alpha}}{\sigma_i \sqrt{\alpha_i}} h_i$ với

$\alpha = \min_{i=1, 2, \dots, M} \alpha_i$ và $X_g = x_g x_g^H, g=1, 2, \dots, G$, khi đó bài toán (1) trở thành:

$$\min_{X_g \in \mathbb{C}^{N \times N}, X_g \in \mathbb{C}^N, g=1, \dots, G} \sum_{g=1}^G \text{trace}(X_g) \tag{2a}$$

$$\text{Thỏa mãn: } \frac{\text{trace}(X_k H_i)}{\sum_{g \neq k} \text{trace}(X_g H_i) + \sigma_i^2} \geq \alpha_i, i \in g_k; k = 1, \dots, G \tag{2b}$$

$$X_g = x_g x_g^H, g = 1, 2, \dots, G \tag{2c}$$

với $H_i = h_i h_i^H$. Bài toán (2) là bài toán tối ưu không lồi do điều kiện ràng buộc rank-1(2c). Bằng việc nới lỏng điều kiện ràng buộc thì bài toán(2) trở thành bài toán SDP. Tuy nhiên, kết quả mang lại vẫn chưa thỏa mãn điều kiện rank-1 đối với mỗi ma trận X_k nên chưa đạt được giá trị gần tối ưu. Do vậy,

cần có các giải pháp cải thiện để thỏa mãn các yêu cầu về rank-1 để tìm được giá trị tối ưu tốt hơn.

3. PHƯƠNG PHÁP TỐI ƯU KHÔNG TRƠN DỰA TRÊN NỀN TẢNG HÀM PHẠT

Theo bài báo [8], điều kiện ràng buộc của bài toán tối ưu (2) không lỗi được chuyển đổi thành điều kiện ràng buộc có tính chất hàm lồi theo công thức (3):

$$\sum_{g=1}^G (\text{trace}(X_g) - \lambda_{\max}(X_g)) \leq 0 \quad (3)$$

Trong đó, $\lambda_{\max}(X_g)$ là trị riêng lớn nhất của $X_g \geq 0$, nếu xảy ra trường hợp $\langle X_g \rangle \geq \lambda_{\max}(X_g)$ đối với bất cứ $X_g \geq 0$ thì điều kiện ràng buộc (3) tương đương với $\langle X_g \rangle = \lambda_{\max}(X_g)$. Do đó, tồn tại duy nhất một trị riêng X_g thỏa mãn điều kiện $X_g = \lambda_{\max}(X_g) x_{g\max} x_{g\max}^H$ với $x_{g\max}$ là véc tơ riêng ($|x_{g\max}| = 1$) của X_g tương ứng với trị riêng lớn nhất $\lambda_{\max}(X_g)$.

Bài toán (2) trở thành:

$$\min_{0 \leq X_g \in \mathbb{C}^{N \times N}, X_g \in \mathbb{C}^N, g=1, \dots, G} \sum_{g=1}^G \text{trace}(X_g) \quad (4)$$

Thỏa mãn điều kiện: (2b) và (3)

Với giá trị khởi tạo $X_g^{(k)}, g=1, 2, \dots, G$ của (2b), (2c) có trị riêng lớn nhất $\lambda_{\max}(X_g^{(k)})$ với véc tơ riêng chuẩn tương ứng $x_g^{(k)}$. Khi đó bài toán (5):

$$\min_{0 \leq X_g} \sum_{g=1}^G \text{trace}(X_g) + \mu \left[\begin{array}{l} \text{trace}(X_g) - \lambda_{\max}(X_g^{(k)}) \\ -\text{trace}(x_g^{(k)} x_g^{(k)H} (X_g - X_g^{(k)})) \end{array} \right] \quad (5)$$

Thỏa mãn điều kiện (2b)

với μ là một hệ số thích hợp, có thể biến đổi đưa về dạng bài toán SDP như bài (6):

$$\min_{0 \leq X_g} \sum_{g=1}^G \text{trace}(X_g) + \mu (\text{trace}(X_g) - \lambda_{\max}(X_g^{(k)}) - \text{trace}(x_g^{(k)} x_g^{(k)H} X_g)) \quad (6)$$

Thỏa mãn điều kiện (2b).

