



## پرتوسازی در سیستم های چندکاربره MIMO MC-CDMA با استفاده از SVD گروهی

مرتضی رجب زاده<sup>۱</sup> و حسین ضمیری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق

<sup>۲</sup> دانشگاه فردوسی مشهد، مرکز پژوهشی مخابرات و کامپیوتر

[morteza.rajabzadeh@ieee.org](mailto:morteza.rajabzadeh@ieee.org), [hzamiri@ferdowsi.um.ac.ir](mailto:hzamiri@ferdowsi.um.ac.ir)

چکیده - در این مقاله ساختار جدیدی برای پرتوسازی در سیستم های MIMO MC-CDMA چندکاربره در حالت فروسو ارائه شده است که عملکرد بهتری در برابر دو عامل تداخل چندکاربره (MUI) و تداخل هم کانال (ICI) دارد. در این ساختار برای حذف ICI از پرتوسازی مشترک در فرستنده و گیرنده مبتنی بر SVD استفاده می شود و حذف MUI نیز بر استفاده از کدهای متعامد استوار است. ساختار پیشنهادی با افزایش تعداد زیرحامل ها و استفاده از شباهت کانال ها در زیرحامل های همسایه، بر کارایی ترکیب دو ابزار فوق می افزاید. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که در مقایسه با سیستم مرسوم MIMO MC-CDMA که بدون افزایش تعداد زیرحامل ها از دو ابزار فوق استفاده می کند، ساختار پیشنهادی دارای عملکرد بهتری در محیط های چندکاربره می باشد.

کلید واژه- پرتوسازی، SVD، سیستم های چندرودی-چندخروجی، MC-CDMA

### ۱- مقدمه

زیرحامل های ایجاد شده به وسیله OFDM ارسال می شوند، این کار نیاز به گیرنده های پیچیده مورد استفاده در سیستم CDMA را در کانال هایی که تحت تاثیر چندراهی<sup>۵</sup> قرار دارند، مرتفع می کند. استفاده کارآمد از تعامد کد ها در سیستم MC-CDMA کاملاً وابسته به از بین بردن اثر زیرکانال ها بر هر یک از چیپ های ارسالی می باشد [۱]. این مساله خود را در سیستم های چندرودی-چندخروجی MC-CDMA بیشتر نشان می دهد، زیرا تداخل ایجاد شده توسط آنتن های مختلف فرستنده (ICI<sup>۶</sup>) تعامد کدها در زیرحامل ها را از بین برده و باعث از بین رفتن تاثیر گسترش<sup>۷</sup> بوسیله کد در حذف MUI<sup>۸</sup> می شود.

برای حذف تداخل بین آنتنی می توان از الگوریتم های پرتوساز استفاده کرد که با تغییر الگوی تشعشعی آنتن، پرتوی با بهره بالا در جهت سیگنال مطلوب ایجاد می کنند.

امروزه افزایش سرعت مبادله اطلاعات و قابلیت اطمینان بیشتر، مورد توجه طراحان مخابراتی است. استفاده از سیستم های چندرودی-چندخروجی (MIMO<sup>۱</sup>) یکی از روش هایی است که برای انتقال سریع داده پیشنهاد شده و در آن فرستنده و گیرنده از مجموعه ای از آنتن ها استفاده می کنند [۱]. همچنین تکنیک MC-CDMA<sup>۲</sup> به عنوان روشی بسیار مناسب برای به کارگیری در کانال های پهن باند چندکاربره مطرح است. این روش ترکیبی از سیستم های OFDM<sup>۳</sup> و CDMA<sup>۴</sup> بوده و از مزایای هر دو بهره می برد [۲]. سیستم OFDM کانال پهن باند فرکانس گزین را به مجموعه ای از زیرکانال های تخت تبدیل کرده و سیگنال های داده را به صورت موازی و مستقل در آن ها ارسال می کند. در سیستم MC-CDMA چیپ های حاصل از گسترش سمبل های داده به روش CDMA بر روی

