

روش‌های جفت‌سازی کاربران در سیستم‌های نسل پنجم مشارکتی مبتنی بر NOMA، SWIPT و شکل‌دهی پرتو

حامد زائری^۱، محسن حجازی^۲، محمدرضا ذوقی^۳

^۱دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه کاشان، hamedz2020@yahoo.com

^۲دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه کاشان، hejazi.mohsen@kashanu.ac.ir

^۳دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه کاشان، zoghi@kashanu.ac.ir

چکیده - روش دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA) یکی از راهکارهای کارآمد برای بهبود بازدهی طیفی در شبکه‌های بی‌سیم نسل پنجم (5G) است. یک چالش اساسی در روش NOMA جفت‌سازی کاربران، به معنای انتخاب زوج کاربران مناسب از بین کاربران موجود در سلول به منظور انجام تکنیک NOMA است. در این مقاله به ارائه و بررسی روش‌های ساده و کارآمد جفت‌سازی کاربران در یک سیستم نسل پنجم مشارکتی مبتنی بر NOMA پرداخته شده است که در آن کاربر دارای شرایط کانالی بهتر (کاربر دوم) به عنوان رله به کاربر دارای شرایط کانالی بدتر (کاربر اول) کمک می‌کند. به منظور بهبود پایداری ارتباط و افزایش گذردهی به ترتیب روش‌های انتقال همزمان داده و توان بی‌سیم (SWIPT) و شکل‌دهی پرتو نیز به کار گرفته شده‌اند. به منظور بیشینه کردن نرخ داده کاربر دوم و رفع نیازهای کیفیت سرویس (QoS) کاربر اول، مساله بهینه‌سازی روی ضریب تسهیم توان در رله و بردار شکل‌دهی پرتو در فرستنده بیان شده است. در نهایت عملکرد کلی سیستم برای روش‌های مختلف جفت‌سازی از طریق شبیه‌سازی بررسی گردیده است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، می‌توان نشان داد عملکرد روش جفت‌سازی مبتنی بر انتخاب کاربران دارای بالاترین نرم کانال، با داشتن پیچیدگی محاسباتی پایین، از نظر نرخ مجموع، عملکردی نزدیک به روش بهینه دارد.

کلیدواژه - دسترسی چندگانه غیرمتعامد، جفت‌سازی کاربران، ارسال همزمان داده و توان بیسیم، بهینه‌سازی گذردهی، تخصیص منابع، شکل‌دهی پرتو.

۱- مقدمه

در بازدهی طیفی و نرخ کاربران می‌گردد. در تحقیقات قبلی، عملکرد حالت $MISO^{\text{e}}$ -NOMA از نظر میزان بهبود نرخ مورد بررسی قرار گرفته است [۵-۷]. طرح‌های NOMA مشارکتی به کمک رله، شامل کاربران در مرکز سلول با شرایط کانالی قوی و یا رله اختصاصی، برای کاهش قطعی در کاربران مرز سلول و همچنین معماری گیرنده عملی در [۸] بررسی شده است. علاوه بر نیاز به بهره‌وری طیفی (SE^{v}) بالا، بهره‌وری انرژی (EE^{a}) بالا نیز یک شاخص کلیدی عملکرد در 5G است. به عنوان یک راه‌حل امیدوارکننده برای بهبود EE ، برداشت انرژی از محیط برای تامین انرژی سیستم ارتباطی در چند سال گذشته به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است [۹]. از آنجا که سیگنال‌های فرکانس رادیویی می‌توانند هم اطلاعات و هم انرژی داشته باشند، ارسال همزمان اطلاعات و توان بیسیم ($SWIPT^{\text{a}}$) که

در سال‌های اخیر تکنیک دسترسی چندگانه غیرمتعامد ($NOMA^{\text{1}}$) به عنوان یک تکنیک توانمند برای افزایش بازدهی طیفی در مخابرات نسل پنجم و همچنین برای پشتیبانی از ارتباطات حجیم در اینترنت اشیا (IoT^{z}) معرفی شده است [۱]. ایده کلیدی در NOMA، دسترسی چندگانه در حوزه توان است که در آن با سرویس‌دهی چند کاربر در یک بلوک مشابه فرکانسی، زمانی یا کد، می‌تواند بازدهی طیفی سیستم را بهبود دهد. با اعمال این روش و روش حذف تداخل پی‌درپی^۳ (SIC) در گیرنده، طرح NOMA عملکرد سیستمی بهتری از روش دسترسی چندگانه متعامد^۴ (OMA) خواهد داشت [۲-۴]. ترکیب NOMA و $MIMO^{\text{d}}$ منجر به بهبود قابل توجه

^۶ Multiple Input-Single Output

^۷ Spectral Efficiency

^۸ Energy Efficiency

^۹ Simultaneous Wireless Information and Power Transfer

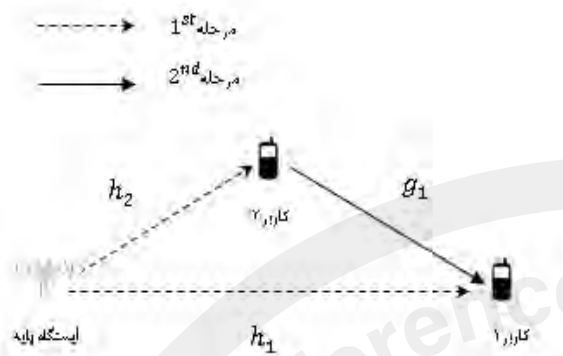
^۱ non-Orthogonal Multiple Access

^۲ Internet of Things

^۳ Successive Interference Cancellation

^۴ Orthogonal Multiple Access

^۵ Multiple Input-Multiple Output



شکل ۱: مدل سیستم برای ارسال NOMA فرسو دو مرحله‌ای.