Xét thấy rằng giả sử $X_g^{(k+1)}$ là giá trị tối ưu của bài toán (6), vì $X_g^{(k)}$ cũng là giá trị cực trị đối với bài toán (3), nên ta có:

$$\text{trace}(X_g^{(k+1)}) + \mu [\text{trace}(X_g^{(k+1)}) - \lambda_{\max}(X_g^{(k)}) - \text{trace}(x_g^{(k)} x_g^{(k)H} (X_g^{(k+1)} - X_g^{(k)})] \leq \text{trace}(X_g^{(k)}) + \mu [\text{trace}(X_g^{(k)}) - \lambda_{\max}(X_g^{(k)})]$$

Khi đó bằng việc sử dụng tính chất biểu thức:

$$\begin{aligned} \lambda_{\max}(Y) - \lambda_{\max}(X) &\geq \text{trace}(x_{\max} x_{\max}^H (Y - X)) \\ f(X_g^{(k+1)}) &= \text{trace}(X_g^{(k+1)}) + \mu [\text{trace}(X_g^{(k+1)}) - \lambda_{\max}(X_g^{(k)})] \\ &\leq \text{trace}(X_g^{(k+1)}) + \mu \left[\begin{array}{l} \text{trace}(X_g^{(k+1)}) - \lambda_{\max}(X_g^{(k)}) \\ -\text{trace}(x_g^{(k)} x_g^{(k)H} (X_g^{(k+1)} - X_g^{(k)})) \end{array} \right] \\ &\leq \text{trace}(X_g^{(k)}) + \mu [\text{trace}(X_g^{(k)}) - \lambda_{\max}(X_g^{(k)})] \\ &= f(X_g^{(k)}) \end{aligned} \quad (7)$$

Kỹ thuật NSM trong [5] được thực hiện thông qua hai giai đoạn là khởi tạo ban đầu và giai đoạn tối ưu. Bước đầu tiên được bắt đầu khởi tạo với một giá trị $X^{(0)}$ có rank > 1 được giải thông qua bài toán SDP(2) với hệ số $\mu = 0,5$. Bước tiếp theo bằng cách thực hiện thiết lập $\mu := \mu + 0,2$ cho đến khi (5) đạt được giá trị thỏa mãn điều kiện rank-1 thì lúc đó giai đoạn khởi tạo kết thúc. Giai đoạn tối ưu được thực hiện khi đã lựa chọn được hệ số μ ở giai đoạn khởi tạo và thực hiện thiết lập $X_g^{(k+1)} := X_g^{(k)}$ sau mỗi bước lặp. Quá trình các vòng lặp này được kết thúc khi sai số giá trị tối ưu giữa hai bước lặp liên tiếp bé hơn một giá trị sai số cho trước. Thuật toán kỹ thuật NSM được xác định như sau:

Thuật toán NSM xác định giá trị tối ưu $X_g^{(\text{opt})}, g=1, \dots, G$

1. Giai đoạn khởi tạo ban đầu:

% Bước khởi đầu: Lựa chọn giá trị μ ban đầu phù hợp và $X_g^{(0)}, g=1, \dots, G$ thỏa mãn điều kiện (2c). Thiết lập: $k := 0$.

% Bước k: Giải (8) để đạt được giá trị tối ưu $X_g^{(k+1)}, g=1, \dots, G$.

Nếu $\text{trace}(X_g^{(k+1)}) \approx \lambda_{\max}(X_g^{(k+1)}), g=1, \dots, G$ (xác định được rank-1) thì:

Thiết lập: $X_g^{(0)} := X_g^{(k+1)}, g=1, \dots, G$, kết thúc vòng lặp và đưa ra giá trị μ và $X_g^{(0)}, g=1, \dots, G$.

nếu $X_g^{(k+1)} = X_g^{(k)}, g=1, \dots, G$ (không có kết quả rank-1) thì:

Thiết lập: $\mu := \mu + 0,2$ và quay lại bước khởi đầu.