<sup>5</sup> Multipath

<sup>6</sup> Interchannel Interference

<sup>7</sup> Spreading

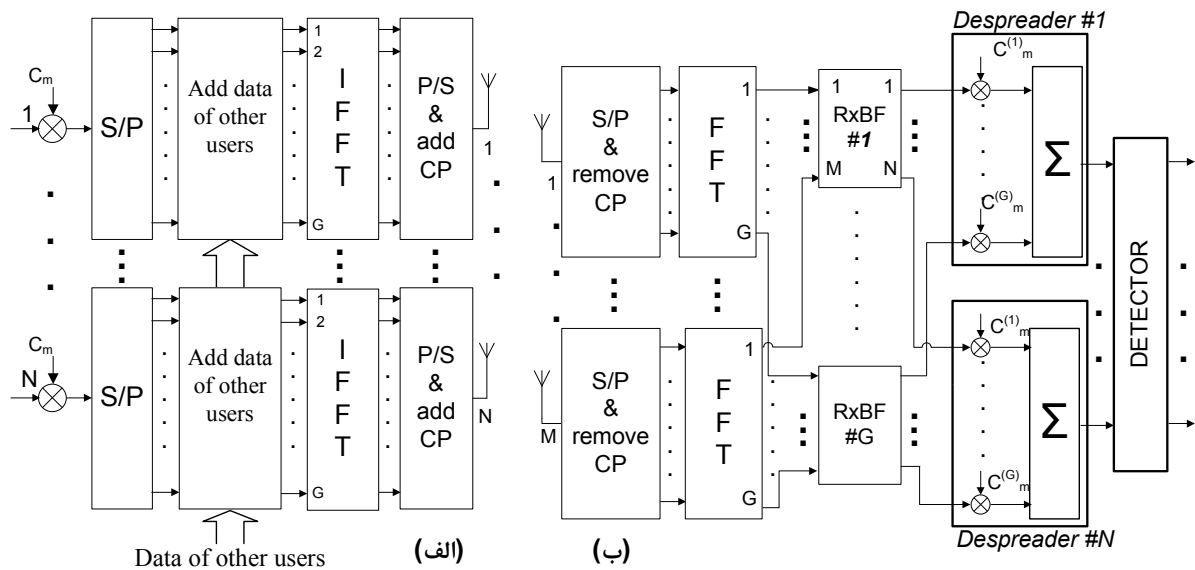
<sup>8</sup> MultiUser Interference

<sup>1</sup> Multiple Input-Multiple Output

<sup>2</sup> Multicarrier-Code Division Multiple Access

<sup>3</sup> Orthogonal Frequency Division Multiplexing

<sup>4</sup> Code Division Multiple Access



شکل ۱: الف- بلوک دیاگرام فرستنده مرکزی سیستم MIMO MC-CDMA (بدون نمایش بلوک پرتوساز)، ب- گیرنده کاربر  $m$  ام

کار رفته بیشتر حفظ می شود و در نتیجه MUI و ICI به نحو موثرتری حذف می شود.

ساماندهی مقاله به این صورت است که در بخش بعد مدل کلی سیستم MIMO MC-CDMA و ساختار مرسوم پرتوسازی بر مبنای SVD در آن ارائه می شود. قالب پیشنهادی برای پرتوسازی در بخش سوم معرفی می شود. نتایج شبیه سازی در بخش چهارم بیان می شود و بخش پنجم نیز به نتیجه گیری اختصاص می یابد. در این مقاله بردارها و ماتریس ها به ترتیب با حروف کوچک و بزرگ توپر نشان داده می شوند، همچنین  $(.)^T$  نشان دهنده عملگر ترانپوز و  $(.)^H$  نشان دهنده عملگر ترانپوز مزدوج می باشد.

## ۲- مدل سیستم MIMO MC-CDMA

مدل کلی یک سیستم فرسوی<sup>۱۰</sup> MIMO MC-CDMA در شکل ۱ آمده است. سیستم دارای  $N$  آنتن فرستنده و  $M$  آنتن گیرنده بوده و داده های  $K$  کاربر به طور همزمان ارسال می شوند. طول بلوک IFFT نیز برابر  $L$  می باشد. تعریف می کنیم:

$$\mathbf{d}_m(n) = [d_{m,1}(n), d_{m,2}(n), \dots, d_{m,N}(n)]^T \quad (1)$$

که  $\mathbf{d}_m(n)$  بردار سمبل کاربر  $m$  ام در لحظه  $n$  با اندازه  $N \times 1$  می باشد. هر یک از سمبل های  $\mathbf{d}_m(n)$  جداگانه