۲-۱- مرحله ارسال مستقیم

در این مرحله، BS سیگنال ارسالی را به صورت $X = w_1x_1 + w_2x_2$ تولید کرده و برای کاربران ۱ و ۲ می‌فرستد، که در آن $x_1, x_2 \in \mathbb{C}$ به ترتیب پیام‌های مستقل و با توزیع یکسان (i.i.d.) مربوط به کاربر ۱ و ۲ است. توان سمبل‌های ارسالی به صورت $E|x_1|^2 = E|x_2|^2 = 1$ نرمالیزه شده است. بردارهای $w_1, w_2 \in \mathbb{C}^{N_t}$ بردارهای ضرایب شکل دهی پرتو ارسالی مربوط به هر پیام هستند که باید قید توان در $\|w_1\|^2 + \|w_2\|^2 \leq 1$ را برآورده نمایند. بنابراین سیگنال دریافتی در کاربر ۱ به صورت زیر است:

$$y_1^{(1)} = \sqrt{P_s} \tilde{h}_1^H (w_1x_1 + w_2x_2) + Z_1^{(1)} \quad (1)$$

که در آن، P_s توان ارسالی در BS و $\tilde{h}_1 \in \mathbb{C}^{N_r}$ بردار ضرایب کانال بین BS و کاربر ۱ است. $Z_1^{(1)} \sim CN(0, \sigma_1^2)$ نویز سفید گوسی جمع شونده در کاربر ۱ است. در نتیجه، نسبت سیگنال به تداخل به اضافه نویز (SINR) در کاربر ۱ برای آشکار سازی x_1 به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$SINR_1^{(1)} = \frac{P_s |\tilde{h}_1^H w_1|^2}{P_s |\tilde{h}_1^H w_2|^2 + \sigma_1^2} = \frac{|\tilde{h}_1^H w_1|^2}{|\tilde{h}_1^H w_2|^2 + 1} \quad (2)$$

که در آن $\tilde{h}_1 = \frac{\sqrt{P_s}}{\sigma_1} \tilde{h}_1$ تعریف شده است.

برای کاربر ۲، ساختار تسهیم توان برای انجام SWIPT در شکل ۲ ترسیم شده است. بخش مربوط به کدبرداری اطلاعات از سیگنال دریافتی کاربر ۲ به صورت زیر است:

$$y_2^{(1)} = \sqrt{P_s} \sqrt{1 - \beta} \tilde{h}_2^H (w_1x_1 + w_2x_2) + Z_2^{(1)} \quad (3)$$

در ابتدا در [۱۰] معرفی شده، در جامعه تحقیقاتی ارتباطات، توجه زیادی را به خود جلب نموده است [۱۱، ۱۲]. طراحی فرستنده برای SWIPT در یک کانال تداخلی MISO در [۱۱] در نظر گرفته شده است. در مقاله [۱۳]، از NOMA و SWIPT استفاده شده است. در این مقاله، روش SWIPT در کاربران نزدیک به منظور تامین توان مورد نیاز آن‌ها به منظور انجام عملیات رله، به کار گرفته شده است. برای این منظور، یک طرح انتخاب جفت کاربر (روش جفت‌سازی) بر اساس بهترین کاربر نزدیک و بهترین کاربر دور (BNBF) پیشنهاد شده است.

در این مقاله، با در نظر گرفتن پروتکل SWIPT NOMA مشارکتی و ارسال بهینه [۱۴ و ۱۵]، روش‌های مختلف جفت‌سازی کاربران پیشنهاد شده و با هم مقایسه شده‌اند. در بخش ۲ به بیان مدل سیستم و توضیح مختصر پروتکل SWIPT NOMA مشارکتی و بیان مساله بهینه‌سازی حاصل از آن می‌پردازیم. در بخش ۳، روش حل مساله بهینه‌سازی بیان شده است. روش‌های جفت‌سازی کاربران در بخش ۴ پیشنهاد شده‌اند. در بخش ۵، به کمک شبیه‌سازی به مقایسه روش‌های ارائه شده می‌پردازیم. در نهایت بخش ۶، به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲- مدل مسئله