Còn không

Thiết lập: $k := k + 1$ và $X_g^{(k)} := X_g^{(k+1)}$ cho bước lặp tiếp theo.

Kết thúc.

2. Giai đoạn tối ưu:

- Thiết lập: $k := 0$. Giải (8) để đạt được giá trị tối ưu $X_g^{(k+1)}, g=1, \dots, G$.

- Nếu $\text{trace}(X_g^{(k+1)}) \approx \lambda_{\max}(X_g^{(k+1)}), g=1, \dots, G$ (hội tụ) thì

Đưa ra $X_g^{(\text{opt})} := X_g^{(k+1)}, g=1, \dots, G$

Còn không

Thiết lập $k := k + 1$ và $X_g^{(k)} := X_g^{(k+1)}, g=1, \dots, G$. Tiếp tục bước lặp tiếp theo

- Kết thúc

Đưa ra giá trị tối ưu cuối cùng $X_g^{(\text{opt})}, g=1, \dots, G$.

4. KỸ THUẬT TỐI ƯU SOCP KẾT HỢP KỸ THUẬT QUAY PHA

Theo bài báo [8, 11] bài toán (1) được đưa về dạng bài toán SOCP kết hợp với kỹ thuật quay pha PR có thể mang lại nhiều hiệu quả khả quan. Trong bài báo này kỹ thuật tối ưu để xuất SOCP-PR được phát triển dựa trên nền tảng liên

quan đến kỹ thuật hàm phạt. Khi đó một cách tổng quát, bài toán (1) có thể được biến đổi về dạng bài toán SOCP-PR như (8):

$$\min_{x_g \in \mathbb{C}^N, g=1, \dots, G} \text{trace}(x_g x_g^H) \quad (8)$$

Thỏa mãn điều kiện:

$$\text{Re}\{x_k^H h_i\} \geq \sqrt{\alpha} \|H_{k,i} x\|, i \in g_k; k=1, 2, \dots, G$$

$$x_1 = 1$$

$$\text{với: } \begin{bmatrix} \sigma_i^2 & 0^T \\ 0 & (I_G - \text{diag}(I_G(:,k)) \otimes h_i h_i^T) \end{bmatrix}, i=1, 2, \dots, M \quad (9)$$

và $x = [1, x_1^T, \dots, x_G^T]^T$. I_G là ma trận đồng nhất kích thước G và $I_G(:,k)$ là cột thứ k của ma trận I_G . Bằng việc bắt đầu từ giá trị khởi tạo x^0 , kỹ thuật quay pha xác định pha của kênh truyền dẫn trong mỗi bước lặp bằng công thức:

$$h_i^{(k+1)} = h_i^{(k)} \exp(-j\rho_{k,i}^{(k)}), \quad (10)$$

$$\text{với: } \rho_{k,i}^{(k)} = \angle(x_k^{(k)H} h_i^{(k)}).$$

5. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Để thực hiện mô phỏng kết quả, luận án sử dụng cấu hình máy tính có bộ xử lý core i7 4770, tốc độ chip 3,4GHz socket 1150 và phần mềm Matlab 2018b kết hợp với các gói công cụ Sedumi [12], SDPT3 [13], Yalmip [14]. Mô phỏng đánh giá so sánh kỹ thuật tối ưu SDR, kỹ thuật Nonsmooth kết hợp với hàm phạt và kỹ thuật SOCP-PR với hai tiêu chí: tổng công suất phát và số bước lặp trung bình. Các tham số thực hiện mô phỏng được thể hiện ở bảng 1.