از بهترین روش های پرتوسازی، استفاده از زیرماتریس های حاصل از تجزیه مقادیر تکین (SVD<sup>۹</sup>) است که به عنوان ماتریس وزن های پرتوساز در فرستنده و گیرنده مورد استفاده قرار می گیرند [۳]. اما وجود سیگنال کاربرهای دیگر در یک زیرحامل کارایی الگوریتم پرتوسازی فوق را در محیط های چندکاربره کاهش می دهد. برای بیشینه کردن ظرفیت در سیستم های MIMO چندکاربره، الگوریتم های پیش کدگذار از جمله کدینگ dirty paper [۴] معرفی شده اند. همین طور الگوریتم های دیگری نیز با مصالحه بین میزان حذف تداخل و پیچیدگی مانند پالایش zero-forcing [۵] مورد استفاده قرار گرفته اند. در [۶] برای محاسبه ظرفیت در سیستم های چندکاربره MIMO MC-CDMA از SVD استفاده شده است. در این مقاله ساختار جدیدی برای پرتوسازی مبتنی بر SVD ارائه شده است که در مقایسه با ساختار مرسوم پرتوسازی مبتنی بر SVD، برای حذف MUI و ICI به صورت موثرتری به ترتیب از گسترش کد و ابزار SVD بهره می برد. این ساختار با تقسیم جریان اطلاعات به مسیره های موازی و افزایش تعداد زیرحامل ها نسبت به سیستم معمول MIMO MC-CDMA، طیف فرکانسی در دسترس را به زیرباندی تقسیم می کند. در این صورت کانال های زیرحامل های هر زیر باند شباهت بیشتری به هم خواهد داشت. بنابراین پس از پرتوسازی با استفاده از SVD در هر زیرحامل، تعامد کدهای گسترش به

<sup>10</sup> Downlink

<sup>9</sup> Singular Value Decomposition

$$\mathbf{H}_m^{(g)} = \mathbf{U}_m^{(g)} \cdot \mathbf{\Lambda}_m^{(g)} \cdot \mathbf{V}_m^{(g)H} \quad (5)$$

به طوری که  $\mathbf{U}_m^{(g)}$  و  $\mathbf{V}_m^{(g)}$  ماتریس های یکه به ابعاد  $M \times P$  و  $N \times P$  می باشند و  $\mathbf{\Lambda}_m^{(g)}$  نیز ماتریس قطری با بعد  $P \times P$  در برگیرنده مقادیر تکین  $\mathbf{H}_m^{(g)}$  می باشد:  $\mathbf{\Lambda}_m^{(g)} = \text{diag}(\lambda_1^{(g)}, \dots, \lambda_P^{(g)})$  که  $P = \min(M, N)$  رتبه ماتریس  $\mathbf{H}_m^{(g)}$  است،

برای از بین بردن اثر ICI ایجاد شده توسط  $\mathbf{H}_m^{(g)}$  در هر زیرحامل می توان از  $\mathbf{V}_m^{(g)}$  به عنوان ماتریس پرتوسازی در فرستنده (TxBF) و از  $\mathbf{U}_m^{(g)H}$  به عنوان ماتریس پرتوسازی در گیرنده (RxBF) بهره جست، بدین ترتیب با ارسال در گیرنده  $\tilde{\mathbf{s}}_m^{(g)} = \mathbf{V}_m^{(g)} \mathbf{s}_m^{(g)}$  به جای  $\mathbf{s}_m^{(g)}$ ، رابطه (۴) به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{x}}_m^{(g)} &= \mathbf{H}_m^{(g)} \cdot \sum_{k=1}^K \mathbf{V}_k^{(g)} \mathbf{s}_k^{(g)} + \xi_m^{(g)} \\ &= \mathbf{U}_m^{(g)} \cdot \mathbf{\Lambda}_m^{(g)} \cdot \mathbf{s}_m^{(g)} + \mathbf{H}_m^{(g)} \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^K \mathbf{V}_k^{(g)} \mathbf{s}_k^{(g)} + \xi_m^{(g)} \end{aligned} \quad (6)$$

با انجام پرتوسازی در گیرنده خواهیم داشت:

$$\mathbf{y}_m^{(g)} = \mathbf{\Lambda}_m^{(g)-1} \cdot \mathbf{U}_m^{(g)H} \tilde{\mathbf{x}}_m^{(g)} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_m^{(g)} &= \mathbf{s}_m^{(g)} + \mathbf{V}_m^{(g)H} \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^K \mathbf{V}_k^{(g)} \mathbf{s}_k^{(g)} \\ &\quad + \mathbf{\Lambda}_m^{(g)-1} \cdot \mathbf{U}_m^{(g)H} \xi_m^{(g)} \end{aligned} \quad (8)$$

