

KỸ THUẬT PRECODING VÀ POSTCODING TRONG HỆ THỐNG THÔNG TIN ĐA TẾ BÀO ĐƯỜNG XUỐNG

PRECODING AND POSTCODING TECHNIQUES IN THE MULTICELL DOWNLINK TRANSMISSION SYSTEM

Nguyễn Duy Nhật Viễn, Lê Quang, Nguyễn Thị Hồng Sương

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; Email: ndnvien@dut.udn.vn

Tóm tắt - Nhiều giao thoa là một yếu tố làm giảm hiệu suất của mạng đa tế bào sử dụng lại tần số. Nghiên cứu về sự phối hợp hoạt động giữa các BS ở các cell với nhau để hạn chế hoặc triệt các nhiễu giao thoa là một hướng tiếp cận đầy hứa hẹn để nâng cao tốc độ dữ liệu trong mạng đa cell. Ở kênh quảng bá (đường xuống) của mạng, việc triệt hoàn toàn giao thoa được thực hiện bằng các ma trận precoding ở đầu phát và ma trận postcoding ở đầu thu. Trong các nghiên cứu về mã hóa hiện nay, phần lớn các bài báo đã có chỉ tập trung vào tiền mã hóa ở trạm gốc mà chưa đề cập đến mã hóa tại các thuê bao thu xa. Khác với các bài báo đã được công bố, bài báo này đề xuất một phương pháp thiết kế các ma trận precoding và postcoding trong một mạng đa cell sử dụng lại tần số. Hơn nữa, cũng giới thiệu thuật toán phân bổ công suất phát để có thể tối ưu được tốc độ dữ liệu (dung lượng) mạng. Một vài mô phỏng máy tính sẽ được tiến hành để kiểm chứng lại khả năng của hệ thống đã được thiết kế.

Từ khóa - mạng đa tế bào; precoding; postcoding; kênh quảng bá; phân bổ công suất tối ưu.

1. Giới thiệu

Đa người dùng đa anten MU MIMO (Multi-user multiple-input multiple-output) là kỹ thuật truyền dẫn đem lại hiệu quả phổ cao trong các hệ thống thông tin di động LTE-A (Long Term Evolution - Advanced), trong đó, một trạm gốc BS (Base Station) phục vụ nhiều trạm di động MS (Mobile Station) nhờ kỹ thuật ghép kênh phân chia không gian [1], [2]. Vì tần số là một tài nguyên khá hạn hẹp nên việc tái sử dụng lại tần số gây ra giao thoa đối với các kênh lân cận và làm suy giảm chất lượng tín hiệu và dung lượng mạng [3].

Để hạn chế ảnh hưởng của giao thoa từ các tế bào khác cũng như từ các người dùng khác, kỹ thuật beamforming được áp dụng trong thông tin vô tuyến [4]. Đã có rất nhiều nghiên cứu khác nhau trong thời gian qua để giải quyết vấn đề này [5, 6, 7], tuy nhiên, bài toán đa tế bào vẫn chưa có câu trả lời thoả đáng.

Bài báo đề xuất một kỹ thuật triệt giao thoa đa tế bào, đa người dùng trên cơ sở của kỹ thuật tiền mã hoá đường chéo hoá khối BD (block diagonalization) [8]. Trong đó, ma trận tiền mã hoá (precoding) bao gồm 3 ma trận: 1 ma trận dùng để khử giao thoa liên tế bào, ma trận thứ hai khử giao thoa liên người dùng và ma trận thứ ba dùng để phân bổ công suất nhằm tối đa hóa dung lượng hệ thống. Ngoài ra, ma trận mã hoá sau (postcoding) và kỹ thuật tối ưu hoá công suất phát cũng được thiết kế một cách chi tiết trong bài báo này.

2. Mô hình hệ thống

Xét một mạng có C tế bào với mỗi tế bào c ($c=1, \dots, C$) bao gồm một trạm gốc (\mathbf{BS}_c) và K_c trạm di động ($\mathbf{MS}_{c,k}$). Trong mỗi tế bào c ($c=1, \dots, C$), trạm gốc và trạm di động

Abstract - Interference is a factor that limits the performance of a dense cellular network with frequency reuse. Researching into the cooperation among base stations (BSs) to eliminate or mitigate interference is a promising approach for improving the data rates. For the downlink, we can eradicate interference by using precoding matrices at the transmitting side and postcoding matrices at the receiving side. Among the present researches on encryption, most of the published papers focus only on pre-coding at the base station but do not mention the encryption of the subscribers at the remote receiver. Unlike the other papers, this paper presents a method to design precoding and postcoding matrices in a dense cellular network with frequency reuse. Moreover, an algorithm for allocating the output capacity is introduced to maximize the network capacity. Several computer simulations are provided to verify the performance of the suggested precoding and postcoding techniques.