یک سیستم ارسال مشارکتی MISO فرسو بر اساس شکل ۱ در نظر گرفته شده است [۱۴ و ۱۵]. BS دارای N_t آنتن و کاربران تک آنتنی هستند. کاربران به طور تصادفی در ناحیه مورد نظر قرار می‌گیرند. از بین کاربران موجود (بر اساس روش‌های ارائه شده در بخش ۴)، دو کاربر برای انجام روش NOMA انتخاب می‌شوند دو مرحله در ارسال مشارکتی وجود دارد. در مرحله اول یا مرحله ارسال مستقیم، BS به ارسال سیگنال می‌پردازد. کاربر ۱ (کاربر ضعیف‌تر از نظر شرایط کانال) سیگنال را به طور مستقیم دریافت می‌کند. کاربر ۲ (کاربر قوی‌تر از نظر شرایط کانال)، از SWIPT کمک می‌گیرد، به این صورت که سیگنال دریافتی این کاربر به دو بخش تقسیم می‌شود: یک بخش برای کدبرداری اطلاعات و بخش دیگر برای برداشت انرژی. سپس در مرحله دوم یا مرحله ارسال مشارکتی، کاربر ۲ پیام بازبازی شده را توسط انرژی برداشت شده در مرحله اول برای کاربر ۱ ارسال می‌کند. در نهایت، کاربر ۱، سیگنال‌های دریافتی در مراحل اول و دوم را با روش ترکیب بیشترین نسبت^{۱۱} (MRC) ترکیب و سپس کدبرداری می‌کند. جزئیات مراحل ذکر شده در ادامه بیان می‌شود.

^{۱۱} Maximal-Ratio Combining

^{۱۱} Best Near Best Far

۲-۲- مرحله ارسال مشارکتی

در این مرحله، کاربر ۲ با استفاده از انرژی برداشتی سیگنال x_1 را برای کاربر ۱ ارسال می‌کند. در نتیجه، کاربر ۱ سیگنالی به صورت زیر دریافت می‌کند:

$$y_1^{(2)} = \sqrt{P_t} g_1 x_1 + z_1^{(2)} \quad (9)$$

که در آن، $g_1 \in \mathbb{C}$ ضریب کانال بین کاربر ۲ و کاربر ۱ و $z_1^{(2)} \sim CN(0, \sigma_1^2)$ نویز جمع‌شونده گوسی در کاربر ۱ است. در نتیجه SNR برای آشکارسازی x_1 در کاربر ۱ به صورت زیر قابل بیان است:

$$SNR_{1,x_1}^{(2)} = \beta g (|h_2^H w_1|^2 + |h_2^H w_2|^2) \quad (10)$$

که در آن $g = |g_1|^2$.

در پایان مرحله ۲، کاربر ۱ پیام x_1 را به طور مشترک براساس سیگنال‌های دریافتی از BS و کاربر ۲ با روش MRC کدبرداری می‌کند. از این رو، معادله SINR در کاربر ۱ به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$SNR_{1,x_1} = SNR_{1,x_1}^{(1)} + SNR_{1,x_1}^{(2)} = \frac{|h_1^H w_1|^2}{|h_1^H w_2|^2 + 1} + \beta g (|h_2^H w_1|^2 + |h_2^H w_2|^2) \quad (11)$$

۲-۳- مسأله بهینه‌سازی

هدف از طراحی سیستم، بیشینه‌سازی نرخ داده کاربر ۲ و همچنین تضمین الزامات QoS برای کاربر ۱ به وسیله تعیین بهینه ضریب تسهیم توان در رله و ضرایب شکل‌دهی پرتو در فرستنده است. لازم به ذکر است که بیشینه‌سازی نرخ کاربر ۲ معادل حداکثرسازی SNR آن است. در نهایت روابط فوق به مسأله بهینه‌سازی زیر منجر می‌شود:

$$P1: \max_{\beta, w_1, w_2} (1 - \beta) |h_2^H w_1|^2 \quad (12)$$

$$s.t. \frac{(1 - \beta) |h_2^H w_1|^2}{(1 - \beta) |h_2^H w_2|^2 + 1} \geq \gamma_1 \quad (13)$$

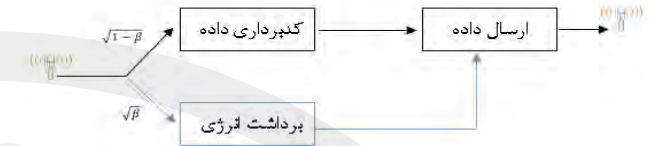
$$\frac{|h_1^H w_1|^2}{|h_1^H w_2|^2 + 1} + \beta g (|h_2^H w_1|^2 + |h_2^H w_2|^2) \geq \gamma_1 \quad (14)$$

$$0 \leq \|w_1\|^2 + \|w_2\|^2 \leq 1 \quad (15)$$

$$0 \leq \beta \leq 1 \quad (16)$$

در مسأله بهینه‌سازی فوق، در رابطه (۱۲)، هدف بیشینه کردن SINR در آشکارسازی پیام x_2 است که معادل حداکثر کردن نرخ کاربر ۲ است. قیدهای (۱۳) و (۱۴)، مربوط به آشکارسازی پیام x_1

در اینجا ضریب $\beta \in [0, 1]$ نسبت تسهیم توان را نشان می‌دهد. $z_2^{(1)} \sim CN(0, \sigma_2^2)$ بردار ضرایب کانال بین BS و کاربر ۲ و نویز سفید گوسی جمع‌شونده است.



شکل ۲: ساختار تقسیم توان برای کاربر ۲.