پیش از آشکارسازی بایستی اثر کد را از بین ببریم:

$$\tilde{\mathbf{d}}_m = \frac{1}{G} \sum_{g=1}^G c_m^{(g)} \cdot \mathbf{y}_m^{(g)} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{d}}_m &= \mathbf{d}_m + \frac{1}{G} \sum_{g=1}^G c_m^{(g)} \cdot \left[ \mathbf{V}_m^{(g)H} \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^K \mathbf{V}_k^{(g)} \mathbf{s}_k^{(g)} \right. \\ &\quad \left. + \mathbf{\Lambda}_m^{(g)-1} \cdot \mathbf{U}_m^{(g)H} \xi_m^{(g)} \right] \end{aligned} \quad (10)$$

و سمبل  $\tilde{\mathbf{d}}_m$  به آشکارساز وارد می شود. همان طور که مشاهده می شود، ICI ایجاد شده توسط خود کاربر کاملاً حذف می شود اما اختلال کاربرهای دیگر (MUI) از بین نمی رود و علت آن هم حذف نشدن اثر کانال بین فرستنده

به وسیله بردار کد  $\mathbf{c}_m = [c_m^{(1)}, \dots, c_m^{(G)}]^T$  با طول  $G$  گسترده می شوند، در این سیستم طول بلوک IFFT برابر طول کد فرض می شود ( $L=G$ ). در این صورت پس از تبدیل از سریال به موازی، بردار داده در زیرحامل  $g$  ام به صورت زیر تشکیل می شود:

$$\mathbf{s}_m^{(g)}(n) = c_m^{(g)} \cdot \mathbf{d}_m(n) \quad g = 1, \dots, G \quad (2)$$

از طرف دیگر کانال مخابراتی MIMO فرکانس-گزین بین فرستنده مرکزی و کاربر  $m$  ام را می توان در حوزه فرکانس به صورت یک ماتریس بلوکی قطری [۳] نمایش داد:

$$\mathbf{H}_m = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_m^{(1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \mathbf{H}_m^{(2)} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \mathbf{H}_m^{(L)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

اندازه این ماتریس  $MG \times NG$  می باشد. عنصر بلوکی قطری  $g$  ام ماتریس فوق، نشانگر کانال تخت MIMO در زیرحامل  $g$  ام می باشد که بعد آن  $M \times N$  است.

در گیرنده کاربر  $m$  ام، بردار دریافتی برای زیرحامل  $g$  ام به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_m^{(g)}(n) &= \mathbf{H}_m^{(g)} \cdot \mathbf{s}_m^{(g)}(n) \\ &\quad + \mathbf{H}_m^{(g)} \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^K \mathbf{s}_k^{(g)}(n) + \xi_m^{(g)}(n) \end{aligned} \quad (4)$$

که  $\mathbf{x}_m^{(g)}(n) = [x_{m,1}^{(g)}(n), \dots, x_{m,M}^{(g)}(n)]^T$  می باشد، به طوری که  $x_{m,j}^{(g)}(n)$  سیگنال دریافتی توسط گیرنده کاربر  $m$  ام در اندیس زمانی  $n$  در آنتن  $j$  ام از زیرحامل  $g$  ام است.  $\xi_m^{(g)}(n)$  نیز بردار  $M \times 1$  نویز گوسی با میانگین صفر و ماتریس خودهمبستگی  $\mathbf{R}_{\xi} = \sigma_{\xi}^2 \mathbf{I}_M$  خواهد بود. در رابطه (۴)، ماتریس  $\mathbf{H}_m^{(g)}$  باعث تولید ICI می شود و عبارت دوم نیز نمایانگر تداخل چندکاربره (MUI) می باشد. از این به بعد برای ساده تر شدن روابط از اندیس زمانی  $n$  صرف نظر می کنیم.