Key words - multicell network; precoding; postcoding; broadcast channel; optimal power allocation.

thứ k ($k=1, \dots, K_c$) lần lượt được trang bị $N_{c,B}$ anten phát và $N_{c,k}$ anten thu. Tín hiệu nhận được tại trạm di động thứ k của tế bào thứ c có thể được viết thành

$$\mathbf{y}_{c,k} = \mathbf{H}_{cc,k} \mathbf{T}_{c,k} \mathbf{s}_{c,k} + \mathbf{H}_{cc,k} \sum_{k'=1, k' \neq k}^{K_c} \mathbf{T}_{c,k'} \mathbf{s}_{c,k'} + \sum_{c'=1, c' \neq c}^C \sum_{k'=1}^{K_{c'}} \mathbf{H}_{c'c,k} \mathbf{T}_{c',k'} \mathbf{s}_{c',k'} + \mathbf{n}_{c,k}, \quad (1)$$

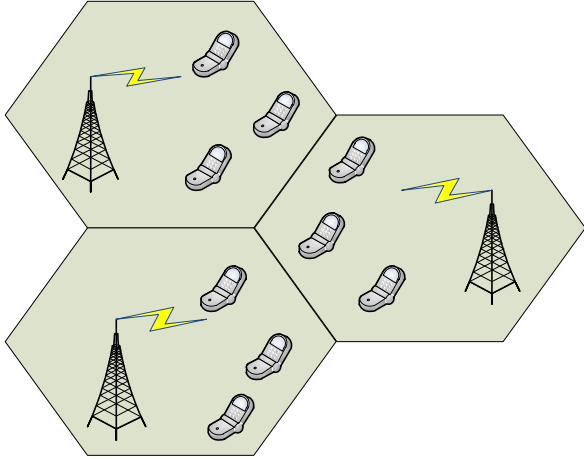
trong đó $\mathbf{s}_{c,k}$ là tín hiệu mà \mathbf{BS}_c muốn truyền tới \mathbf{BS}_c , $\mathbf{s}_{c,k}$ là tín hiệu \mathbf{BS}_c mong muốn truyền tới $\mathbf{MS}_{c,k}$ nhưng bị giao thoa qua $\mathbf{MS}_{c,k}$, ta gọi tín hiệu này là ICI (intra-cell interferes), $\mathbf{s}_{c',k'}$ là tín hiệu $\mathbf{BS}_{c'}$ mong muốn truyền tới $\mathbf{MS}_{c',k'}$ nhưng bị giao thoa qua $\mathbf{MS}_{c,k}$, ta gọi các tín hiệu này là OCI (out-of-cell interferes), $\mathbf{H}_{cc,k} \in \mathbb{C}^{N_{c,B} \times N_{c,k}}$ là ma trận kênh truyền từ \mathbf{BS}_c tới $\mathbf{MS}_{c,k}$ và $\mathbf{H}_{c'c,k} \in \mathbb{C}^{N_{c',B} \times N_{c,k}}$ là ma trận kênh truyền từ $\mathbf{BS}_{c'}$ tới $\mathbf{MS}_{c,k}$, $\mathbf{T}_{c,k}$, $\mathbf{T}_{c,k'}$, $\mathbf{T}_{c',k'}$ là các ma trận precoding được nhân lần lượt theo thứ tự cho các tín hiệu $\mathbf{s}_{c,k}$, $\mathbf{s}_{c,k'}$, $\mathbf{s}_{c',k'}$ và $\mathbf{n}_{c,k} \in \mathbb{C}^{N_{c,k} \times 1}$ là vector nhiễu trắng Gaussian phức có trung bình bằng 0 và ma trận hiệp phương sai.

