

## پرتوسازی همکارانه در سیستم رادیو شناختمند MIMO فراسو

محسن عباسی جنت آباد<sup>۱</sup>، حسین ضمیری جعفریان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه فردوسی مشهد، مرکز پژوهشی مخابرات و کامپیوتر، mo\_ab151@stu-mail.um.ac.ir

<sup>۲</sup>دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق، hzamiri@um.ac.ir

چکیده - در این مقاله، پرتوسازی همکارانه در مسیر فراسوی سیستم رادیو شناختمند چند ورودی چند خروجی بررسی و الگوریتم نوینی ارائه می‌گردد. در این الگوریتم در راستای افزایش کارایی پهنای باند، نخست کیفیت سرویس کاربر اختصاصی تضمین می‌شود. سپس در صورت رسیدن به کیفیت سرویس مورد نیاز کاربر اختصاصی، نسبت مجموع سیگنال به مجموع تداخل بعلاوه نویز کاربران غیر اختصاصی بیشینه می‌گردد. چنانچه کیفیت سرویس کاربر اختصاصی تأمین نشود، الگوریتم پیشنهادی، به کاربران غیر اختصاصی سرویس نمی‌دهد تا توان تداخلی کاربران غیر اختصاصی روی سیگنال کاربر اختصاصی کاهش یافته و کیفیت سرویس کاربر اختصاصی تأمین گردد. بهینه سازی پرتوسازی بر مبنای بردارهای ویژه ناشی از تجزیه ماتریس کانال‌ها بر اساس مقادیر ویژه انجام می‌گیرد. تحلیل کارایی الگوریتم پیشنهادی به همراه نتایج شبیه سازی ارائه می‌گردد. نتایج شبیه سازی نشان دهنده کارکرد خوب الگوریتم پیشنهادی است.

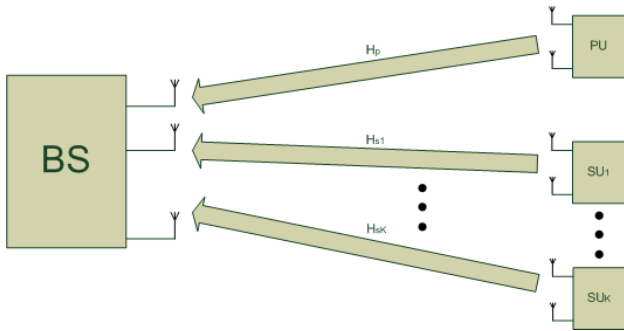
کلید واژه- سیستم رادیو شناختمند، پرتوسازی فراسو، کاربر اختصاصی (PU) و غیر اختصاصی (SU)

### ۱- مقدمه

توجه به قیدهای حداکثر آستانه توان تداخل ایجاد شده برای PU و حد مجاز توان ارسالی هر SU است. ملاک دوم بیشینه کردن کمینه نسبت سیگنال به نویز بعلاوه تداخل (SINR) SU ها، با توجه به قیدهای قبلی است. در مقاله [۳]، مسئله پرتوسازی و تخصیص توان در شبکه رادیو شناختمند با ساختار چند ورودی یک خروجی (MISO) در مسیر فراسو با هدف کمینه کردن توان ارسالی با توجه به قیدهای حداکثر آستانه توان تداخل ایجاد شده برای PU و SINR کاربران SU در نظر گرفته شده است. در مقاله [۴] مسئله بیشینه کردن نرخ ارسال SU ها با قیدهای حداکثر آستانه توان تداخل ایجاد شده برای PU و SINR کاربران SU برای دو سناریوی متفاوت مطالعه شده است. در سناریوی اول با فرض این که تمام SU ها با کیفیت سرویس مورد نیاز پشتیبانی می‌شوند، با استفاده از بهینه سازی هندسی مسئله حل می‌گردد. در سناریوی دوم، SU هایی که SINR آنها از آستانه کمتر است، پشتیبانی نمی‌شوند و با تعریف تقدم SU ها و تابع سود شبکه، با انتخاب بهترین SU ها برای بیشینه کردن تابع سود شبکه، بهینه سازی نرخ بیت انجام می‌شود. در مقاله [۵] الگوریتم پرتوسازی همکارانه و تخصیص توان در مسیر فراسوی سیستم رادیو شناختمند چند ورودی چند خروجی (MIMO) با هدف بیشینه کردن نسبت مجموع سیگنال به مجموع تداخل بعلاوه