## ۲-۱- پرتوسازی مبتنی بر SVD

تجزیه مقادیر تکین ماتریس کانال در زیرحامل  $g$  ام به این صورت است:

جمع شده و وارد بلوک IFFT با طول  $L = N_B N_S$  شده و ارسال می شوند. بردار دریافتی در گیرنده کاربر  $m$  به این صورت می باشد:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{m,b}^{(g)} = \mathbf{H}_{m,b}^{(g)} \sum_{k=1}^K \mathbf{v}_{k,b}^{(g)} s_{k,b}^{(g)} + \xi_{m,b}^{(g)} \quad (12)$$

پس از پرتوسازی در گیرنده و حذف اثر کد خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{d}}_{m,b} &= \mathbf{d}_{m,b} + \frac{1}{G} \sum_{g=1}^G c_m^{(g)} \cdot [\mathbf{v}_{m,b}^{(g)H} \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^K \mathbf{v}_{k,b}^{(g)} s_{k,b}^{(g)} \\ &+ \Lambda_{m,b}^{(g)-1} \cdot \mathbf{U}_{m,b}^{(g)H} \cdot \xi_{m,b}^{(g)}] \end{aligned} \quad (13)$$

در رابطه فوق، اثر کانال در زیرحامل های یک زیرباند (یعنی  $\mathbf{W}_{k,b}^{(g)} = \mathbf{V}_{m,b}^{(g)H} \mathbf{V}_{k,b}^{(g)}$ ) مربوط به یک زیرباند هستند که آن نیز بخشی از کل باند است. اما در رابطه (۱۰)، ضرایب  $W_{mk}^{(g)}$  مربوط به کل باند فرکانسی می شوند. لذا در مقایسه با رابطه (۱۰)، تعامد کدها در رابطه (۱۳) بهتر برقرار است و به همین دلیل MUI بهتر حذف می شود.

### ۳-۱- حالت آرمانی

اگر بتوان زیرحامل ها را تا اندازه ای افزایش داد که کانال زیرحامل های یک زیرباند با هم برابر باشند:

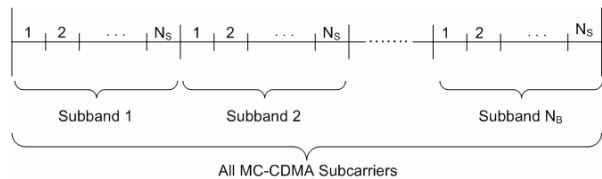
$$\begin{aligned} \mathbf{H}_{m,b}^{(g)} &= \mathbf{H}_{m,b} \\ \mathbf{V}_{m,b}^{(g)} &= \mathbf{V}_{m,b} \quad g = 1, \dots, G \end{aligned} \quad (14)$$

در این صورت تعامد کدها در زیرحامل های یک زیرباند برقرار بوده و MUI به طور کامل حذف می شود، بدین ترتیب کافی است که پرتوسازی فقط در یک زیرباند انجام شود و با حذف ICI بوسیله پرتوسازی عملکرد سیستم چندکاربره با حالت تک کاربره یکسان خواهد بود و رابطه (۱۳) به این صورت درخواهد آمد:

$$\tilde{\mathbf{d}}_{m,b}^{\text{ideal}} = \mathbf{d}_{m,b} + \frac{1}{G} \sum_{g=1}^G c_m^{(g)} \cdot [\Lambda_{m,b}^{(g)-1} \cdot \mathbf{U}_{m,b}^{(g)H} \cdot \xi_{m,b}^{(g)}] \quad (15)$$

### ۳-۲- پرتوسازی مبتنی بر SVD گروهی

با وجود مزیت ساختار پیشنهادی از لحاظ حذف تداخل نسبت به سیستم مرسوم، حجم محاسبات موردنیاز آن بالاتر است، زیرا با افزایش تعداد زیرحامل ها با نسبت  $N_B$  نسبت



شکل ۲: طیف کانال سیستم MC-CDMA

و کاربر  $m$  از روی سیگنال ارسال شده کاربر  $k$  ام (یعنی  $W_{mk}^{(g)} = \mathbf{V}_m^{(g)H} \cdot \mathbf{V}_k^{(g)}$ ) می باشد. هرچه اثر کانال بر چیپ-های یک کد (ضرایب  $W_{mk}^{(g)}$ ) شباهت بیشتری به هم داشته باشند، حذف تداخل بین کاربری با استفاده از عملیات گسترش زدایی (despreading) نیز موثرتر خواهد بود.

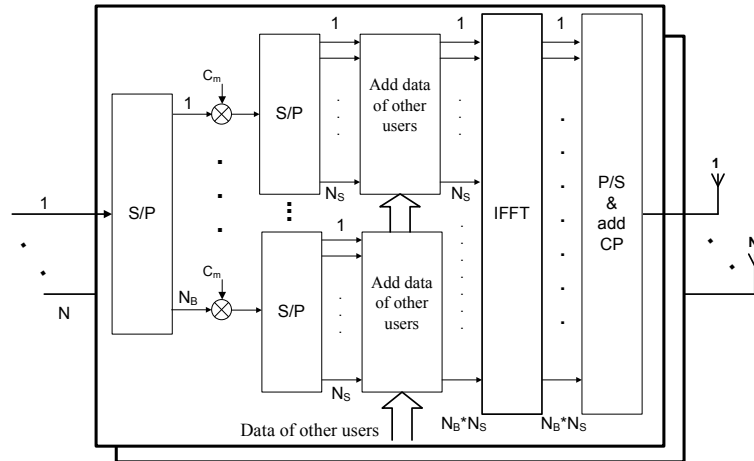
### ۳- ساختار پیشنهادی برای سیستم چندرودی -

#### چندخروجی MC-CDMA

در این ساختار، برای افزایش شباهت اثر کانال بر روی چیپ های یک کد، بدون آن که پهنای باند در دسترس افزایش پیدا کند، تعداد زیرحامل ها به  $N_B$  برابر افزایش یافته و کل باند فرکانسی به چند زیرباند تقسیم می شود. به این ترتیب یک سمبل به جای گسترش یافتن در کل باند تنها در یک زیرباند گسترش می یابد. این مدل در شکل ۲ نشان داده شده است. در این صورت، نسبت به ساختار مرسوم معرفی شده در بخش ۲-۱، اثر کانال های MIMO در زیرحامل های یک زیرباند شباهت بیشتری به هم خواهد داشت. لذا پس از پرتوسازی مبتنی بر SVD، تعامد کدها در زیرحامل ها بیشتر حفظ می شود و اثر MUI بهتر حذف می شود. مدل اصلاح شده فرستنده سیستم MIMO MC-CDMA بدون در نظر گرفتن بلوک پرتوساز در شکل ۳ آمده است. در این سیستم بردار سمبل  $\mathbf{d}_k$  ابتدا از حالت سریال به  $N_B$  مسیر موازی تبدیل می شود. بردار تشکیل شده در هر یک از مسیرهای موازی که آن را  $\mathbf{d}_{k,b}$  فرض می کنیم، به وسیله یک کد متعامد با طول  $N_S$  گسترده می شود، برای قابل مقایسه بودن دو سیستم  $N_S$  را برابر  $G$  فرض می کنیم. بدین ترتیب بردار داده در زیرحامل  $g$  از زیرباند  $b$  برای کاربر  $m$  به صورت زیر بیان می شود:

$$\begin{aligned} \mathbf{s}_{m,b}^{(g)} &= c_m^{(g)} \cdot \mathbf{d}_{m,b} & g &= 1, \dots, N_S \\ & & b &= 1, \dots, N_B \end{aligned} \quad (11)$$

بردارهای داده کاربرها پس از پرتوسازی در فرستنده با هم



شکل ۳: ساختار فرستنده پیشنهادی (بدون نمایش بلوک پرتوساز)

پرتوسازی در همه زیرحامل های یک زیرباند به صورت مجزا انجام می شود. در ساختار سوم (Ideal) کانال مخابراتی برای تمام زیرحامل های یک زیرباند یکسان فرض می شود و در ساختار چهارم (Group SVD)، پرتوسازی به صورت گروهی و با توجه به توضیحات بخش ۳-۲ انجام می شود. فرستنده مرکزی با  $N = 2$  آنتن دنباله سمبل های مستقل و با توزیع یکنواخت را برای  $K$  کاربر با مدولاسیون QPSK ارسال می کند. تعداد آنتن های گیرنده  $M = 2$  می باشد. کد گسترش به کاررفته، کد متعامد Walsh-Hadamard با طول  $G$  می باشد. کانال ارتباطی بین فرستنده و گیرنده فرکانس گزین تارکننده و دارای گسترش تاخیر نمایی با حداکثر ۸ مسیر است. تمام نتایج با میانگین گیری بر روی ۱۰۰ تحقق پذیری مستقل کانال مخابراتی بدست آمده اند. شکل ۴ نرخ خطای بیت را برحسب SNR بر زیرحامل بر آنتن در حضور MUI نشان می دهد. همان طور که انتظار می رفت، در حالت آرمانی MUI کاملاً حذف می شود و منحنی های تک و چندکاربره سیستم آرمانی بر هم منطبق می شوند، در ضمن نمودار آن به عنوان یک حد پایین برای نرخ خطا محسوب می شود. عملکرد ساختار پیشنهادی در حالت تک کاربره با سیستم اولیه یکسان است. اما در حضور MUI حالی که احتمال خطای سیستم کلی سریعاً به اشباع می رود، ساختار پیشنهادی کارایی خوبی را در حذف تداخل از خود نشان می دهد. شکل ۵ مقایسه عملکرد گونه های مختلف ساختار پیشنهادی را نشان می دهد. در ساختار Group SVD، اعمال مولفه های SVD برای همه زیرحامل های یک زیرباند فقط یک بار انجام می شود و این مساله حجم محاسبات را کاهش می دهد اما ICI باقیمانده باعث می شود که در SNRهای بالا نمودار آن به اشباع برسد. در شکل ۶ عملکرد هر چهار ساختار تحت شرایط تمام بار (full-load) آورده شده است. از آن جا که در این حالت