Tại $\mathbf{MS}_{c,k}$, tín hiệu nhận được sẽ được nhân bởi ma trận postcoding $\mathbf{W}_{c,k}^H$ như sau

$$\hat{\mathbf{y}}_{c,k} = \mathbf{W}_{c,k}^H \mathbf{y}_{c,k} = \mathbf{W}_{c,k}^H \mathbf{H}_{cc,k} \mathbf{T}_{c,k} \mathbf{s}_{c,k} + \mathbf{W}_{c,k}^H \mathbf{H}_{cc,k} \sum_{k'=1, k' \neq k}^{K_c} \mathbf{T}_{c,k'} \mathbf{s}_{c,k'} + \mathbf{W}_{c,k}^H \sum_{c'=1, c' \neq c}^C \sum_{k'=1}^{K_{c'}} \mathbf{H}_{c'c,k} \mathbf{T}_{c',k'} \mathbf{s}_{c',k'} + \mathbf{W}_{c,k}^H \mathbf{n}_{c,k}. \quad (2)$$

Theo (2), tín hiệu nhận được tại mỗi $\mathbf{MS}_{c,k}$ bao gồm tín hiệu mong muốn $\mathbf{W}_{c,k}^H \mathbf{H}_{cc,k} \mathbf{T}_{c,k} \mathbf{s}_{c,k}$, ICI: $\mathbf{W}_{c,k}^H \mathbf{H}_{cc,k} \sum_{k'=1, k' \neq k}^{K_c} \mathbf{T}_{c,k'} \mathbf{s}_{c,k'}$

và OCI: $\mathbf{W}_{c,k}^H \sum_{c'=1, c' \neq c}^C \sum_{k'=1}^{K_{c'}} \mathbf{H}_{c',k} \mathbf{P}_{c',k} \mathbf{s}_{c',k}$. Sự có mặt của các tín hiệu OCI và ICI sẽ làm giảm chất lượng truyền dẫn của mạng. Do đó, ma trận precoding $\mathbf{T}_c = [\mathbf{T}_{c,1}, \dots, \mathbf{T}_{c,K_c}]$ ($c = 1, \dots, C$), được thiết kế sao cho có thể vừa triệt tiêu được ICI vừa triệt tiêu được OCI. Trong bài này, chúng ta sẽ đi nghiên cứu phương pháp thiết kế \mathbf{T}_c , có thể gọi tên là phương pháp BD-null space.



Hình 1. Mô hình mạng 3-tế bào. Trong mỗi tế bào có một BS phục vụ nhiều MS, các MS này bị ảnh hưởng từ các BS của các tế bào lân cận

3. Thiết kế các ma trận precoding và postcoding

Xét trong tế bào c , ta đặt ma trận $\mathbf{G}_c \in \mathbb{C}^{\left(\sum_{c'=1, c' \neq c}^C K_{c'}\right) \times N_{c,B}}$ là ma trận kênh truyền từ \mathbf{BS}_c tới các $\mathbf{MS}_{c',k}$ ($c' = 1, \dots, C$, $c' \neq c$, $k = 1, \dots, K_{c'}$), \mathbf{G}_c được viết

$$\mathbf{G}_c = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{c,1,1}, \dots, \mathbf{H}_{c,1,K_1}, \dots, \mathbf{H}_{c(c-1),1}, \dots, \\ \mathbf{H}_{c(c-1),K_{c-1}}, \mathbf{H}_{c(c+1),1}, \dots, \mathbf{H}_{c(c+1),K_{c+1}}, \dots \\ \mathbf{H}_{c,C,1}, \dots, \mathbf{H}_{c,C,K_C} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Thực hiện phép phân tích Single Value Decomposition (SVD) cho \mathbf{G}_c , ta được

$$\mathbf{G}_c = \mathbf{U}_c [\boldsymbol{\Sigma}_c \quad \mathbf{0}] \begin{bmatrix} \mathbf{V}_c^{(1)} & \mathbf{V}_c^{(0)} \end{bmatrix}^H, \quad (4)$$

thành phần $\mathbf{V}_c^{(0)}$ là không gian không của \mathbf{G}_c , có nghĩa là $\mathbf{G}_c \mathbf{V}_c^{(0)} = \mathbf{0}$. Như vậy, với việc sử dụng thành phần $\mathbf{V}_c^{(0)}$, tín hiệu OCI không mong muốn từ \mathbf{BS}_c đến các $\mathbf{MS}_{c',k}$ đã bị triệt tiêu. Phương pháp được trình bày sau đây sẽ được sử dụng để loại bỏ ICI.