باتوجه به اصول NOMA، فرآیند SIC در کاربر ۲ اجرا می‌شود. یعنی کاربر ۲ ابتدا پیام کاربر ۱ را کدبرداری می‌کند. سپس این پیام را از سیگنال دریافتی، به منظور دستیابی به پیام خود، کم می‌کند. رابطه SINR مربوط به آشکارسازی x_1 در کاربر ۲ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$SINR_{2,x_1}^{(1)} = \frac{(1 - \beta) |h_2^H w_1|^2}{(1 - \beta) |h_2^H w_2|^2 + 1} \quad (4)$$

مقدار فوق نباید از γ_1 کمتر باشد که حداقل SINR مورد نیاز برای آشکارسازی پیام x_1 با حداقل نرخ لازم (برای تامین کیفیت سرویس مطلوب کاربر ۱) را نشان می‌دهد. در نتیجه یکی دیگر از قیدهای مسأله به این صورت است:

$$\frac{(1 - \beta) |h_2^H w_1|^2}{(1 - \beta) |h_2^H w_2|^2 + 1} \geq \gamma_1 \quad (5)$$

سپس کاربر ۲، x_1 را از $y_2^{(1)}$ برای کدبرداری پیام x_2 خود کم می‌کند. SNR مربوطه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$SNR_{2,x_2}^{(1)} = (1 - \beta) |h_2^H w_2|^2 \quad (6)$$

همچنین انرژی برداشت شده توسط کاربر ۲ در مرحله اول به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۵]:

$$E = P_s \beta (|\tilde{h}_2^H w_1|^2 + |\tilde{h}_2^H w_2|^2) \tau \quad (7)$$

که در آن، τ کسر زمان ارسال برای مرحله اول را نشان می‌دهد (زمان مرحله دوم برابر $1 - \tau$ است). با فرض زمان یکسان برای دو مرحله، $\tau = \frac{1}{2}$ در نظر گرفته می‌شود. همچنین فرض می‌کنیم برای ارسال اطلاعات، فقط از انرژی برداشت شده استفاده شود. بنابراین توان ارسال برای کاربر ۲ به صورت زیر است:

$$P_t = \frac{E}{1 - \tau} = P_s \beta (|\tilde{h}_2^H w_1|^2 + |\tilde{h}_2^H w_2|^2) \quad (8)$$

به کمک تعریف یک متغیر کمکی $x \geq 0$ ، قید (۱۴) را نیز می‌توان با دو قید زیر جایگزین نمود:

$$Tr(\mathbf{H}_1 \mathbf{W}_1) - x Tr(\mathbf{H}_1 \mathbf{W}_2) \geq x \quad (20)$$

$$Tr(\mathbf{H}_2 \mathbf{W}_1) + Tr(\mathbf{H}_2 \mathbf{W}_2) \geq \frac{\gamma_1 - x}{\beta g} \quad (21)$$

این دو قید غیر محدب هستند. قید (۲۰) با استفاده از روش مبتنی بر تکرار SCA و نامساوی میانگین هندسی-حسابی^{۱۵} (AGM) به صورت قید محدب زیر تقریب زده می‌شود:

$$(a^{(n)} x)^2 + (Tr(\mathbf{H}_1 \mathbf{W}_2) / a^{(n)})^2 \leq 2 Tr(\mathbf{H}_1 \mathbf{W}_1) - 2x \quad (22)$$

که در آن $a^{(n)}$ مقدار a در تکرار n ام بوده و توسط رابطه زیر به روزرسانی می‌شود:

$$a^{(n)} = \sqrt{(Tr(\mathbf{H}_1 \mathbf{W}_2))^{(n-1)} / x^{(n-1)}} \quad (23)$$

قید (۲۱) را نیز می‌توان با دو قید زیر، شامل یک قید درجه دوم و یک قید نامساوی ماتریس خطی^{۱۶} (LMI) جایگزین کرد:

$$t^2 \geq \gamma_1 - x \quad (24)$$

$$\begin{bmatrix} g\beta & t \\ t & Tr(\mathbf{H}_2(\mathbf{W}_1 + \mathbf{W}_2)) \end{bmatrix} \succeq 0 \quad (25)$$

قید (۲۵) یک قید محدب است. اما قید (۲۴) غیرمحدب بوده که در ادامه به آن خواهیم پرداخت.

با استفاده از فرم اپیگراف^{۱۷} [۱۸]، تابع هدف در P1 به صورت معادل زیر قابل بیان است:

$$\max_{u,v,\beta,W_2} u \quad (26)$$

$$s.t. v^2 \geq u \quad (27)$$

$$\begin{bmatrix} (1-\beta) & v \\ v & Tr(\mathbf{H}_2 \mathbf{W}_2) \end{bmatrix} \succeq 0 \quad (28)$$

که در روابط فوق، تابع هدف جدید خطی است. قید (۲۷) یک نامساوی درجه دوم غیرمحدب و قید (۲۸) یک نامساوی LMI محدب است.

تا به اینجا، تنها دو قید (۲۴) و (۲۷) غیرمحدب هستند که با استفاده از روش SCA و تقریب بسط تیلور مرتبه اول، می‌توان آن‌ها را به ترتیب با قیدهای محدب (۳۱) و (۳۰) در مسئله زیر تقریب زد. بنابراین می‌توان گفت بر اساس روش SCA و مباحث فوق، مسئله بهینه‌سازی P1 به صورت تکراری قابل حل است [۱۹] که در هر تکرار آن مسئله محدب زیر باید حل شود:

به ترتیب در کاربر ۲ و کاربر ۱ به منظور تضمین حداقل نرخ لازم (معادل حداقل SINR لازم γ_1) هستند. لازم به ذکر است پیام x_1 ، یک بار در کاربر ۲ و یک بار هم در کاربر ۱ آشکار سازی می‌شود. از آنجایی که نرخ آشکار سازی نهایی پیام x_1 برابر کمینه نرخ‌های دو مرحله خواهد بود، پس در هر دو مرحله باید SINR مربوط به x_1 ، بیشتر از γ_1 باشد. قید (۱۵)، قید حداکثر توان ار سالی در ایستگاه پایه و قید (۱۶) محدوده مجاز ضریب تسهیم توان در روش SWIPT را نشان می‌دهد.