به حالت قبل، تعداد بلوک های پرتوساز مورد نیاز نیز به همان نسبت افزایش می یابد. برای کاهش حجم محاسبات در ساختار پیشنهادی می توان به جای اعمال SVD در تک زیرحامل ها، SVD را به صورت گروهی انجام داد. مسلماً هر چه کانال زیرحامل های یک گروه به هم شبیه تر باشد، اثربخشی این روش بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر با توجه به روابط (۱۰) و (۱۳) می توان دریافت که تنها دلیل از بین رفتن تعامد کدها در گیرنده تفاوت کانال های زیرحامل ها نیست بلکه تفاوت ماتریس وزن پرتوسازها در زیرحامل ها خود باعث از بین رفتن تعامد می شود. نتیجتاً، SVD گروهی با وجود آن که ICI کاربر مطلوب را کاملاً حذف نمی کند، در مواقعی که اثر MUI غالب است، عملکرد خوبی را در حذف تداخل نشان می دهد.

#### ۴- نتایج شبیه سازی

در این بخش عملکرد چهار ساختار مختلف برای پرتوسازی در سیستم MIMO MC-CDMA از لحاظ BER با هم مقایسه می شوند. ساختار اول (Structure 1)، ساختار مرسوم بیان شده در بخش ۲-۱ می باشد. در این ساختار،  $G = 16$  فرض شده است. به همین دلیل برای طول بلوک FFT و همچنین پیشینه کاربر مجاز در سیستم خواهیم داشت:  $L = K = 16$ . سه ساختار دیگر گونه های مختلف ساختار پیشنهادی می باشند. در حالت کلی در ساختار پیشنهادی برای آن که هر زیرباند را بتوان همتراز یک زیرحامل سیستم اصلی در نظر گرفت، فرض می کنیم:  $N_B = N_S = G = 16$  و در نتیجه:  $L = N_B \cdot N_S = 256$ . به این ترتیب طیف موردنیاز، نرخ بیت ارسال و توان ارسال ساختار مرسوم و پیشنهادی یکسان خواهند بود. با در نظر گرفتن توضیحات بالا در ساختار دوم (Structure 2)

به این نکته نیز باید توجه کرد که با کوچک تر کردن تعداد زیرکانال های یک گروه و با انجام مصالحه بین حجم محاسبات و عملکرد، می توان به نتایج بهتری نیز برای SVD گروهی دست یافت.

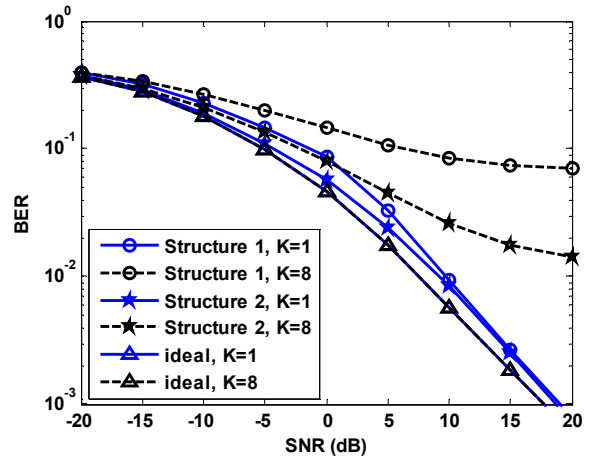
### ۵- نتیجه گیری

در این مقاله ساختار جدیدی برای پرتوسازی مبتنی بر SVD در سیستم های چندکاربره MIMO MC-CDMA ارائه شد. اساس این طرح بر افزایش تعداد زیرحامل های کانال و تقسیم کل طیف به چند زیرباند استوار است. به دلیل شباهت کانال در زیرحامل های یک زیرباند پس از حذف ICI توسط پرتوسازی، تعامد کدهای گسترش بیشتر حفظ می شود. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که در مقایسه با استفاده از پرتوسازی مبتنی بر SVD در سیستم مرسوم MIMO MC-CDMA، ساختار پیشنهادی فوق کارایی بیشتری در حذف تداخل چندکاربره و بین آنتنی دارد. همچنین استفاده از پرتوسازی SVD گروهی علاوه بر کاهش حجم محاسبات، عملکرد حذف تداخل را بهبود می بخشد.

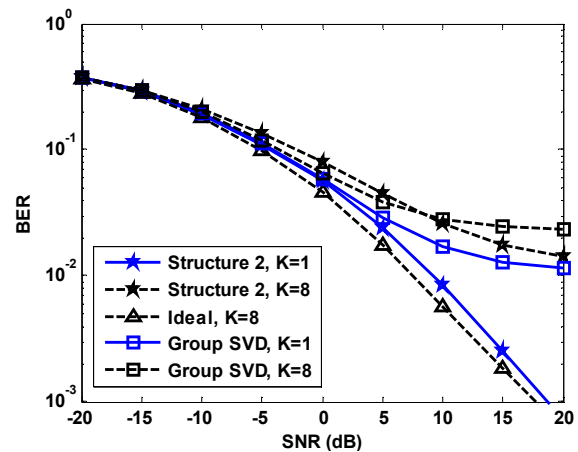
### مراجع

- [1] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas," *Wireless Personal CommunicationS: an Int'l Journal*, vol. 6, No.3, pp. 311-335, 1998.
- [2] S. Hara and R. Prasad, "Design and performance of multicarrier CDMA in frequency selective rayleigh fading channels," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol. 48, No.5, pp.1584-1595, Sep. 1999.
- [3] H. Zamiri-Jafarian, S. Bokharaiee-Najafee and S. Pasupathy, "EM bsaed semiblind beamforming algorithm in MIMO-OFDM systems," *IEEE PACRIM2007*, pp. 190-193, August 2007.
- [4] M. Costa, "Writing on dirty paper", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 29, pp. 439-441, May 1983.
- [5] T. Salzer, A. Silva, A. Gamiero and D. Mottier, "Pre-filtering using antenna arrays for multiple access interference mitigation in multi-carrier CDMA downlink," in *Proc. IST Mobile and Wireless Communications Summit*, pp. 175-179, June 2003.
- [6] E. S. Lo, P. W. C. Chan, V. K. N. Lau, R. S. Cheng, K. B. Letaief, R. D. Murch, and W. H. Mow, "Adaptive resource allocation and capacity comparison of downlink multiuser MIMO-MC-CDMA and MIMO-OFDMA", *IEEE Trans. on Wireless Com.*, Vol. 6, No. 3, pp. 1083-1093, March 2007.

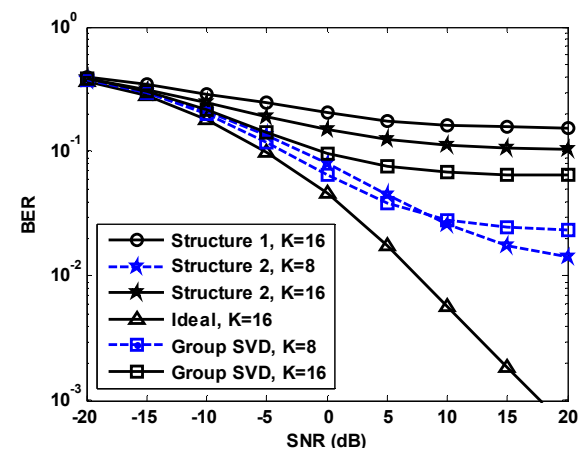
تداخل غالب MUI می باشد، بهترین نتیجه مربوط به SVD گروهی است.



شکل ۴: نرخ خطای بیت بر حسب SNR برای ساختار مرسوم، ساختار پیشنهادی و حالت آرمانی برای  $M=N=2$  و  $K=1,8$ .



شکل ۵: نرخ خطای بیت بر حسب SNR برای گونه های مختلف ساختار پیشنهادی برای  $M=N=2$  و  $K=1,8$ .



شکل ۶: نرخ خطای بیت بر حسب SNR برای  $M=N=2$  تحت شرایط تمام بار.