شبکه رادیو شناختمند با هدف بهبود کارایی طیف فرکانسی، امکان دسترسی کاربران غیر اختصاصی (SU) به پهنای باند کاربران اختصاصی (PU) را فراهم می‌کند. برای این منظور دو راهکار مطرح است. در روش اول هنگامی که PU ها از طیف استفاده نمی‌کند، پهنای باند مربوطه به SU ها اختصاص داده می‌شود. در روش دوم امکان دسترسی همزمان PU ها و SU ها به طیف وجود دارد، به شرطی که توان تداخلی SU ها برای PU ها از حد آستانه مشخصی کوچکتر باشد. به عبارت دیگر در این روش به دلیل تقدم PU ها بایستی کیفیت سرویس آنها تضمین شده باشد [۱].

در سال‌های اخیر به منظور تضمین کیفیت سرویس مورد نیاز PU ها همراه با استفاده کارا از پهنای باند، تکنیک‌های پرتوسازی با ملاک‌های مختلفی ارائه شده است. در مقاله [۲]، پرتوسازی و تخصیص توان در شبکه رادیو شناختمند با ساختار یک ورودی چند خروجی (SIMO) در مسیر فراسو و دو ملاک بهینه سازی بررسی شده است. در مدل این مقاله یک ایستگاه پایه برای سرویس دهی کاربران اختصاصی و غیر اختصاصی در نظر گرفته شده است. ملاک اول بیشینه کردن ظرفیت SU ها، با



شکل ۱: مدل سیستم.

توان ارسالی PU و  $i$  امین SU به ترتیب  $\mathbf{v}_p$  و  $\mathbf{v}_{s_i}$  می باشد.  $(.)^H$  نشان دهنده عمل ترانپوز مختلط است. سیگنال دریافتی BS برای PU و  $i$  امین SU به ترتیب  $\mathbf{y}_p$  و  $\mathbf{y}_{s_i}$  بصورت زیر می باشند.

$$\mathbf{y}_p = \mathbf{u}_p^H \left( \mathbf{H}_p \mathbf{x}_p + \sum_{i=1}^K \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{x}_{s_i} + \mathbf{n} \right) \quad (3)$$

$$= \mathbf{u}_p^H \mathbf{H}_p \mathbf{v}_p s_p + \sum_{i=1}^K \mathbf{u}_p^H \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{v}_{s_i} s_{s_i} + \mathbf{u}_p^H \mathbf{n}$$

$$\mathbf{y}_{s_i} = \mathbf{u}_{s_i}^H \left( \mathbf{H}_p \mathbf{x}_p + \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{x}_{s_i} + \sum_{j=1, j \neq i}^K \mathbf{H}_{s_j} \mathbf{x}_{s_j} + \mathbf{n} \right) \quad (4)$$

$$= \mathbf{u}_{s_i}^H \mathbf{H}_p \mathbf{v}_p s_p + \mathbf{u}_{s_i}^H \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{v}_{s_i} s_{s_i} + \sum_{j=1, j \neq i}^K \mathbf{u}_{s_i}^H \mathbf{H}_{s_j} \mathbf{v}_{s_j} s_{s_j} + \mathbf{u}_{s_i}^H \mathbf{n}$$

که در آن  $\mathbf{u}_p$  و  $\mathbf{u}_s$  به ترتیب بردارهای نرمالیزه پرتوسازی BS برای PU و  $i$  امین SU هستند.  $\mathbf{H}_p$  کانال بین BS و PU و  $\mathbf{H}_{s_i}$  کانال بین  $i$  امین SU و BS است.  $\mathbf{n}$  نیز نویز در ابتدای گیرنده BS می باشد. با توجه به روابط (۳) و (۴)،  $SINR_{PU}$  و  $SINR_{SU}$  به ترتیب بصورت روابط زیر می باشند.