• Phương pháp BD-nullspace

Sử dụng phương pháp BD được đề cập trong [8] cho tế bào c , với ma trận kênh truyền mới lúc này trở thành

$$\tilde{\mathbf{H}} = \left[\left(\mathbf{H}_{cc,1} \mathbf{V}_c^0 \right)^T, \dots, \left(\mathbf{H}_{cc,K_c} \mathbf{V}_c^0 \right)^T \right]^T. \quad (5)$$

Theo [2], ta sẽ định nghĩa ma trận $\tilde{\mathbf{H}}_{cc,j}$ ($j = 1, \dots, K_c$) từ $\tilde{\mathbf{H}}$ có dạng

$$\tilde{\mathbf{H}}_{cc,j} = \left[\left(\mathbf{H}_{cc,1} \mathbf{V}_c^0 \right)^T, \dots, \left(\mathbf{H}_{cc,j-1} \mathbf{V}_c^0 \right)^T, \right. \\ \left. \left(\mathbf{H}_{cc,j+1} \mathbf{V}_c^0 \right)^T, \dots, \left(\mathbf{H}_{cc,K_c} \mathbf{V}_c^0 \right)^T \right]^T, \quad (6)$$

thực hiện phân tích SVD đối với $\tilde{\mathbf{H}}_{cc,j}$

$$\tilde{\mathbf{H}}_{cc,j} = \tilde{\mathbf{U}}_{cc,j} \tilde{\boldsymbol{\Sigma}}_{cc,j} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{V}}_{cc,j}^{(1)} & \tilde{\mathbf{V}}_{cc,j}^{(0)} \end{bmatrix}^H, \quad (7)$$

trong đó $\tilde{\mathbf{V}}_{cc,j}^{(1)}$ là $\tilde{\mathbf{L}}_{cc,j}$ vector riêng bên phải đầu tiên (đặt $\tilde{\mathbf{L}}_{cc,j}$ là hạng của $\tilde{\mathbf{H}}_{cc,j}$), và $\tilde{\mathbf{V}}_{cc,j}^{(0)}$ là $(N_{c,B} - \tilde{\mathbf{L}}_{cc,j})$ vector riêng bên phải cuối cùng. Do đó, $\tilde{\mathbf{V}}_{cc,j}^{(0)}$ là dạng cơ sở trực giao cho không gian không của $\tilde{\mathbf{H}}_{cc,j}$, tức là $\tilde{\mathbf{H}}_{cc,j} \tilde{\mathbf{V}}_{cc,j}^{(0)} = \mathbf{0}$. Tiếp tục thực hiện phân tích SVD đối với $\mathbf{H}_{cc,j} \tilde{\mathbf{V}}_{cc,j}^{(0)}$

$$\mathbf{H}_{cc,j} \mathbf{V}_c^0 \tilde{\mathbf{V}}_{cc,j}^{(0)} = \mathbf{U}_{cc,j} [\boldsymbol{\Sigma}_{cc,j} \quad \mathbf{0}] \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{cc,j}^{(1)} & \mathbf{V}_{cc,j}^{(0)} \end{bmatrix}^H. \quad (8)$$

Từ (4),(7) và (8) ta thành lập được ma trận precoding và ma trận postcoding

$$\mathbf{T}_c = \mathbf{P}_c \boldsymbol{\Lambda}_c^{1/2} \\ = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_c^0 \tilde{\mathbf{V}}_{cc,1}^{(0)} \mathbf{V}_{cc,1}^{(1)} & \mathbf{V}_c^0 \tilde{\mathbf{V}}_{cc,2}^{(0)} \mathbf{V}_{cc,2}^{(1)} & \dots \\ \mathbf{V}_c^0 \tilde{\mathbf{V}}_{cc,K_c}^{(0)} \mathbf{V}_{cc,K_c}^{(1)} \end{bmatrix} \boldsymbol{\Lambda}_c^{1/2} \quad (9)$$

$$\mathbf{W}_c = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{cc,1} & \mathbf{W}_{cc,2} & \dots & \mathbf{W}_{cc,K_c} \\ \mathbf{U}_{cc,1}^H & \mathbf{U}_{cc,2}^H & \dots & \mathbf{U}_{cc,K_c}^H \end{bmatrix},$$

$\boldsymbol{\Lambda}_c$ là một ma trận đường chéo chứa các thành phần công suất phát được phân bổ trên các cột của \mathbf{P}_c .