P1 یک مسئله غیرمحدب با چالش‌های زیادی از جمله ممزوج بودن ضریب تسهیم توان با جملات درجه ۲ مربوط به ضرایب شکل-دهی پرتو، در تابع هدف و همین‌طور قیدهای مسئله است. با استفاده از روش آزادسازی نیمه معین^{۱۲} (SDR) و در نهایت با یک الگوریتم تکراری بر اساس تقریب محدب پی‌درپی^{۱۳} (SCA)، مسئله حاضر به صورت تقریبی حل می‌شود.

۳- حل مسئله بهینه‌سازی

در این قسمت ابتدا روش SDR به مسئله بهینه‌سازی P1 اعمال شده [۱۷] و سپس اصلاحاتی بر روی بخش‌های غیرمحدب به منظور تبدیل آن‌ها به تابع هدف و قیود محدب صورت می‌گیرد. در نهایت، یک الگوریتم تکراری بر اساس SCA برای حل تقریبی این مسئله ارائه می‌گردد.

ابتدا دو ماتریس نیمه معین مثبت^{۱۴} (PSD)، \mathbf{W}_1 و \mathbf{W}_2 به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathbf{W}_i = \mathbf{w}_i \mathbf{w}_i^H \succeq 0, \quad i = 1, 2 \quad (17)$$

با این تعریف باید دو قید $i = 1, 2, \text{rank}(\mathbf{W}_i) = 1$ نیز به مسئله بهینه‌سازی اضافه شوند، ولی بر اساس روش SDR، این دو قید غیرمحدب را در نظر نمی‌گیریم. می‌توان نشان داد کنار گذاشتن این دو قید، جواب بهینه مسئله را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد [۱۴].

با توجه به (۱۷)، قیدهای (۱۳) و (۱۵) به ترتیب به صورت قیدهای محدب زیر قابل بازنویسی‌اند:

$$Tr(\mathbf{H}_2 \mathbf{W}_1) - \gamma_1 Tr(\mathbf{H}_2 \mathbf{W}_2) \geq \frac{\gamma_1}{1-\beta} \quad (18)$$

$$0 \leq Tr(\mathbf{W}_1 + \mathbf{W}_2) \leq 1, \quad \mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2 \succeq 0 \quad (19)$$

که در آن $i = 1, 2, \mathbf{H}_i = \mathbf{h}_i \mathbf{h}_i^H$ است. همچنین عملگر $Tr(\mathbf{A})$ مجموع عناصر روی قطر اصلی ماتریس \mathbf{A} را نشان می‌دهد.

^{۱۵} Arithmetic-Geometric Mean

^{۱۶} Linear Matrix Inequality

^{۱۷} Epigraph Form

^{۱۲} Semidefinite Relaxation

^{۱۳} Successive Convex Approximation

^{۱۴} Positive Semidefinite

۲. انتخاب تصادفی از بین کاربران:

در این روش، دو کاربر از بین کاربران به طور تصادفی برای انجام NOMA انتخاب می‌شوند. نرخ مجموع جفت کاربر NOMA محاسبه شده و نرخ مجموع دو کاربر دیگر بدون جفت‌سازی و با روش OMA تعیین می‌گردد. در نهایت نرخ مجموع چهار کاربر به دست می‌آید.

۳. بر اساس بیشترین فاصله بین دو کاربر:

در این روش، انتخاب جفت کاربر براساس تفاوت فاصله کاربران است. در این روش ابتدا فاصله کاربران از یکدیگر محاسبه شده و دو کاربر با بیشترین تفاوت فاصله برای اجرای NOMA انتخاب می‌گردند. الگوریتم بهینه‌سازی برای این جفت کاربر اجرا شده و نرخ مجموع به همراه نرخ مجموع دو کاربر OMA به دست می‌آید.

۴. بر اساس بیشترین و کمترین نرم کانال کاربران:

در این روش انتخاب جفت کاربر NOMA بر اساس بیشترین و کمترین نرم کانال کاربران است. به این صورت که انتخاب یک کاربر با بهترین شرایط کانالی و انتخاب یک کاربر با بدترین شرایط کانالی صورت می‌گیرد. ارسال اطلاعات برای دو کاربر باقیمانده بر اساس OMA صورت گرفته و در نهایت نرخ مجموع چهار کاربر محاسبه می‌گردد.

۵. بر اساس بهترین نرم‌های کانال کاربران:

در این روش انتخاب جفت کاربر NOMA براساس بهترین نرم‌های کانال کاربران انجام می‌شود، که به معنای انتخاب جفت کاربر با بهترین شرایط کانالی است. ارسال اطلاعات برای دو کاربر باقیمانده بر اساس OMA صورت گرفته و در نهایت نرخ مجموع چهار کاربر محاسبه می‌شود.