$$SINR_{PU} = \frac{\mathbf{v}_p^H \mathbf{H}_p^H \mathbf{u}_p \mathbf{u}_p^H \mathbf{H}_p \mathbf{v}_p}{\sum_{i=1}^K \mathbf{v}_{s_i}^H \mathbf{H}_{s_i}^H \mathbf{u}_p \mathbf{u}_p^H \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{v}_{s_i} + N} \quad (5)$$

$$SINR_{SU_i} = \frac{\mathbf{v}_{s_i}^H \mathbf{H}_{s_i}^H \mathbf{u}_{s_i} \mathbf{u}_{s_i}^H \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{v}_{s_i}}{\mathbf{v}_p^H \mathbf{H}_p^H \mathbf{u}_{s_i} \mathbf{u}_{s_i}^H \mathbf{H}_p \mathbf{v}_p + g_{li} + N} \quad (6)$$

که در آن  $\mathbf{N} = \mathbf{u}_p^H E[\mathbf{nn}^H] \mathbf{u}_p = \mathbf{u}_{s_i}^H E[\mathbf{nn}^H] \mathbf{u}_{s_i}$  توان نویز PU و  $i$  امین SU بعد از پرتوسازی در گیرنده است. نماد  $E[.]$  نشان دهنده امید ریاضی است. همچنین  $g_{li}$  بصورت زیر می باشد.

نویز SU ها با قیدهای (۱) بیشینه توان ارسالی محدود، (۲) کمینه SINR مورد نیاز جهت تضمین کیفیت سرویس PU و (۳) SINR یکسان برای تمام SU ها پیشنهاد شده است. در مقاله [۶] الگوریتم مشابه با [۵] در سیستم شناختمند با ساختار MIMO-OFDMA پیشنهاد شده است. برای این منظور ابتدا در هر زیر کانال بهترین SU انتخاب شده و سپس نسبت سیگنال به تداخل بعلاوه نویز SU ها روی تمام زیر کانال ها و اسلات های زمانی در چارچوب کمینه SINR مورد نیاز PU، بیشینه می گردد.

در این مقاله، مسئله پرتوسازی در مسیر فراسوی سیستم رادیو شناختمند MIMO با ملاک جدیدی بررسی و الگوریتم نوینی ارائه می گردد که در چارچوب آستانه ای برای نسبت سیگنال به نویز بعلاوه تداخل PU ( $SINR_{PU}$ ) کیفیت سرویس آن را تضمین کرده و نسبت مجموع سیگنال به مجموع تداخل بعلاوه نویز SU ها ( $TSINR$ ) را بیشینه می کند. این الگوریتم، با توجه به تقدم PU، ابتدا  $SINR_{PU}$  را تضمین می کند. سپس  $TSINR$  را بیشینه می کند. چنانچه با پرتوسازی کارا  $SINR_{PU}$  به حد آستانه مورد نیاز نرسد، به SU ها اجازه ارسال داده نشده و فقط به PU سرویس داده می شود.

در ادامه، نخست در بخش ۲ سیستم رادیو شناختمند MIMO مبنی بر بردارهای پرتوسازی گیرنده و فرستنده مدل سازی می گردد. بخش ۳ به بررسی روش بهینه سازی، ملاک و قیود مربوطه می پردازد. نتایج شبیه سازی در بخش ۴ آورده خواهد شد و سرانجام، بخش ۵ به نتیجه گیری و جمع بندی می پردازد.

## ۲- مدل سیستم و سیگنال ها

مسیر فراسوی سیستم رادیو شناختمند MIMO با یک کاربر PU و K کاربر SU در شکل ۱ نشان داده شده است. PU و  $i$  امین SU ( $SU_i$ ) به ترتیب دارای  $N_p$  و  $N_{s_i}$  آنتن فرستنده و ایستگاه پایه (BS) به  $M$  آنتن گیرنده مجهز می باشد. سیگنال ارسالی PU ( $\mathbf{x}_p$ ) و  $i$  امین SU ( $\mathbf{x}_{s_i}$ ) به ترتیب عبارتند از:

$$\mathbf{x}_p = \mathbf{v}_p s_p \quad (1)$$

$$\mathbf{x}_{s_i} = \mathbf{v}_{s_i} s_{s_i} \quad (2)$$

که در آن  $\mathbf{v}_p$  و  $\mathbf{v}_{s_i}$  به ترتیب بردارهای پرتوسازی PU و  $i$  امین SU،  $s_p$  و  $s_{s_i}$  به ترتیب سمبل های ارسالی PU و  $i$  امین SU بوده و از یکدیگر مستقل می باشند. توان هر یک از سمبل های ارسالی برابر واحد فرض می شود.