• Phân bổ công suất phát tối ưu (Water Filling)

Giả sử tổng công suất phát cho tất cả các anten phát ở tế bào c là $P_{t,c}$. Ma trận precoding lúc này là \mathbf{P}_c . Ta có được điều kiện ràng buộc về tổng công suất phát như sau

$$\text{Trace} \{ \mathbf{T}_c \mathbf{s}_c \mathbf{s}_c^H \mathbf{T}_c^H \} \leq P_{t,c}, \quad (10)$$

trong đó $\mathbf{s}_c = [s_{c,1}, s_{c,2}, \dots, s_{c,K_c}]^T$ là vector kí tự dữ liệu được phát từ \mathbf{BS}_c tới các \mathbf{MS}_c .

Theo (9), $\mathbf{T}_c = \mathbf{P}_c \boldsymbol{\Lambda}_c^{1/2}$ với $\mathbf{P}_c = [\mathbf{P}_{cc,1} \quad \mathbf{P}_{cc,2} \quad \dots \quad \mathbf{P}_{cc,K_c}]$ $= [\mathbf{V}_c^0 \tilde{\mathbf{V}}_1^{(0)} \mathbf{V}_1^{(1)} \quad \mathbf{V}_c^0 \tilde{\mathbf{V}}_2^{(0)} \mathbf{V}_2^{(1)} \quad \dots \quad \mathbf{V}_c^0 \tilde{\mathbf{V}}_{K_c}^{(0)} \mathbf{V}_{K_c}^{(1)}]$ và $\boldsymbol{\Lambda}_c = \text{diag} \{ \lambda_{c,1}, \lambda_{c,2}, \dots, \lambda_{c,K_c} \} = \text{diag} \{ \lambda_{1,1}, \dots, \lambda_{1,N_{c,1}}; \dots; \lambda_{K_c,1}, \dots, \lambda_{K_c,N_{c,K_c}} \}$ là ma trận đường chéo chứa các mức công suất phân bổ trên từng anten, kí hiệu $\lambda_{k,u}$ biểu diễn cho mức công suất của anten thứ k của trạm \mathbf{MS} thứ u . Công thức (10) được viết lại thành

$$\text{Trace} \left\{ \mathbf{P}_c \boldsymbol{\Lambda}_c^{1/2} \mathbf{s}_c \mathbf{s}_c^H \left(\boldsymbol{\Lambda}_c^{1/2} \right)^H \mathbf{P}_c^H \right\} \\ = \text{Trace} \left\{ \boldsymbol{\Lambda}_c^{1/2} \left(\boldsymbol{\Lambda}_c^{1/2} \right)^H \mathbf{P}_c^H \mathbf{P}_c \right\} \\ = \text{Trace} \left\{ \boldsymbol{\Lambda}_c \mathbf{P}_c^H \mathbf{P}_c \right\} \\ = \sum_{i=1}^{K_c} \sum_{j=1}^{N_{c,i}} \lambda_{i,j} \left[\mathbf{P}_c^H \mathbf{P}_c \right]_{\sum_{i=1}^{K_c} \sum_{j=1}^{N_{c,i}} j, \sum_{i=1}^{K_c} \sum_{j=1}^{N_{c,i}} j} \leq P_{t,c}. \quad (11)$$

Để đơn giản trong khảo sát, mô phỏng, ta thường sử dụng kịch bản phân bổ đều các mức công suất lên mỗi anten, lúc đó $\lambda_{1,1}, \dots, \lambda_{1,N_{c,1}} = \dots = \lambda_{K_c,1}, \dots = \lambda_{K_c,N_{c,K_c}} = \lambda$. Theo (11), λ sẽ được tính

$$\lambda = \frac{P_{t,c}}{\sum_{i=1}^{K_c} \sum_{j=1}^{N_{c,i}} \left[\mathbf{P}_c^H \mathbf{P}_c \right]_{\sum_{i=1}^{K_c} \sum_{j=1}^{N_{c,i}} j, \sum_{i=1}^{K_c} \sum_{j=1}^{N_{c,i}} j}} \\ = \frac{P_{t,c}}{\text{Trace} \left\{ \mathbf{P}_c^H \mathbf{P}_c \right\}}. \quad (12)$$