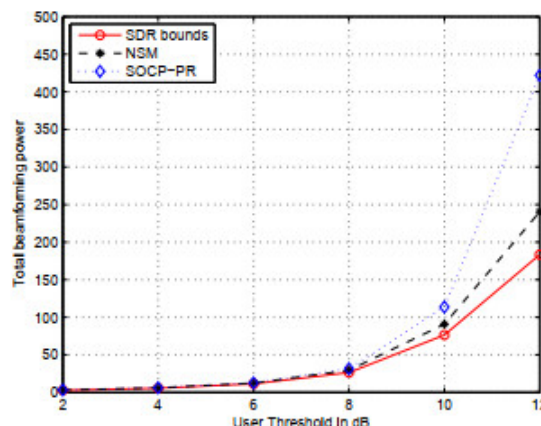
Bảng 1. Các tham số mô phỏng

STT	Tham số mô phỏng	Giá trị
1	Số nhóm G , số người dùng M bên thu	4, 24
2	Số ăng-ten phát tại trạm gốc N	8
3	Số vòng lặp itemu xác định hệ số phạt μ	100
4	Số vòng lặp itex giai đoạn tối ưu	200
5	Số vòng lặp ITE đối với mỗi mức ngưỡng SNR	500
6	Mức ngưỡng SNR (dB)	2, 4, 6, 8, 10, 12
7	Điều kiện dừng ε_1 đối với kỹ thuật NSM	10^{-6}
8	Điều kiện dừng ε_2 đối với kỹ thuật SOCP-PR	10^{-6}
9	Hệ số phạt μ^0 lựa chọn ban đầu của giai đoạn khởi tạo đối với kỹ thuật NSM	0,5

- Đối với công suất phát tối thiểu:

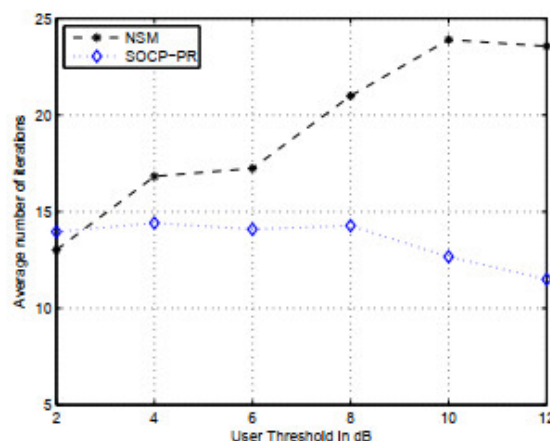
Để thực hiện đánh giá những ưu điểm của kỹ thuật tối ưu đề xuất, đã tiến hành thực hiện so sánh kỹ thuật SDR với hai kỹ thuật tối ưu NSM và SOCP-PR cùng các tham số mô phỏng được thể hiện trong bảng 1. Trong đó, kỹ thuật SDR để xác định đường bao chuẩn. Dựa vào kết quả mô tả ở đồ thị hình 2 cho thấy kỹ thuật đề xuất SOCP-PR đã tiệm cận được giá trị tối ưu với kỹ thuật NSM và SDR khi mức ngưỡng SNR thay đổi từ 2dB đến 10dB. Tuy nhiên, mức SNR tăng lên và lớn hơn 10dB khi đó độ phức tạp của bài toán tăng tuy nhiên số vòng

lặp của kịch bản mô phỏng chưa đủ lớn dẫn tới giá trị công suất tối thiểu đạt được có sai số lớn so với giá trị tối ưu thật của bài toán.



Hình 2. So sánh công suất tối ưu giữa kỹ thuật SDR, NSM, SOCP-PR - Số bước lặp trung bình:

Để thực hiện đánh giá ưu điểm của kỹ thuật đề xuất, bài báo chỉ thực hiện so sánh số bước lặp trung bình của hai kỹ thuật NSM và SOCP-PR. Dữ liệu mô phỏng từ hình 3 cho thấy tốc độ hội tụ của kỹ thuật đề xuất SOCP-PR đã tăng dần khi mức ngưỡng SNR tăng. Đặc biệt tại mức ngưỡng SNR = 12dB số bước lặp trung bình của kỹ thuật SOCP-PR chỉ bằng 0,5 lần so với kỹ thuật NSM. Tuy nhiên, qua đồ thị kết quả mô phỏng cho thấy, số bước lặp trung bình của hai kỹ thuật NSM và SOCP-PR phụ thuộc vào việc lựa chọn ngẫu nhiên hệ số phạt μ dẫn tới sự thay đổi không đồng đều về số bước lặp trung bình.