منظور از  $\mathbf{I}_N$  ماتریس همانی  $N \times N$  است. با استفاده از تجزیه  $\mathbf{G}_{2i} = \mathbf{\Gamma}_i^H \mathbf{\Gamma}_i$  داریم.

$$\sum_{i=1}^K g_{li} + N = \sum_{i=1}^K \mathbf{v}_{s_i}^H \mathbf{\Gamma}_i^H \mathbf{\Gamma}_i \mathbf{v}_{s_i} = \sum_{i=1}^K \mathbf{f}_i^H \mathbf{f}_i \quad (12)$$

که در آن  $\mathbf{f}_i = \mathbf{\Gamma}_i \mathbf{v}_{s_i}$  for  $i=1, \dots, K$  است. با جایگزینی  $\mathbf{v}_{s_i} = \mathbf{\Gamma}_i^{-1} \mathbf{f}_i$  و  $\sum_{i=1}^K \mathbf{H}_p^H \mathbf{u}_{s_i} \mathbf{u}_{s_i}^H \mathbf{H}_p = \mathbf{Q} \mathbf{A} \mathbf{Q}^H$  رابطه (8) داریم.

$$TSINR = \frac{\sum_{i=1}^K \mathbf{f}_i^H \mathbf{\Gamma}_i^{-H} \mathbf{H}_{s_i}^H \mathbf{u}_{s_i} \mathbf{u}_{s_i}^H \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{\Gamma}_i^{-1} \mathbf{f}_i}{\mathbf{v}_p^H \mathbf{Q} \mathbf{A} \mathbf{Q}^H \mathbf{v}_p + \sum_{i=1}^K \mathbf{f}_i^H \mathbf{f}_i} \quad (13)$$

به منظور بیشینه کردن  $TSINR$ ، بایستی متناسب با بردار ویژه  $\mathbf{\Phi}_i = \mathbf{\Gamma}_i^{-H} \mathbf{H}_{s_i}^H \mathbf{u}_{s_i} \mathbf{u}_{s_i}^H \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{\Gamma}_i^{-1}$  متنظر با بزرگترین مقدار ویژه  $\mathbf{\Phi}_i$  و بردار  $\mathbf{v}_p$  متناسب با بردار ویژه  $\mathbf{Q} \mathbf{A} \mathbf{Q}^H$  متنظر با کمترین مقدار ویژه انتخاب گردد که با  $\mathbf{q}_{\min}$  نمایش داده می‌شود [5,6]. از آنجا که ماتریس  $\mathbf{\Phi}_i$  فقط یک مقدار ویژه مخالف صفر دارد، خواهیم داشت.

$$\mathbf{f}_i = \mathbf{\Gamma}_i^{-H} \mathbf{H}_{s_i}^H \mathbf{u}_{s_i} \quad (14)$$

بنابراین  $\mathbf{v}_p$  و  $\mathbf{v}_{s_i}$  بصورت زیر می‌باشند.

$$\mathbf{v}_{s_i} = \frac{\sqrt{p_{\max}}}{\left\| \left( \mathbf{\Gamma}_i^H \mathbf{\Gamma}_i \right)^{-1} \mathbf{H}_{s_i}^H \mathbf{u}_{s_i} \right\|} \left( \mathbf{\Gamma}_i^H \mathbf{\Gamma}_i \right)^{-1} \mathbf{H}_{s_i}^H \mathbf{u}_{s_i} \quad (15)$$

$$\mathbf{v}_p = \sqrt{p_{\max}} \mathbf{q}_{\min} \quad (16)$$

در مرحله دوم الگوریتم فرض می‌شود ماتریس  $\mathbf{V}_s$  و بردار  $\mathbf{v}_p$  معلوم بوده و  $TSINR$  با تخمین ماتریس  $\mathbf{U}_s$  و بردار  $\mathbf{u}_p$  بیشینه می‌گردد. با معلوم بودن ماتریس  $\mathbf{V}_s$  و بردار  $\mathbf{v}_p$  می‌توان رابطه (8) را بصورت زیر نوشت.