Tuy nhiên, do tính chất các kênh truyền không đều nhau, nên cách phân bổ đều công suất như trên không đạt được kết quả tối ưu về mặt dung lượng. Do đó, để đạt được mức dung lượng tối ưu, ta phải phân bổ công suất một cách

tối ưu, không đều bằng cách giải bài toán tối ưu dung lượng với điều kiện ràng buộc tổng công suất phát. Bài toán tối ưu dung lượng với điều kiện ràng buộc về tổng công suất được viết như sau

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{k=1}^{K_c} \log \left| \mathbf{I} + \frac{\mathbf{H}_{cc,k} \mathbf{P}_{c,k} \mathbf{\Lambda}_{c,k} \mathbf{P}_{c,k}^H \mathbf{H}_{cc,k}^H}{\sigma_{c,k}^2} \right| \\ \text{subject to} \quad & \sum_{k=1}^{K_c} \text{tr} \left\{ \mathbf{P}_{c,k} \mathbf{\Lambda}_{c,k} \mathbf{P}_{c,k}^H \right\} \leq P_{l,c}, \\ & \mathbf{\Lambda}_{c,k} \succeq 0 \end{aligned} \quad (13)$$

với \succeq biểu diễn một bất đẳng thức ma trận được định nghĩa trên nón của ma trận semidefinite dương. Phân tích SVD tích $\frac{\mathbf{H}_{cc,k}^H \mathbf{H}_{cc,k}}{\sigma_{c,k}^2} = \mathbf{U}_k \mathbf{\Omega}_k \mathbf{U}_k^H$, trong đó $\mathbf{\Omega}_k = \text{diag} \{ \omega_{k,1}, \omega_{k,2}, \dots, \omega_{k,N_{c,k}} \}$. Theo [9], ta tìm được nghiệm của bài toán (13)

$$\mathbf{\Lambda}_{c,k} = \mathbf{U}_k \text{diag} \left[\left(\frac{1}{\mu [\mathbf{P}_k^H \mathbf{P}_k]_{1,1}} - \frac{1}{\omega_{k,1}} \right)_+, \dots, \left(\frac{1}{\mu [\mathbf{P}_k^H \mathbf{P}_k]_{N_{c,k}, N_{c,k}}} - \frac{1}{\omega_{k, N_{c,k}}} \right)_+ \right] \mathbf{U}_k^H, \quad (14)$$

với $(\cdot)_+ = \max(0, \cdot)$. Mức công suất trung bình μ được tính theo ràng buộc

$$\sum_{k=1}^{K_c} \sum_{i=1}^{N_{c,k}} \left(\frac{1}{\mu} - \frac{[\mathbf{P}_k^H \mathbf{P}_k]_{i,i}}{\omega_{k,i}} \right)_+ = P_{l,c}. \quad (15)$$

4. Kết quả mô phỏng hệ thống

Trong phần này, hệ thống thông tin MIMO đa tế bào đa người dùng được mô phỏng trên MATLAB để đánh giá hiệu năng của phương pháp đề xuất thông qua dung lượng và tỷ lệ lỗi bit BER (Bit Error Rate) trong 2 trường hợp:

- chỉ thực hiện precoding và postcoding phương pháp BD [8] trong mỗi tế bào mà ko quan tâm đến các tín hiệu giao thoa từ các tế bào khác.
- thực hiện precoding và postcoding trong mỗi tế bào theo phương pháp BD-null space (có sử dụng thành phần triệt giao thoa liên tế bào).

Quá trình mô phỏng được thực hiện theo cấu hình trong Bảng 1 (với số anten tại mỗi MS trong một tế bào là bằng nhau và kiểu phân bố công suất là phân bố đều).

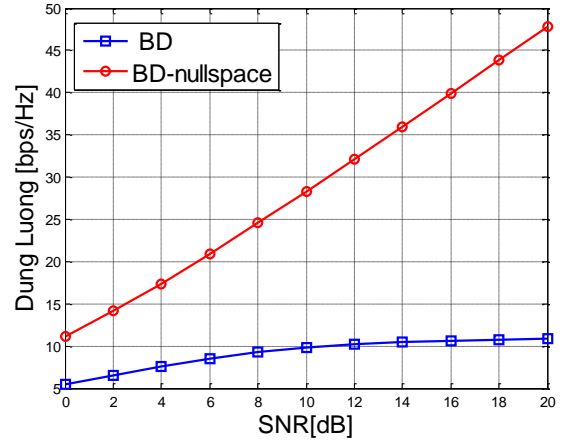
Số tế bào (c)	1	2
Số trạm MS (K_c)	3	3
Số anten trạm BS ($N_{c,B}$)	16	16
Số anten trạm MS ($N_{c,k}$)	2	2
Kỹ thuật điều chế	QPSK	

Bảng 1. Các thông số hệ thống chung.