۶. ارسال از طریق OMA بدون انتخاب کاربر:

در این روش، به منظور مقایسه روش‌های NOMA و OMA، ارسال اطلاعات برای کاربران بدون استفاده از روش NOMA و بدون جفت‌سازی صورت می‌گیرد. نرخ مجموع چهار کاربر در حالت OMA محاسبه می‌گردد.

۵- شبیه‌سازی

در بخش شبیه‌سازی چهار کاربر در یک اتاق 5×6 متری به طور تصادفی در اطراف یک BS با مختصات $(0, 2, 5)$ در نظر گرفته شده‌اند. افت مسیر وابسته به فاصله $P_L = 10^{-3} d^{-\alpha}$ مدل‌سازی می‌شود. d فاصله به متر و α مولفه افت مسیر است. مولفه افت مسیر برای کاربر ضعیف برابر $\alpha_1 = 4$ و برای کاربر قوی برابر $\alpha_2 = 2$ فرض می‌شود. همچنین چگالی یک طرفه نویز برابر $N_0 = -90 \text{ dBm/Hz}$ و پهنای باند 1 MHz و در نتیجه توان نویز برابر -30 dBm فرض می‌شود. با اعمال مدل کانال محوشدگی رایسین مدل کانال فرسوسو به صورت زیر

$$P2: \max_{u,v,t,x} w_1 w_2 \beta \quad u \quad (29)$$

$$\text{s.t. } 2v^{(n)}v - (v^{(n)})^2 \geq u \quad (30)$$

$$2t^{(n)}t - (t^{(n)})^2 \geq \gamma_1 - x \quad (31)$$

(۲۸) و (۲۵)، (۲۲)، (۱۹)، (۱۸)، (۱۶)

که در آن $v^{(n)}$ و $t^{(n)}$ نشان‌دهنده مقدار v و t در تکرار n ام است. در مسأله فوق، تابع هدف خطی و تمام هشت قید آن محدب هستند.

مسأله P2 یک مسأله محدب است و با حل‌کننده‌های محدب مانند CVX به سادگی قابل حل است [۱۵].

۴- روش جفت‌سازی کاربران

به کمک پروتکل‌های ارسال بهینه و راه‌حل‌های ارائه شده در بخش قبل، در این بخش به دنبال روش‌های انتخاب کاربر با هدف یافتن نرخ مجموع بیشینه در حالت‌های بهینه و زیربهینه به منظور کاهش پیچیدگی محاسباتی سیستم هستیم. انتخاب هوشمندانه و فرصت طلبانه جفت کاربران با استفاده از اطلاعات موجود در سیستم، باعث کاهش زمان استفاده از پردازشگر سیستم و تکرار کمتر الگوریتم برای رسیدن به نرخ بهینه خواهد شد.

در اینجا ابتدا چهار کاربر با مکان تصادفی در یک فضای 5×6 متری قرار می‌گیرند. با توجه روش به کارگرفته شده دو کاربر انتخاب می‌شود. با استفاده از الگوریتم NOMA معرفی شده، نرخ مجموع این دو کاربر به دست می‌آید. همچنین با OMA نرخ مجموع دو کاربر دیگر و در نهایت نرخ مجموع چهار کاربر محاسبه می‌شود. این کار را برای تمام حالت‌های ممکن برای این چهار کاربر تکرار می‌کنیم و نرخ مجموع را به دست می‌آوریم. بعد از اتمام تمام حالت‌ها، بیشترین نرخ به دست آمده را به عنوان بهترین نرخ مجموع (نرخ مجموع بهینه) در نظر می‌گیریم. چیزی که در اینجا حائز اهمیت است، انتخاب دو کاربر برای انجام عملیات NOMA است. ابتدا با توجه به توضیحات قبلی، به کمک روش جستجوی جامع بین تمام حالت‌های ممکن، نرخ مجموع بهینه برای چهار کاربر (دو کاربر با NOMA و دو کاربر باقیمانده با OMA) را پیدا می‌کنیم. همچنین به کمک ۶ روش زیر نیز نرخ مجموع قابل حصول را می‌یابیم تا در بخش شبیه‌سازی مقایسه نماییم.

روش‌های انتخاب جفت کاربر با توجه امکان‌های موجود به صورت زیر است:

۱. نزدیک‌ترین کاربر به BS و دورترین کاربر به BS:

در این روش نزدیک‌ترین و دورترین کاربران بر اساس فاصله آن‌ها از BS انتخاب می‌شود. در اینجا عمده پردازش برای مقایسه فاصله کاربران از BS است.

بیان می‌شود:

$$\tilde{h}_2 = \sqrt{\frac{K}{K+1}} h_2^{LOS} + \sqrt{\frac{1}{K+1}} h_2^{NLOS}$$

$$\tilde{g}_1 = \sqrt{\frac{K}{K+1}} g_1^{LOS} + \sqrt{\frac{1}{K+1}} g_1^{NLOS}$$

$K=3$ فاکتور رایسیسن، h_2^{LOS} و g_1^{LOS} پیرو مولفه قطعی LOS و \tilde{h}_1 ، h_2^{NLOS} ، g_1^{NLOS} مولفه محوشدگی رایلی با میانگین صفر و واریانس یک است. تمام نتایج شبیه سازی روی هزار بار تکرار کانال مستقل میانگین گیری شده است.