$$TSINR = \frac{\sum_{i=1}^K \mathbf{g}_i^H \mathbf{\Gamma}_i^{-H} \mathbf{H}_{s_i}^H \mathbf{v}_{s_i} \mathbf{v}_{s_i}^H \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{\Gamma}_i^{-1} \mathbf{g}_i}{\sum_{i=1}^K \mathbf{g}_i^H \mathbf{g}_i} \quad (17)$$

که در آن  $\mathbf{Y}_i$  و  $\mathbf{g}_i$  بصورت روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$g_{li} = \sum_{j=1, j \neq i}^K \mathbf{v}_{s_j}^H \mathbf{H}_{s_j}^H \mathbf{u}_{s_j} \mathbf{u}_{s_j}^H \mathbf{H}_{s_j} \mathbf{v}_{s_j} \quad (7)$$

### ۳- الگوریتم پرتوسازی همکارانه

الگوریتم پرتوسازی همکارانه در راستای افزایش استفاده کارتر از پهنای باند در سیستم‌های شناختمند MIMO طراحی می‌گردد، بطوریکه با تضمین کیفیت سرویس‌دهی به کاربر PU با تعیین حداقل سطح آستانه  $SINR_{PU}$ ،  $TSINR$  بیشینه گردد. چنانچه امکان رسیدن به کیفیت سرویس PU وجود نداشته باشد، فقط به PU سرویس داده می‌شود. با توجه به این توضیحات، برای تضمین کیفیت سرویس PU، بزرگتر بودن  $SINR_{PU}$  از آستانه  $\gamma_p$  به عنوان قید بهینه‌سازی در نظر گرفته شده و پس از تضمین این قید، ملاک بهینه‌سازی، بیشینه کردن  $TSINR$  می‌باشد. ملاک  $TSINR$  بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$TSINR = \frac{\sum_{i=1}^K \mathbf{v}_{s_i}^H \mathbf{H}_{s_i}^H \mathbf{u}_{s_i} \mathbf{u}_{s_i}^H \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{v}_{s_i}}{\sum_{i=1}^K \left( \mathbf{v}_p^H \mathbf{H}_p^H \mathbf{u}_{s_i} \mathbf{u}_{s_i}^H \mathbf{H}_p \mathbf{v}_p + g_{li} + N \right)} \quad (8)$$

بهینه‌سازی با استفاده از روش مقادیر ویژه انجام می‌شود [5,6]. بنابراین ملاک و قیود بهینه‌سازی الگوریتم پرتوسازی، بصورت رابطه (9) است.

$$C = \max_{\mathbf{V}_s, \mathbf{U}_s, \mathbf{v}_p, \mathbf{u}_p} \{TSINR\} \quad s.t. \quad SINR_{PU} \geq \gamma_p \quad (9)$$

که در آن  $\mathbf{V}_s = [\mathbf{v}_{s_1}, \mathbf{v}_{s_2}, \dots, \mathbf{v}_{s_K}]$  و  $\mathbf{U}_s = [\mathbf{u}_{s_1}, \mathbf{u}_{s_2}, \dots, \mathbf{u}_{s_K}]$  است. به منظور بیشینه کردن  $TSINR$  از یک الگوریتم تکراری دو مرحله‌ای استفاده می‌شود. در مرحله نخست، با فرض مشخص بودن ماتریس  $\mathbf{U}_s$  و بردار  $\mathbf{u}_p$ ، ماتریس  $\mathbf{V}_s$  و بردار  $\mathbf{v}_p$  در راستای بیشینه کردن  $TSINR$  تخمین زده می‌شوند. با استفاده از رابطه (7) داریم.

$$\sum_{i=1}^K g_{li} + N = \sum_{i=1}^K \mathbf{v}_{s_i}^H \mathbf{G}_{2i} \mathbf{v}_{s_i} \quad (10)$$

که در آن  $\mathbf{G}_{2i}$  بصورت زیر است.

$$\mathbf{G}_{2i} = \mathbf{H}_{s_i}^H \left( \sum_{m=1, m \neq i}^K \mathbf{u}_{s_m} \mathbf{u}_{s_m}^H \right) \mathbf{H}_{s_i} + \frac{N}{P_{s_i}} \mathbf{I}_{N_{s_i}} \quad (11)$$