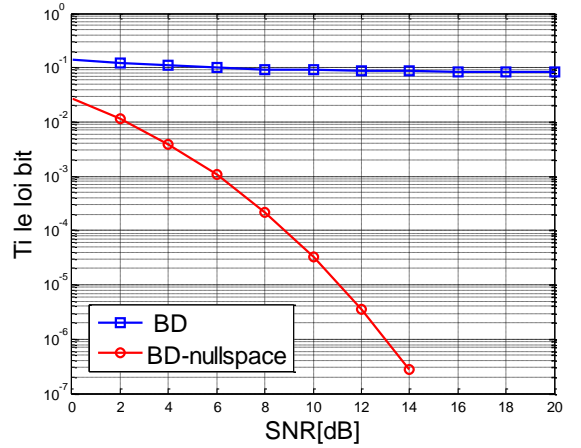
Kết quả mô phỏng được hiển thị cho tế bào 1. Các kết quả mô phỏng được thể hiện ở các hình dưới. Hình 2 thể hiện được sự vượt trội về dung lượng hệ thống của phương pháp BD-nullspace có xử lý triệt giao thoa ngoài tế bào so với phương pháp BD thông thường chỉ xử lý các giao thoa trong mỗi tế bào.

Kết quả trong Hình 3 cho ta thấy khả năng chống nhiễu

tốt của phương pháp BD-nullspace so với BD. Tỷ lệ lỗi bit của phương pháp BD-nullspace là rất nhỏ, giảm theo sự giảm của tỉ số SNR, ở SNR bằng 14 dB trở đi, số bit lỗi bằng 0 (không có bit lỗi) trong khi ở phương pháp BD, số bit lỗi là rất lớn, tỷ lệ bit lỗi trên tổng số bit gần như không thay đổi theo SNR.



Hình 2. Dung lượng trung bình theo SNR cho kênh quang bá với cấu hình bảng ở tế bào 1

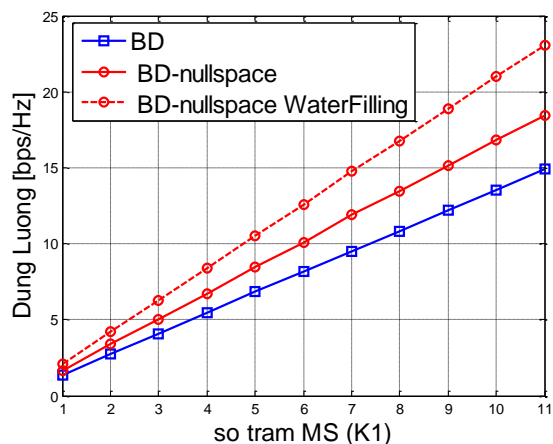


Hình 3. BER trung bình theo SNR cho kênh quang bá với cấu hình 1 ở tế bào 1

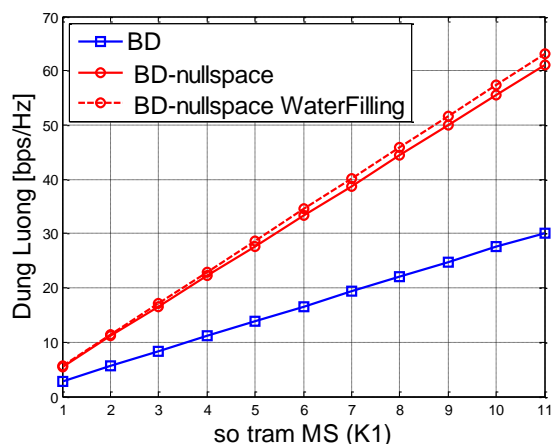
Hình 4, Hình 5 và Hình 6, so sánh dung lượng của tế bào 1 theo sự thay đổi của số MS tế bào 1 (K_1) ở 3 mức SNR khác nhau lần lượt là 0 dB, 10 dB và 20 dB. Các thông số còn lại cho trong Bảng 2. Từ các kết quả này, ta thấy rằng: sự vượt trội vẫn thuộc về phương pháp BD-nullspace khi đô thị mức tăng dung lượng có độ dốc lớn hơn hẳn so với BD. Hơn nữa, ở mức SNR càng cao thì sự khác biệt càng lớn. Sự hiệu quả của việc phân bổ công suất theo tính chất kênh truyền (Water Filling) so với phân bổ đều cũng được thể hiện, rõ nhất là ở các mức SNR thấp (tức là nhiễu lớn).

Bảng 2. Các thông số hệ thống cho Hình 4, 5 và 6

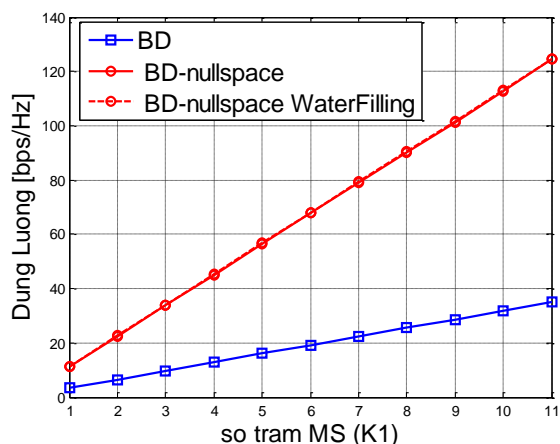
Số MS tế bào 2 (K_2)	2
Số anten trạm MS tế bào 1 ($N_{1,k}$)	2
Số anten trạm MS tế bào 2 ($N_{2,k}$)	2
Số anten trạm BS tế bào 1 ($N_{1,B}$)	$K_1 N_{1,k} + K_2 N_{2,k}$



Hình 4. Dung lượng theo số thuê bao khi SNR=0dB



Hình 5. Dung lượng theo số thuê bao khi SNR=10dB



Hình 6. Dung lượng theo số thuê bao khi SNR=20dB.

5. Kết luận

Bài báo đã đề xuất phương pháp precoding và postcoding để nâng cao chất lượng và dung lượng của hệ thống MIMO đa người dùng đa tế bào. Với các ma trận tiền mã hoá được thiết kế, các giao thoa liên tế bào và liên người dùng được khử khá triệt để khi số anten phát của BS lớn hơn bằng với tổng số anten thu của tất cả các MS nhận được tín hiệu từ BS này. Hiệu quả của phương pháp đề xuất cũng được thể hiện qua kết quả mô phỏng thông qua hai tiêu chí quan trọng là BER và dung lượng hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 3GPP TR 36.871 V11.0.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Downlink Multiple Input Multiple Output (MIMO) enhancement for LTE-Advanced (Release 11)".
- [2] F. Boccardi, B. Clerckx, A. Ghosh, E. Hardouin, G. Jongren, K. Kusume, E. Onggosanusi, Y. Tang, "Multiple-Antenna Techniques in LTE-Advanced," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 50, no. 3, Mar. 2012, pp. 114-121.
- [3] R. Zhang and L. Hanzo, "Joint and Distributed Linear Precoding for Centralised and Decentralised Multicell Processing," 2010.
- [4] S.-H. Park and I. Lee, "Degrees of freedom and sum rate maximization for two mutually interfering broadcast channels," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, Dresden, Germany, June 2009.
- [5] C. Suh, M. Ho, and D. N. C. Tse, "Downlink interference alignment," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, no. 9, pp. 2616-2626, 2011.
- [6] Shim, Seijoon, et al. "Block diagonalization for multi-user MIMO with other-cell interference." *Wireless Communications*, IEEE Transactions on 7.7 (2008): 2671-2681.
- [7] Tang, Jie, and Sangarapillai Lambotharan. "Interference alignment techniques for MIMO multi-cell interfering broadcast channels." *Communications*, IEEE Transactions on 61.1 (2013): 164-175.
- [8] Cho, Yong Soo, et al. *MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB*. John Wiley & Sons, 2010.
- [9] Spencer, Quentin H., A. Lee Swindlehurst, and Martin Haardt. "Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multiuser MIMO channels." *Signal Processing*, IEEE Transactions on 52.2 (2004): 461-471.
- [10] KAVIANI, Saeed; KRZYMIEN, Witold A. On the optimality of multiuser zero-forcing precoding in MIMO broadcast channels. In: *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th. IEEE*, 2009. p. 1-5.

(BBT nhận bài: 12/05/2014, phân biện xong: 01/07/2014)