نتایج مربوط به شبیه سازی مقایسه نرخ مجموع برای روش های مختلف انتخاب جفت کاربر بر حسب توان ارسالی، برای چهار کاربر با مکان تصادفی، در شکل ۳ نشان داده شده است. در شکل ۳ روش ها به صورت زیر نامگذاری شده است:

روش بهینه (جستجوی کامل بین تمام حالت های ممکن): *Opt*.
روش انتخاب نزدیک ترین و دورترین کاربر از *BS*: *Near-Far* روش تصادفی: *Rand*. روش انتخاب بر اساس بیشترین فاصله بین دو کاربر: *Max-D* روش بر اساس بیشترین و کمترین نرم کانال کاربران: *MaxMin-N*. روش با ارسال از طریق *OMA* و بدون انتخاب کاربر: *2Best-N*. روش با ارسال از طریق *OMA* و بدون انتخاب کاربر: *OMA*.
با توجه به این شکل واضح است که عملکرد تمام روش های دارای جفت سازی و *NOMA* از حالت *OMA* (ارسال اطلاعات برای کاربران بدون جفت سازی و *NOMA*) بهتر است. همچنین تمام روش های دارای *NOMA*، از روش انتخاب تصادفی عملکرد بهتری دارند که نشان دهنده مناسب بودن ایده روش ها است.

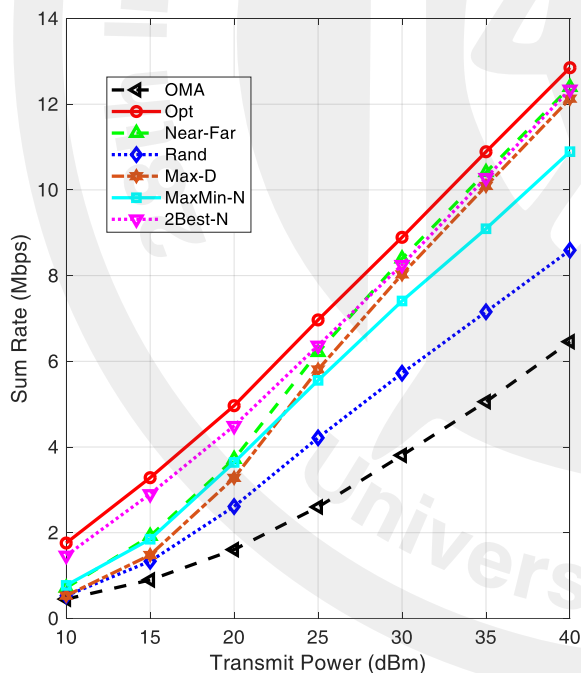
همچنین، با توجه به نمودارها می توان فهمید که دو روش انتخاب کاربر بر اساس فاصله از *BS* (دورترین و نزدیک ترین) و انتخاب جفت کاربر بر اساس بیشترین فاصله دو کاربر از هم، عملکردی زیر بهینه و نزدیک به هم دارند. البته در تمام مقادیر توان، عملکرد روش اول از روش دوم بالاتر بوده و شرایط بهتری را ایجاد می کند. همچنین عملکرد آن ها در توان های بالا (بیشتر از $25dBm$) به روش بهینه نزدیک تر می شود.

با توجه به نمودار، روش انتخاب یک کاربر بر اساس بهترین شرایط کانال (بیشترین نرم کانال) و کاربر دیگر با بدترین شرایط کانال (کمترین نرم کانال) به عنوان جفت کاربر، عملکردی شبیه به دو روش قبلی (روش های مبتنی بر فاصله) در توان ارسال کمتر از $25dBm$ دارد ولی در توان های بالاتر عملکرد آن بدتر می شود.

یکی دیگر از مسائلی که همیشه به عنوان یکی از شروط اصلی در *NOMA* مطرح می شود تفاوت شرایط کانال کاربران برای جفت سازی است. یکی از روش هایی که در اینجا شبیه سازی شده، انتخاب

جفت کاربر بر اساس بهترین شرایط کانال (انتخاب دو تا بیشترین نرم های کانال) است. یک نتیجه جالب برای این روش، عملکرد نزدیک این روش به روش بهینه در توان های مختلف است. به عبارتی می توان این نتیجه را گرفت که *NOMA* برای جفت کاربران با بهترین شرایط کانالی عملکرد مناسبی داشته و نرخ مجموع کاربران را بهبود می دهد. مطلب قابل توجه دیگر اینکه، با توجه به اختلاف زیاد سایر روش ها با روش *OMA* در توان های بالا، روش انتخاب جفت کاربر در توان ارسال بالا اهمیت پیدا می کند و حتما باید در نظر گرفته شود تا به نرخ و *QoS* بالاتر دست پیدا کنیم.

در شکل ۴، مصالحه نرخ برای دو کاربر *NOMA* انتخاب شده به ازای $Ps=35 dBm$ نشان داده شده است. در این شکل، نرخ قابل حصول برای کاربر دوم به ازای نرخ های هدف مختلف برای کاربر اول برای روش های مختلف جفت سازی رسم شده است. باز هم مشاهده می گردد که تمام روش ها، از روش انتخاب تصادفی عملکرد بهتری دارند. همچنین، روش انتخاب جفت کاربر بر اساس بهترین شرایط کانال (انتخاب دو تا بیشترین نرم های کانال) نزدیک ترین عملکرد به روش بهینه را دارد.