<p>۱. مقدار اولیه <math>P_{\max}</math> و بردار اولیه <math>\mathbf{u}_p</math> و ماتریس اولیه <math>\mathbf{U}_s</math> انتخاب می‌شود.</p> <p>۲. با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) بردارهای پرتوسازی فرستنده <math>\mathbf{v}_p</math> و <math>\mathbf{v}_{s_i}</math> محاسبه می‌شوند.</p> <p>۳. پس از مشخص شدن بردارهای فرستنده، با استفاده از روابط (۲۰) و (۲۳) بردارهای پرتوسازی گیرنده <math>\mathbf{u}_p</math> و <math>\mathbf{u}_{s_i}</math> تعیین می‌شوند.</p> <p>۴. الگوریتم تا زمانی که اختلاف بین <math>TSINR</math> فعلی و قبلی، از آستانه <math>\varepsilon</math> کمتر شود، ادامه می‌یابد.</p>
--

مدولاسیون QPSK بوده و نتایج برای ده هزار تحقق پذیری کانال بدست آمده است. در شکل‌ها به ترتیب تعداد آنتن‌های BS ( $M$ )، PU ( $N_p$ ) و i امین SU ( $N_{s_i}$ ) برای هر نمودار بصورت BS-PU-SU، مشخص شده است. در شکل‌ها، منظور از SNR، نسبت توان سیگنال در گیرنده به توان نویز است. همچنین تعداد یک PU و یک SU در نظر گرفته شده و آستانه  $SINR_{PU}$ ،  $\gamma_p = 20$  dB فرض شده است. برای هر تحقق پذیری کانال در شبیه سازی‌ها، الگوریتم پیشنهادی ده بار تکرار شده است تا امکان مقایسه بهتری فراهم گردد. (گر چه در عمل مطابق جدول ۱، مقدار کوچک  $\varepsilon$  جهت توقف الگوریتم بکار می‌رود).

شکل ۲ نمودار  $SINR_{PU}$  و  $SINR_{SU}$  را با  $M = 2, 4$  و  $N_p = 1, 2$  و  $N_s = 1, 2$  و به ازای  $\gamma_p = 20$  dB نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود،  $SINR_{PU}$  بدلیل وجود قید بهینه سازی روی آن، به مقدار  $\gamma_p$  رسیده، و  $SINR_{SU}$  با افزایش SNR، افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تعداد آنتن‌های فرستنده و گیرنده،  $SINR_{SU}$  بهبود می‌یابد. نکته قابل ذکر این است که در تحقق پذیری‌های مختلف کانال، میانگین گیری روی  $SINR_{SU}$  در زمان‌های ارسال SU انجام شده است.

شکل ۳ نمودار نرخ خطای بیت متناظر شکل ۲ را برای PU و SU نشان می‌دهد. بردارهای پرتوسازی حاصل از الگوریتم پیشنهادی بگونه‌ای هستند که تداخل SU برای PU با توجه به قید  $SINR_{PU}$  کنترل شده، در حالیکه تداخل PU برای SU بسیار ناچیز می‌شود. عبارت دیگر بردار پرتوسازی  $\mathbf{v}_p$  به حالت تعامد بر  $\mathbf{H}_s$  نزدیک می‌شود. بهمین دلیل، همانطور که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش  $N_p$  و  $N_s$ ،  $SINR_{SU}$  و یا نرخ خطای بیت SU بهبود می‌یابد.

$$\begin{aligned} \Upsilon_i^H \Upsilon_i &= \mathbf{H}_p \mathbf{v}_p \mathbf{v}_p^H \mathbf{H}_p^H \\ &+ \sum_{j=1, j \neq i}^K \mathbf{H}_{s_j} \mathbf{v}_{s_j} \mathbf{v}_{s_j}^H \mathbf{H}_{s_j}^H + N I_M \end{aligned} \quad (18)$$

$$\mathbf{g}_i = \Upsilon_i \mathbf{u}_{s_i} \quad (19)$$

با بیشینه کردن  $TSINR$ ، بردار نرمالیزه پرتوسازی گیرنده بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\mathbf{u}_{s_i} = \frac{1}{\left\| \left( \Upsilon_i^H \Upsilon_i \right)^{-1} \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{v}_{s_i} \right\|} \left( \Upsilon_i^H \Upsilon_i \right)^{-1} \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{v}_{s_i} \quad (20)$$

برای تخمین  $\mathbf{u}_p$  قید  $SINR_{PU}$  را می‌توان بصورت زیر نوشت.

$$\mathbf{u}_p^H \mathbf{G}_3 \mathbf{u}_p \geq 0 \quad (21)$$

که در آن  $\mathbf{G}_3$  بصورت زیر است.

$$\mathbf{G}_3 = \mathbf{H}_p \mathbf{v}_p \mathbf{v}_p^H \mathbf{H}_p^H - \gamma_p \left( \sum_{i=1}^K \mathbf{H}_{s_i} \mathbf{v}_{s_i} \mathbf{v}_{s_i}^H \mathbf{H}_{s_i}^H + N I_M \right) \quad (22)$$

با استفاده از تجزیه  $\mathbf{G}_3 = \mathbf{DAD}^H$  می‌توان  $\mathbf{u}_p$  را بصورت زیر به دست آورد.

$$\mathbf{u}_p = \mathbf{d}_{\min} \quad (23)$$

که در آن  $\mathbf{d}_{\min}$  بردار ویژه  $\mathbf{DAD}^H$  متناظر با کمترین مقدار ویژه است.

الگوریتم پیشنهادی پرتوسازی همکارانه، بردارهای فرستنده و گیرنده را طی یک روند تکراری در دو مرحله چنان تخمین می‌زند که ملاک (۹) در چارچوب قید تضمین کیفیت سرویس PU بیشینه گردد. در جدول ۱ چگونگی اجرای الگوریتم تکراری تعیین بردارهای پرتوسازی آمده است. نکته مهم اینست که اگر در یک تکرار، کیفیت سرویس PU تضمین نشد، SU ها اجازه ارسال ندارند. بنابراین گاهی داده‌ای توسط SU ها ارسال نشده و نرخ بیت SU ها افت داشته، ولی  $SINR_{SU}$  در زمان ارسال، عملکرد خوبی خواهد داشت. البته با افزایش سیگنال به نویز (SNR)، درصد زمانی ارسال SU ها افزایش می‌یابد.

#### ۴- نتایج شبیه سازی

در این بخش با شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی، کارکرد آن بررسی می‌شود. در شبیه سازی‌ها، کانال‌های PU و SU ها بصورت تار کننده تخت بوده و عناصر آنها مستقل از یکدیگر، با توزیع گوسی، میانگین صفر و واریانس یک می‌باشند.

SU به سرعت کاهش می‌یابد.

شکل ۴ درصد زمانی ارسال توسط SU با  $M = 4$  و  $N_p = N_s = 1$  به ازای  $\gamma_p = 20dB$  را در SNR های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود در SNR های پایین به دلیل عدم تضمین کیفیت سرویس PU، درصد زمانی ارسال SU کم است ولی با افزایش SNR، این درصد افزایش می‌یابد.

## ۵- نتیجه گیری

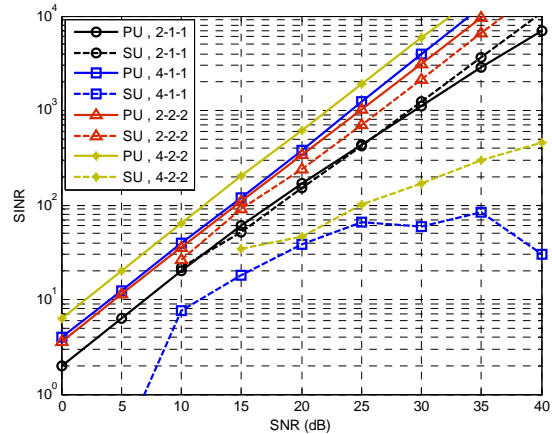
در این مقاله الگوریتم نوینی برای پرتوسازی همکارانه در سیستم رادیو شناختمند چند ورودی چند خروجی ارائه شد که در آن نخست، کیفیت سرویس PU تضمین می‌شود. سپس در صورت رسیدن به کیفیت سرویس مورد نیاز PU،  $TSINR$  بیشینه می‌گردد. در صورتی که کیفیت سرویس PU به مقدار مورد نیاز نرسد، به SU ها اجازه ارسال داده نمی‌شود. نتایج شبیه سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی دارای کارایی خوبی در بیشینه کردن  $TSINR$  است، ضمن اینکه کیفیت سرویس PU را تأمین می‌کند.