Hình 3. So sánh bước lặp trung bình giữa kỹ thuật NSM, SOCP-PR

6. KẾT LUẬN

Các kết quả mô phỏng của bài báo đã chỉ ra kỹ thuật SOCP-PR không chỉ xác định được giá trị tổng công suất tối thiểu tiệm cận với giá trị tối ưu thật với sai số nhỏ mà còn giảm được số bước lặp của thuật toán tính toán trong các mức ngưỡng khác nhau SINR khi so sánh với kỹ thuật NSM. Với việc sử dụng kỹ thuật tối ưu đề xuất sẽ có ý nghĩa về mặt khoa học khi áp dụng cho các mô hình có hàm mục tiêu với

độ phức tạp lớn phù hợp với các mạng truyền dẫn vô tuyến trong tương lai. Đặc biệt, mô hình nghiên cứu trạm gốc có nhiều ứng dụng trong các mạng truyền dẫn vô tuyến như mạng thông tin di động, mạng cảm biến, mạng truyền dẫn thủy âm SONAR.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. T. Phan, A. Vorobyov, N. D. Sidiropoulos, 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.
- [2]. Z. Luo, W. Ma, A. C. So, Y. Yinyu, S. Zhang, 2010. *Semidefinite relaxation of quadratic optimization problems*. IEEE Trans. Signal Processing, vol. 27, no. 3, pp. 20–34.
- [3]. N. D. Sidiropoulos, T. N. Davidson, Z. Q. Luo, 2006. *Transmit beamforming for physical-layer multicasting*. IEEE Trans. Signal Processing, vol. 54, no. 6, pp. 2239–2251.
- [4]. E. Karipidis, N. D. Sidiropoulos, Z. Q. Luo, 2008. *Quality of service and max-min fair transmit beamforming to multiple cochannel multicast groups*. IEEE Trans. Signal Processing, vol. 56, no. 3, pp. 1268–1279, Mar. 2008.
- [5]. A. H. Phan, H. D. Tuan, H. H. Kha, D. T. Ngo, 2012. *Nonsmooth optimization for efficient beamforming in cognitive radio multicast transmission*. IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 60, no. 6, pp. 2941–2951.
- [6]. M. Fadel, A. El-Keyi, A. Sultan, 2011. *Multuser mimo relaying under quality of service constraints*. in 2011 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC).
- [7]. Mohamed Fadel, Amr El-Keyi, Ahmed Sultan, 2012. *QoS-constrained multuser peer-to-peer amplify-and-forward relay beamforming*. IEEE Trans. Signal Processing, vol. 60, no. 3, pp. 1397–1408.
- [8]. N. Bornhorst, M. Pesavento, A. B. Gershman, 2011. *Distributed beamforming for multuser peer-to-peer and multi-group multicasting relay networks*. in IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP-2011).
- [9]. E. C. Kerrigan, J. M. Maciejowski, 2000. *Soft constraints and exact penalty functions in model predictive control*. in Proc. UKACC International Conference (Control 2000).
- [10]. L. T. H. An, 2003. *D.C. programming for solving a class of global optimization problems via reformulation by exact penalty*. Global Optim. Constraint Satisfact., vol. 2861, pp. 87–101.
- [11]. N. Bornhorst, P. Davarmanesh, M. Pesavento, 2012. *An extended interior-point method for transmit beamforming in multigroup multicasting*. in 2012 Proceedings of the 20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO).
- [12]. J.F. Sturm, 1999. *Using SeDuMi 1.02, a Matlab toolbox for optimization over symmetric cones*. Optim. Methods Soft, vol. 11-12, pp. 625-653
- [13]. Johan Efborg, 2004. *YALMIP: A toolbox for modeling and optimization in MATLAB*. IEEE International Symposium on Computer Aided Control Systems Design Taipei, Taiwan, pp. 284-289
- [14]. K.C. Toh, M.J. Todd, R.H. Tutuncu, 2008. *SDPT3 - A Matlab software package for semidefinite programming, Version 1.3*. Journal Optimization Methods and Software, Published online.

AUTHOR INFORMATION

Tran Dinh Thong

Faculty of Electronic Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam