

پرتوسازی فرسو در سیستم‌های رادیو شناختمند MIMO مبنی بر بیشینه نسبت نرخ بیت صحیح به توان ارسالی

محسن عباسی جنت آباد^۱، حسین ضمیری جعفریان^۲

^۱دانشگاه فردوسی مشهد، مرکز پژوهشی مخابرات و کامپیوتر، mo_ab151@stu-mail.um.ac.ir

^۲دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق، hzamiri@um.ac.ir

چکیده - در این مقاله، الگوریتم نوینی برای پرتوسازی فرستنده و گیرنده و تخصیص توان در مسیر فرسوی سیستم‌های رادیو شناختمند چند ورودی چند خروجی ارائه خواهد شد. در این الگوریتم، نخست اولویت کاربر اختصاصی نسبت به کاربر غیر اختصاصی در استفاده از طیف، با در نظر گرفتن ضریبی بین نسبت سیگنال به نویز بعلاوه تداخل آنها تضمین می‌گردد. سپس با توجه به اینکه بالا بودن نسبت نرخ بیت صحیح به توان ارسالی، ملاکی از کارکرد خوب یک سیستم مخابراتی است، در راستای استفاده مفید از پهنای باند، نسبت کل تعداد بیت‌های صحیح دریافتی به کل توان ارسالی، در چارچوب محدودیت توان ارسالی ایستگاه پایه بیشینه می‌گردد. بهینه سازی پرتوسازی بر اساس تجزیه ماتریس کانال‌ها مبتنی بر مقادیر ویژه انجام می‌گیرد. نتایج شبیه سازی نشان دهنده کارکرد خوب الگوریتم پیشنهادی است.

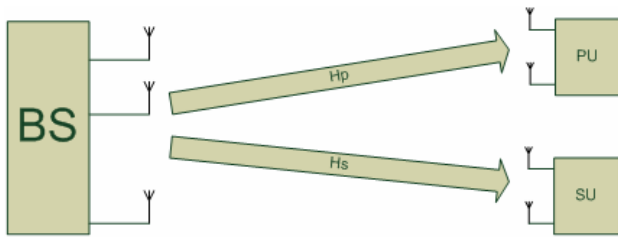
کلید واژه- شبکه رادیو شناختمند، پرتوسازی و تخصیص توان، کاربر اختصاصی (PU) و غیر اختصاصی (SU)

به نویز بعلاوه تداخل SU ها مطالعه شده است. در مقاله [۴] پرتوسازی با ملاک کمینه کردن مجموع معکوس SINR کاربران در مسیر فرسوی سیستم MIMO چندکاربره بررسی شده است. در مقاله [۵] بهینه سازی پرتوسازی مبنی بر بیشینه کردن نرخ ارسال SU ها با توجه به قیدهای حداکثر آستانه توان تداخل ایجاد شده برای PU و نسبت سیگنال به نویز بعلاوه تداخل SU ها در دو حالت متفاوت انجام گرفته است. در حالت اول، با استفاده از بهینه سازی هندسی و با فرض پشتیبانی تمام SU ها با SINR مورد نیاز، مسئله حل می‌شود. در حالت دوم، تعدادی از SU ها از کیفیت سرویس مورد نیاز برخوردار نبوده و با تعریف تابع سود شبکه، ابتدا با استفاده از یک الگوریتم جستجو، بهترین SU ها در راستای بیشینه کردن تابع سود شبکه انتخاب شده و سپس بهینه سازی نرخ بیت صورت می‌گیرد.

در این مقاله، الگوریتم نوینی برای بهینه سازی پرتوسازی فرسو و تخصیص توان در سیستم رادیو شناختمند چند ورودی چند خروجی (MIMO) جهت افزایش کارایی طیفی با ملاک جدیدی ارائه می‌گردد. بالا بودن نسبت نرخ بیت صحیح به توان ارسالی ملاک مناسبی از کارکرد خوب یک سیستم مخابراتی است. در این الگوریتم، نسبت کل تعداد بیت‌های صحیح دریافتی به کل توان ارسالی در چارچوب رابطه بین نسبت سیگنال به نویز

۱- مقدمه

تکنولوژی رادیو شناختمند تلاش می‌کند در جهت استفاده مفید از پهنای باند، هنگامیکه کاربر اختصاصی (PU) از طیف استفاده نمی‌کند، پهنای باند مربوطه را در اختیار کاربر غیر اختصاصی (SU) قرار داده و به این ترتیب کارایی طیف فرکانسی را افزایش دهد [۱]. سیستم رادیو شناختمند علاوه بر استفاده مفید از طیف، باید کیفیت سرویس مورد نیاز PU را تضمین کند. در سال‌های اخیر راهکارهای مختلفی جهت رسیدن به این منظور ارائه شده است. در مقاله [۲]، بهینه سازی پرتوسازی و تخصیص توان در شبکه رادیو شناختمند چند ورودی یک خروجی (MISO) با دو ملاک بیشینه کردن ظرفیت SU ها و نیز کمینه کردن نسبت سیگنال به نویز بعلاوه تداخل (SINR) SU ها بررسی شده است. در هر دو ملاک، حداکثر آستانه توان تداخل ایجاد شده برای PU و حد مجاز توان ارسالی هر SU به عنوان قیود بهینه سازی در نظر گرفته شده‌اند. در مقاله [۳]، پرتوسازی فرسو و تخصیص توان در سیستم رادیو شناختمند MISO با هدف کمینه کردن توان ارسالی با توجه به قیدهای حداکثر آستانه توان تداخل ایجاد شده برای PU و نسبت سیگنال



شکل ۱: مدل سیستم.

با توجه به روابط (۲) و (۳)، $SINR_{PU}$ و $SINR_{SU}$ به ترتیب بصورت روابط زیر می‌باشند.

$$SINR_{PU} = \frac{V_p^H H_p^H U_p U_p^H H_p V_p}{V_s^H H_p^H U_p U_p^H H_p V_s + N_p} \quad (۴)$$

$$SINR_{SU} = \frac{V_s^H H_s^H U_s U_s^H H_s V_s}{V_p^H H_s^H U_s U_s^H H_s V_p + N_s} \quad (۵)$$

که در آن $N_p = U_p^H E [n_p n_p^H] U_p$ و $N_s = U_s^H E [n_s n_s^H] U_s$ به ترتیب توان نویز PU و SU بعد از پرتوسازی در گیرنده هستند. نماد $E[\cdot]$ نشان‌دهنده امید ریاضی می‌باشد.

۳- بهینه سازی پرتوسازی و تخصیص توان مبنی بر بیشینه نسبت نرخ بیت صحیح به توان ارسالی

الگوریتم پرتوسازی و تخصیص توان در راستای استفاده مفید از پهنای باند در سیستم‌های شناختمند MIMO طراحی می‌گردد، بطوریکه با در نظر گرفتن تقدم PU با برقراری رابطه‌ای بین $SINR_{SU}$ و $SINR_{PU}$ ، نسبت کل تعداد بیت‌های صحیح دریافتی به کل توان ارسالی در چارچوب محدودیت کل توان ارسالی BS بیشینه گردد. با توجه به این توضیحات، برای در نظر گرفتن تقدم PU، ارتباط بین $SINR_{SU}$ و $SINR_{PU}$ به عنوان قید بهینه سازی در نظر گرفته شده و پس از تضمین این قید، ملاک بهینه سازی، بیشینه کردن نسبت کل تعداد بیت‌های صحیح دریافتی به کل توان ارسالی در چارچوب کل توان ارسالی مشخص، می‌باشد. بهینه سازی با استفاده از روش مقادیر ویژه انجام می‌شود [۶]. بنابراین ملاک و قیود بهینه سازی الگوریتم پرتوسازی و تخصیص توان، بصورت رابطه (۶) است.

$$\max \{N_c / P_{\max}\} \quad (۶)$$

$$s.t. \begin{cases} P_p + P_s \leq P_{\max} \\ SINR_{PU} = r SINR_{SU} \end{cases}$$

که در آن N_c کل تعداد بیت‌های صحیح دریافتی، P_{\max}

بعلاوه تداخل PU ($SINR_{PU}$) و نسبت سیگنال به نویز بعلاوه تداخل SU ($SINR_{SU}$) و نیز کل توان ارسالی ایستگاه پایه (BS) بیشینه می‌گردد. عبارت دیگر، با توجه به اولویت PU نسبت به SU در استفاده از طیف فرکانسی، ابتدا ضریبی بین $SINR_{SU}$ و $SINR_{PU}$ در نظر گرفته می‌شود. پس از تضمین اولویت PU، با توجه به قید کل توان ارسالی، نسبت کل بیت‌های صحیح دریافتی به کل توان ارسالی بیشینه می‌گردد.

در ادامه، نخست در بخش ۲ سیستم رادیو شناختمند MIMO مبنی بر بردارهای پرتوسازی گیرنده و فرستنده مدلسازی می‌گردد. بخش ۳ به بررسی روش بهینه سازی، ملاک و قیود مربوطه و ارائه الگوریتم پیشنهادی برای پرتوسازی و تخصیص توان می‌پردازد. نتایج شبیه سازی در بخش ۴ آورده خواهد شد و سرانجام، بخش ۵ به نتیجه گیری و جمع بندی می‌پردازد.

۲- مدل سیستم و سیگنال

شکل ۱ مسیر فرسوی سیستم رادیو شناختمند MIMO را نشان می‌دهد. BS دارای N آنتن فرستنده و PU و SU به ترتیب دارای M_p و M_s آنتن گیرنده می‌باشند. رابطه سیگنال ارسالی ایستگاه پایه (X) بصورت زیر است.

$$X = V_p S_p + V_s S_s \quad (۱)$$

که در آن V_p و V_s به ترتیب بردارهای پرتوسازی فرستنده برای PU و SU، S_p و S_s به ترتیب سمبل‌های ارسالی برای PU و SU می‌باشند. سمبل‌های ارسالی از یکدیگر مستقل بوده و هر یک دارای توان واحد می‌باشند. توان ارسالی BS برای PU و SU به ترتیب $P_p = V_p^H V_p$ و $P_s = V_s^H V_s$ می‌باشد. منظور از A^H ترانزپوز مختلط ماتریس A است. سیگنال‌های دریافتی گیرنده-های PU و SU به ترتیب Y_p و Y_s بصورت روابط زیر می‌باشند.

$$Y_p = U_p^H (H_p X + n_p) \quad (۲)$$

$$= U_p^H H_p V_p S_p + U_p^H H_p V_s S_s + U_p^H n_p$$

$$Y_s = U_s^H (H_s X + n_s) \quad (۳)$$

$$= U_s^H H_s V_p S_p + U_s^H H_s V_s S_s + U_s^H n_s$$

که در این روابط، U_p و U_s به ترتیب بردارهای نرمالیزه پرتوسازی گیرنده‌های PU و SU هستند. H_p کانال بین BS و PU و H_s کانال بین BS و SU است. n_p و n_s نیز به ترتیب نویز گیرنده‌های PU و SU می‌باشند.

کل توان ارسالی BS و r ضریب بین $SINR_{SU}$ و $SINR_{PU}$ است. P_s و P_p به ترتیب توان ارسالی برای PU و SU می-باشند. N_c طبق رابطه زیر به دست می-آید.

کل توان ارسالی BS و r ضریب بین $SINR_{SU}$ و $SINR_{PU}$ است. P_s و P_p به ترتیب توان ارسالی برای PU و SU می-باشند. N_c طبق رابطه زیر به دست می-آید.

$$N_c = b_{PU}(1 - Pe_{PU}) + b_{SU}(1 - Pe_{SU}) \quad (7)$$

که در آن b_{PU} و b_{SU} به ترتیب تعداد بیت‌های ارسالی برای PU و SU است. Pe_{PU} و Pe_{SU} به ترتیب احتمال خطای بیت PU و SU می-باشند. با توجه به رابطه معکوس احتمال خطای بیت و SINR، با جایگذاری رابطه (7) در (6) داریم.

$$\max \left\{ \frac{b_{PU}(1 - \alpha/SINR_{PU}) + b_{SU}(1 - \alpha/SINR_{SU})}{P_{\max}} \right\} \quad (8)$$

که در آن α ضریب تناسب بین احتمال خطای بیت و SINR است. بیشینه کردن ملاک رابطه (8) معادل کمینه کردن رابطه زیر می-باشد.

$$\min \{ b_{PU}/SINR_{PU} + b_{SU}/SINR_{SU} \} \quad (9)$$

با جایگذاری روابط (4) و (5) در رابطه (9) و انجام کمی محاسبات، می‌توان ملاک بهینه سازی را بصورت رابطه زیر نوشت.

$$\min \{ J_1 + J_2 \} \quad (10)$$

که در این رابطه، J_1 و J_2 بصورت زیر می-باشند.

$$J_1 = b_{PU} \frac{V_s^H \left(H_p^H U_p U_p^H H_p + \frac{N_p}{P_s} I_N \right) V_s}{V_p^H H_p^H U_p U_p^H H_p V_p} \quad (11)$$

$$J_2 = b_{SU} \frac{V_p^H \left(H_s^H U_s U_s^H H_s + \frac{N_s}{P_p} I_N \right) V_p}{V_s^H H_s^H U_s U_s^H H_s V_s} \quad (12)$$

در این روابط، منظور از I_N ماتریس همانی با ابعاد $N \times N$ است. با فرض مشخص بودن U_p ، U_s ، P_p و P_s ، ماتریس-های $H_p^H U_p U_p^H H_p$ و $H_s^H U_s U_s^H H_s$ بصورت رابطه (13) تجزیه می‌شوند.

$$\begin{cases} H_p^H U_p U_p^H H_p = \Gamma_p \Gamma_p^H \\ H_s^H U_s U_s^H H_s = \Gamma_s \Gamma_s^H \end{cases} \quad (13)$$

با جایگذاری روابط (11)، (12) و (13) در (10) و تعریف بردارهای f_p و f_s بصورت رابطه (14) و ماتریس-

$$Q_p = H_p^H U_p U_p^H H_p + \frac{N_p}{P_s} I_N$$

$$\begin{cases} f_p = \Gamma_p^H V_p \Rightarrow V_p = \Gamma_p^{-H} f_p \\ f_s = \Gamma_s^H V_s \Rightarrow V_s = \Gamma_s^{-H} f_s \end{cases} \quad (14)$$

$$\min \left\{ \frac{f_s^H \Gamma_s^{-1} Q_p \Gamma_s^{-H} f_s}{f_p^H f_p / b_{PU}} + \frac{f_p^H \Gamma_p^{-1} Q_s \Gamma_p^{-H} f_p}{f_s^H f_s / b_{SU}} \right\} \quad (15)$$

با استفاده از تجزیه ماتریس‌های $\Gamma_p^{-1} Q_p \Gamma_p^{-H}$ و $\Gamma_s^{-1} Q_s \Gamma_s^{-H}$ بر مبنای مقادیر ویژه بصورت زیر:

$$\begin{cases} \Gamma_p^{-1} Q_p \Gamma_p^{-H} = R_p \Lambda_p R_p^H \\ \Gamma_s^{-1} Q_s \Gamma_s^{-H} = R_s \Lambda_s R_s^H \end{cases} \quad (16)$$

می‌توان بردارهای پرتوسازی V_p و V_s را بصورت رابطه (17) بدست آورد.

$$\begin{cases} f_p = \sqrt{P_p} r_p \Rightarrow V_p = \Gamma_p^{-H} f_p = \sqrt{P_p} \Gamma_p^{-H} r_p \\ f_s = \sqrt{P_s} r_s \Rightarrow V_s = \Gamma_s^{-H} f_s = \sqrt{P_s} \Gamma_s^{-H} r_s \end{cases} \quad (17)$$

که در آن r_p و r_s به ترتیب بردارهای نرمالیزه متناظر با مقادیر ویژه کمینه Λ_p و Λ_s از ماتریس‌های R_p و R_s هستند. جهت محاسبه بردارهای U_p و U_s با فرض داشتن V_p و V_s ، با استفاده از تئوری دوگانی مسیر فراسو و فروسو [7] می‌توان ملاک بهینه سازی رابطه (10) را بصورت رابطه (18) نوشت.

$$\min \{ J_3 + J_4 \} \quad (18)$$

که در این رابطه، J_3 و J_4 بصورت زیر می-باشند.

$$J_3 = b_{PU} \frac{U_p^H \left(H_p v_s v_s^H H_p^H + N_p I_{M_p} \right) U_p}{U_p^H H_p v_p v_p^H H_p^H U_p} \quad (19)$$

$$J_4 = b_{SU} \frac{U_s^H \left(H_s v_p v_p^H H_s^H + N_s I_{M_s} \right) U_s}{U_s^H H_s v_s v_s^H H_s^H U_s} \quad (20)$$

که در آن v_p و v_s به ترتیب نرمالیزه شده V_p و V_s هستند. ماتریس‌های $H_p v_p v_p^H H_p^H$ و $H_s v_s v_s^H H_s^H$ بصورت رابطه (21) تجزیه می‌شوند.

$$\begin{cases} H_p v_p v_p^H H_p^H = \Upsilon_p \Upsilon_p^H \\ H_s v_s v_s^H H_s^H = \Upsilon_s \Upsilon_s^H \end{cases} \quad (21)$$

با جایگذاری روابط (19)، (20) و (21) در (18) و تعریف بردارهای z_p و z_s بصورت رابطه (22) و ماتریس-

جدول ۱: گام‌های الگوریتم پیشنهادی پرتوسازی و تخصیص توان

۱. مقدار اولیه P_p ، P_s و بردارهای اولیه v_p و v_s انتخاب می‌شوند.
۲. با استفاده از روابط (۲۴) و (۲۵) بردارهای پرتوسازی گیرنده U_p و U_s محاسبه می‌شوند.
۳. با استفاده از روابط (۱۶) و (۱۷) بردارهای پرتوسازی فرستنده V_p و V_s تعیین می‌شوند.
۴. با جایگذاری بردارهای V_p ، V_s ، U_p و U_s در قیدهای بهینه سازی رابطه (۶) مقادیر P_p و P_s از حل معادلات روابط (۲۶) و (۲۷) بدست می‌آیند.
۵. بردارهای v_p و v_s به ترتیب با نرمالیزه کردن V_p و V_s بدست می‌آیند.
۶. اگر اختلاف بین نسبت کل تعداد بیت‌های صحیح دریافتی به کل توان ارسالی فعلی و قبلی، از آستانه ϵ بیشتر باشد، الگوریتم به گام ۲ برمی‌گردد. در غیر اینصورت، الگوریتم پایان می‌یابد.

۴- نتایج شبیه سازی

در این بخش با شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی، کارکرد آن بررسی می‌شود. در شبیه سازی‌ها، کانال‌های PU و SU بصورت تار کننده تخت بوده و عناصر آنها مستقل از یکدیگر، با توزیع گوسی، میانگین صفر و واریانس یک می‌باشند. مدولاسیون QPSK بوده و نتایج برای صدهزار تحقق پذیری کانال بدست آمده است. در شکل‌ها به ترتیب تعداد آنتن‌های BS (N)، PU (M_p) و SU (M_s) برای هر نمودار، مشخص شده است. در شکل‌ها، منظور از SNR، نسبت توان سیگنال در گیرنده به توان نویز است. برای هر تحقق پذیری کانال در شبیه سازی‌ها، الگوریتم پیشنهادی ده بار تکرار شده است تا امکان مقایسه بهتری فراهم گردد. (گرچه در عمل مطابق جدول ۱، مقدار کوچک ϵ جهت توقف الگوریتم بکار می‌رود.)

شکل ۲ نمودار $SINR_{PU}$ و $SINR_{SU}$ را با $N = 2, 4$ و $M_p = 1, 2$ و $M_s = 1, 2$ و به ازای $r = 2$ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در هر مورد، $SINR_{PU}$ دو برابر $SINR_{SU}$ متناظر می‌باشد، زیرا قید بهینه سازی رابطه (۶)، $SINR_{PU} = r SINR_{SU}$ بوده و در این نمودار $r = 2$ است.

شکل ۳ نمودار احتمال خطای بیت متناظر شکل ۲ را برای PU و SU نشان می‌دهد. با افزایش N ، M_p و M_s می‌توان

همانطور که در رابطه (۱۸) می‌توان رابطه (۲۳) نوشت.

$$\begin{cases} z_p = \Upsilon_p^H U_p \Rightarrow U_p = \Upsilon_p^{-H} z_p \\ z_s = \Upsilon_s^H U_s \Rightarrow U_s = \Upsilon_s^{-H} z_s \end{cases} \quad (22)$$

$$\min \left\{ \frac{z_p^H \Upsilon_p^{-1} T_p \Upsilon_p^{-H} z_p}{z_p^H z_p / b_{PU}} + \frac{z_s^H \Upsilon_s^{-1} T_s \Upsilon_s^{-H} z_s}{z_s^H z_s / b_{SU}} \right\} \quad (23)$$

با استفاده از تجزیه ماتریس‌های $\Upsilon_p^{-1} T_p \Upsilon_p^{-H}$ و $\Upsilon_s^{-1} T_s \Upsilon_s^{-H}$ بر مبنای مقادیر ویژه بصورت زیر:

$$\begin{cases} \Upsilon_p^{-1} T_p \Upsilon_p^{-H} = W_p \Delta_p W_p^H \\ \Upsilon_s^{-1} T_s \Upsilon_s^{-H} = W_s \Delta_s W_s^H \end{cases} \quad (24)$$

می‌توان بردارهای پرتوسازی U_p و U_s را بصورت رابطه (۲۵) بدست آورد.

$$\begin{cases} z_p = w_p \Rightarrow U_p = \Upsilon_p^{-H} w_p / \|\Upsilon_p^{-H} w_p\|^2 = u_p \\ z_s = w_s \Rightarrow U_s = \Upsilon_s^{-H} w_s / \|\Upsilon_s^{-H} w_s\|^2 = u_s \end{cases} \quad (25)$$

که در آن w_p و w_s به ترتیب بردارهای نرمالیزه متناظر با مقادیر ویژه کمینه Δ_p و Δ_s از ماتریس‌های W_p و W_s می‌باشند. منظور از $\|a\|^2$ نرم بردار a می‌باشد. اکنون با استفاده از روابط (۱۷)، (۲۵) و قیدهای بهینه سازی در رابطه (۶)، مقادیر P_p و P_s با حل دو معادله (۲۶) و (۲۷) بدست می‌آیند.

$$P_p + P_s = P_{\max} \quad (26)$$

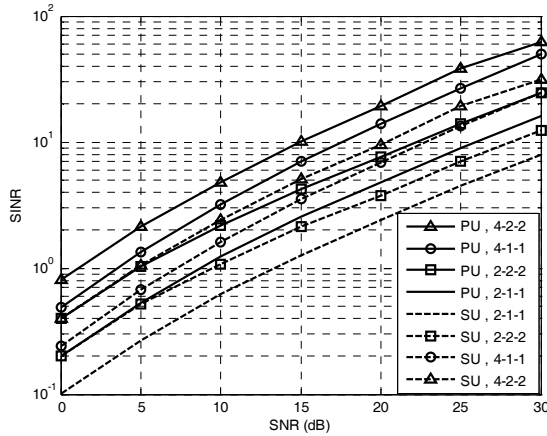
$$G_1 = G_2 \quad (27)$$

که در آن G_1 و G_2 بصورت زیر هستند.

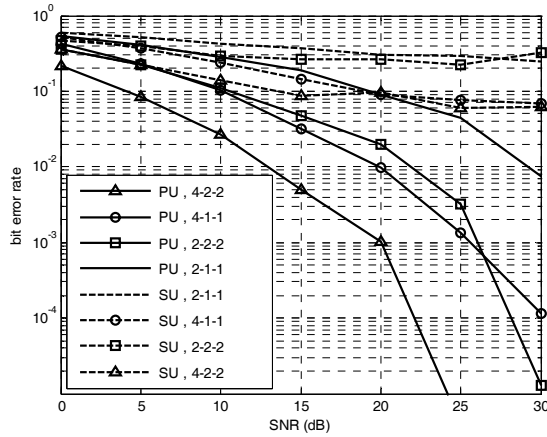
$$G_1 = \frac{P_p r_p^H \Gamma_p^{-1} H_p^H u_p u_p^H H_p \Gamma_p^{-H} r_p}{P_s r_s^H \Gamma_s^{-1} H_s^H u_s u_s^H H_s \Gamma_s^{-H} r_s + N_p} \quad (28)$$

$$G_2 = r \frac{P_s r_s^H \Gamma_s^{-1} H_s^H u_s u_s^H H_s \Gamma_s^{-H} r_s}{P_p r_p^H \Gamma_p^{-1} H_p^H u_p u_p^H H_p \Gamma_p^{-H} r_p + N_s} \quad (29)$$

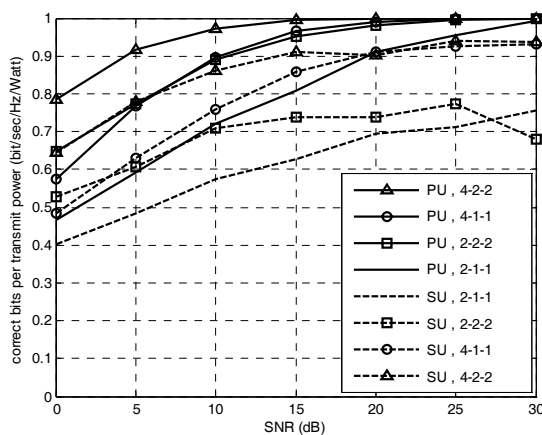
الگوریتم پیشنهادی پرتوسازی و تخصیص توان PU و SU چنان بدست می‌آید که ملاک (۶) و چارچوب‌های داده شده برقرار گردد. در جدول ۱ چگونگی اجرای الگوریتم تکراری تعیین بردارهای پرتوسازی و تخصیص توان آمده است.



شکل ۲: نسبت سیگنال به نویز بعلاوه تداخل PU و SU به ازای $N = 2, 4$ و $r = 2, M_p = M_s = 1, 2$



شکل ۳: احتمال خطای بیت PU و SU به ازای $N = 2, 4$ و $r = 2, M_p = M_s = 1, 2$



شکل ۴: نسبت تعداد بیت‌های صحیح دریافتی PU و SU به ازای $N = 2, 4$ و $r = 2, M_p = M_s = 1, 2$

پرتوهای بیشتری را شکل داده و تداخل PU و SU بر روی یکدیگر را کاهش داد. به همین دلیل، همانطور که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد آنتن‌های فرستنده و گیرنده، $SINR_{SU}$ و $SINR_{PU}$ و یا احتمال خطای بیت متناظر آنها بهبود می‌یابد.

در شکل ۴ نمودار نسبت تعداد بیت‌های صحیح دریافتی PU و SU به کل توان ارسالی متناظر با شکل ۲ رسم شده است. همانطور که دیده می‌شود، با افزایش نسبت سیگنال به نویز (SNR)، نسبت تعداد بیت‌های صحیح دریافتی PU و SU به کل توان ارسالی افزایش می‌یابد. علت این افزایش، کاهش احتمال خطای بیت متناظر در شکل ۳ با افزایش SNR می‌باشد.

شکل ۵ نمودار $SINR_{SU}$ و $SINR_{PU}$ را با $N = 8$ و $M_p = M_s = 1$ و به ازای $r = 1, 2, 10$ نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود $SINR_{PU}$ ، $SINR_{SU}$ برابر r است. با افزایش r بدلیل افزایش تقدم PU نسبت به SU، $SINR_{PU}$ و $SINR_{SU}$ به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابند. شکل ۶ نمودار احتمال خطای بیت PU و SU متناظر شکل ۵ را نشان می‌دهد. با افزایش r ، $SINR_{PU}$ نسبت به $SINR_{SU}$ با ضریب r افزایش می‌یابد. به همین دلیل همانطور که دیده می‌شود، با افزایش r احتمال خطای بیت PU و SU به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابند. در حالت $r = 1$ ، احتمال خطای بیت PU و SU مشابه یکدیگر هستند، زیرا در این حالت، $SINR_{PU}$ با $SINR_{SU}$ برابر است.

در شکل ۷ نمودار نسبت تعداد بیت‌های صحیح دریافتی PU و SU به کل توان ارسالی متناظر با شکل ۵ رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، با افزایش r ، نسبت تعداد بیت‌های صحیح دریافتی PU و SU به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابند. در این نمودار به ازای $r = 1$ نسبت تعداد بیت‌های صحیح دریافتی PU و SU به کل توان ارسالی، با یکدیگر برابر شده است. دلیل این تساوی، یکسان بودن احتمال خطای بیت PU و SU به ازای $r = 1$ می‌باشد.

جدول ۲ عملکرد الگوریتم پیشنهادی را از لحاظ $SINR_{SU}$ با الگوریتم پیشنهاد شده در [۸] مقایسه می‌کند. مقایسه برای حالت یک PU و یک SU و در $SINR = 20\text{dB}$ انجام شده است. همانطور که دیده می‌شود، $SINR_{SU}$ الگوریتم پیشنهادی از روش پیشنهادی در [۸] بالاتر است. این مقایسه با فرض $N = 8$ و یک آنتن برای PU و SU و با $r = 10$ انجام شده است.

جدول ۲: مقایسه الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم ارائه شده در [۸]