## سپاسگزاری

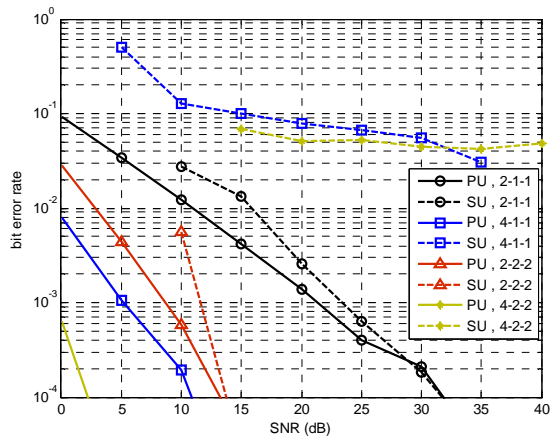
نویسندگان از پشتیبانی مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران در انجام این پژوهش عمیقاً قدردانی می‌کنند.

## مراجع

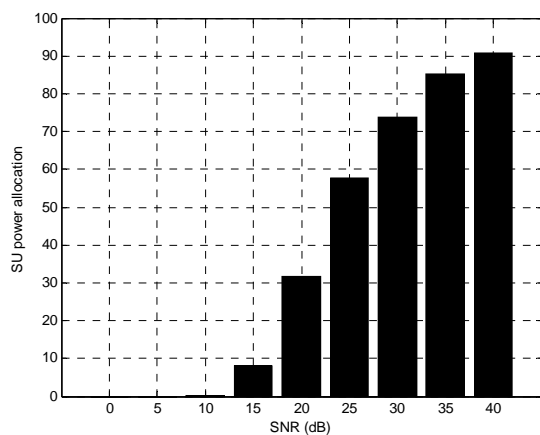
- [1] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications" *IEEE Trans. Selected Areas in Communications*, Vol. 23, No. 2, pp. 201-220, 2005.
- [2] L. Zhang and Y. Liang and Y. Xin, "Joint Beamforming and Power Allocation for Multiple Access Channels in Cognitive radio Networks" *IEEE Trans. Selected Areas in Communications*, Vol. 26, No. 1, pp. 38-51, 2008.
- [3] H. Islam and Y. Liang and A. Hoang, "Joint power control and beamforming for Cognitive radio Networks" *IEEE Trans. Wireless Communications*, Vol. 7, No. 7, pp. 2415-2419, 2008.
- [4] Y. Xing and C. Mathur and M. Haleem and R. Chandramouli, "Dynamic Spectrum Access with QoS and Interference Temperature Constraints" *IEEE Trans. Mobile Computing*, Vol. 6, No. 4, pp. 423-433, 2007.
- [5] H. Zamiri-Jafarian and M. Abbasi-Janatabad, "Cooperative beamforming and power allocation in the downlink of MIMO cognitive radio systems" *IEEE Vehicular Technology Conference(VTC-Fall2010)*, 1-5, 2010.
- [6] M. Abbasi-Janatabad and H. Zamiri-Jafarian, "Cooperative beamforming in MIMO-OFDMA cognitive radio systems" *IEEE International Conference on Telecommunication(IST2010)*, 1-5, 2010.



شکل ۲: نسبت سیگنال به تداخل و نویز PU و SU به ازای  $M = 2, 4$  و  $\gamma_p = 20dB$ ،  $N_p = N_s = 1, 2$



شکل ۳: نرخ خطای بیت PU و SU به ازای  $M = 2, 4$  و  $\gamma_p = 20dB$ ،  $N_p = N_s = 1, 2$



شکل ۴: درصد تخصیص توان به SU به ازای  $M = 4$  و  $\gamma_p = 20dB$ ،  $M_p = M_s = 1$

علاوه بر این  $SINR_{PU}$  و یا نرخ خطای بیت PU نیز با افزایش SNR بهبود می‌یابد. با افزایش SNR، نرخ خطای بیت