	الگوریتم پیشنهادی	الگوریتم مقاله [۸]
$SINR_{SU}$ (dB)	17.7184	16.0256

۵- نتیجه گیری

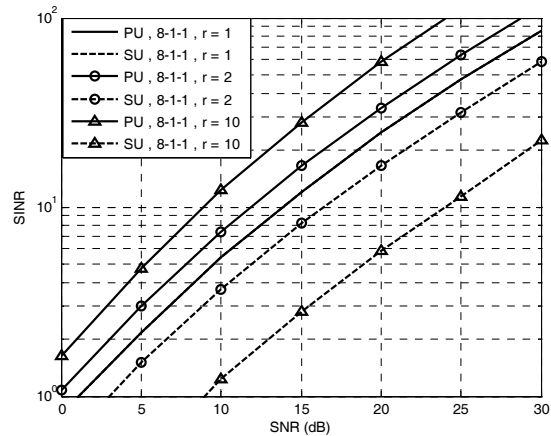
در این مقاله الگوریتم نوینی برای پرتوسازی فرستنده و گیرنده در سیستم‌های رادیو شناختمند MIMO ارائه شد که در آن نخست، اولویت PU نسبت به SU در بکارگیری پهنای باند، بصورت رابطه‌ای بین $SINR_{SU}$ و $SINR_{PU}$ تضمین می‌شود. پس از تضمین اولویت PU، در چارچوب کل توان ارسالی BS، نسبت کل تعداد بیت‌های صحیح دریافتی به کل توان ارسالی بیشینه می‌گردد. نتایج شبیه سازی نشان دهنده کارایی خوب الگوریتم پیشنهادی در بیشینه کردن ملاک مورد نظر است.

سپاسگزاری

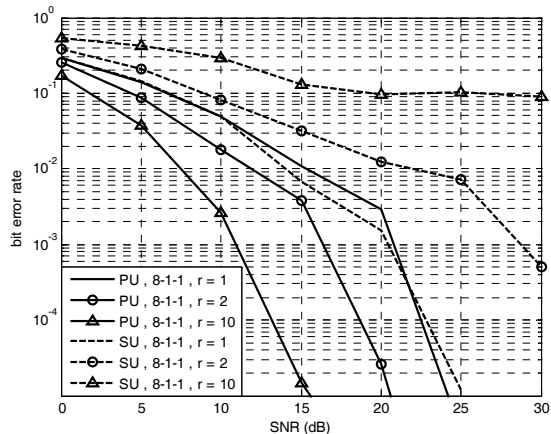
نویسندگان از پشتیبانی مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران در انجام این پژوهش عمیقاً قدردانی می‌کنند.

مراجع

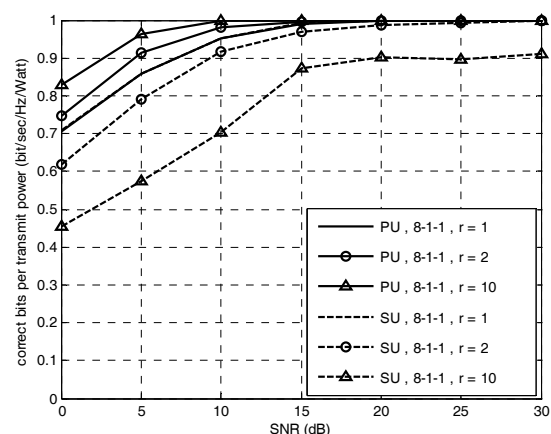
- [1] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications" *IEEE Trans. Selected Areas in Communications*, Vol. 23, No. 2, pp. 201-220, 2005.
- [2] L. Zhang and Y. Liang and Y. Xin, "Joint Beamforming and Power Allocation for Multiple Access Channels in Cognitive radio Networks" *IEEE 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] M. Lim and D. McLernon and M. Ghogho, "Weighted harmonic mean SINR maximization for the MIMO downlink" *Proc. Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 2381-2384, 2009.
- [5] 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.
- [6] H. Zamiri-Jafarian and H. Khoshbin and S. Pasupathy, "Time-domain equalizer for OFDM systems based on SINR maximization" *IEEE Trans. Communications*, Vol. 53, No. 6, pp. 924-929, 2005.
- [7] Sh. Shuying and M. Schubert and H. Boche, "Downlink MMSE Transceiver Optimization for Multiuser MIMO Systems: Duality and Sum-MSE Minimization" *IEEE Trans. Signal Processing*, Vol. 55, No. 11, pp. 5436-5446, 2007.
- [8] K. Cumanan and L. Musavian and S. Lambotaran and A. B. Gershman, "SINR Balancing Technique for Downlink Beamforming in Cognitive Radio Networks" *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 17, No. 2, pp. 133-136, 2010.



شکل ۵: نسبت سیگنال به نویز علاوه تداخل PU و SU به ازای $N = 8$ و $r = 1, 2, 10$, $M_p = M_s = 1$



شکل ۶: احتمال خطای بیت PU و SU به ازای $N = 8$ و $r = 1, 2, 10$, $M_p = M_s = 1$



شکل ۷: نسبت تعداد بیت‌های صحیح دریافتی PU و SU به ازای $N = 8$ و $r = 1, 2, 10$, $M_p = M_s = 1$