شکل ۳: مقایسه نرخ مجموع روش های مختلف انتخاب جفت کاربر برای چهار کاربر با مکان تصادفی

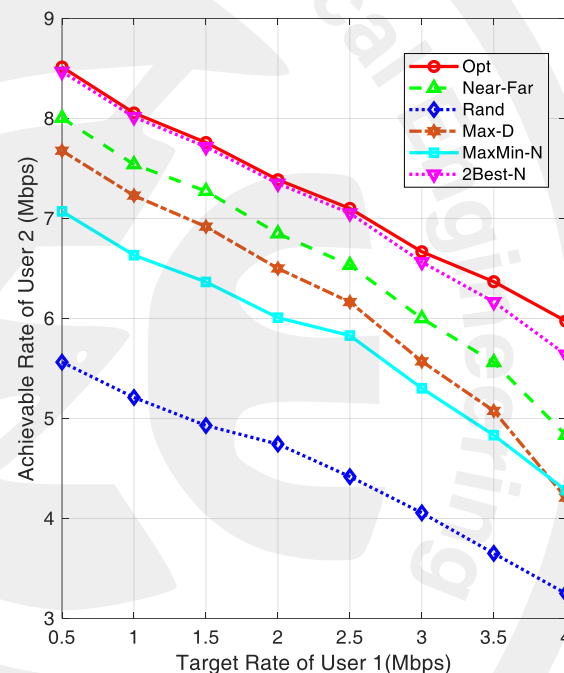
۶- نتیجه گیری

در این مقاله روش های ساده و کارآمد جفت سازی کاربران برای انجام روش *NOMA* در یک سیستم نسل پنجم مشارکتی ارائه و

on downlink non-orthogonal multiple access (NOMA) combined with closed-loop SU-MIMO," in *2014 8th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)*, 2014, pp. 1-5: IEEE.

- [7] Q. Sun, S. Han, I. Chin-Lin, and Z. Pan, "On the ergodic capacity of MIMO NOMA systems," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 4, no. 4, pp. 405-408, 2015.
- [8] Z. Ding, M. Peng, and H. V. Poor, "Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems," *IEEE Communications Letters*, vol. 19, no. 8, pp. 1462-2015
- [9] O. Ozel, K. Tutuncuoglu, J. Yang, S. Ulukus, and A. Yener, "Transmission with energy harvesting nodes in fading wireless channels: Optimal policies," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 29, no. 8, pp. 1732-1743, 2011.
- [10] L. R. Varshney, "Transporting information and energy simultaneously," in *2008 IEEE International Symposium on Information Theory*, 2008, pp. 1612-1616: IEEE.
- [11] C. Shen, W.-C. Li, and T.-H. Chang, "Wireless information and energy transfer in multi-antenna interference channel," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 62, no. 23, pp. 6249-6264, 2014.
- [12] R. Zhang and C. K. Ho, "MIMO broadcasting for simultaneous wireless information and power transfer," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 5, pp. 1989-2001, 2013.
- [13] N. T. Do, D. B. Da Costa, T. Q. Duong, and B. An, "A BNB user selection scheme for NOMA-based cooperative relaying systems with SWIPT," *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 3, pp. 664-667, 2016.
- [14] Y. Xu et al., "Joint beamforming and power-splitting control in downlink cooperative SWIPT NOMA systems," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 65, no. 18, pp. 4874-4886, 2017.
- [15] H. Zaeri, M. Hejazi, and M. R. Zoghi, "Beamforming and Power Splitting in Cooperative 5G systems based on SWIPT, NOMA, and Sun Energy Harvesting," *Journal of Advanced Signal Processing (JASP)*, in Persian, 2019.
- [16] Q. Shi, C. Peng, W. Xu, M. Hong, and Y. Cai, "Energy efficiency optimization for MISO SWIPT systems with zero-forcing beamforming," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 64, no. 4, pp. 842-854, 2015.
- [17] W.-K. K. Ma, "Semidefinite relaxation of quadratic optimization problems and applications," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 1053, no. 5888/10, 2010.
- [18] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex optimization*. Cambridge university press, 2004.
- [19] W. Li, T. Chang, C. Lin and C. Chi, "Coordinated Beamforming for Multiuser MISO Interference Channel Under Rate Outage Constraints," in *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 61, no. 5, pp. 1087-1103, 2013.

بررسی شد. به منظور بهبود پایداری ارتباط و افزایش گذردهی به ترتیب روش‌های انتقال همزمان داده و توان بی‌سیم و شکل‌دهی پرتو نیز به کار گرفته شدند. به منظور بیشینه کردن نرخ داده کاربر دوم و رفع نیازهای کیفیت سرویس کاربر اول، مساله بهینه‌سازی روی ضریب تسهیم توان در رله و بردار شکل‌دهی پرتو در فرستنده بیان شد. در نهایت عملکرد کلی سیستم برای روش‌های مختلف جفت‌سازی از طریق شبیه‌سازی بررسی گردید. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، نشان دادیم عملکرد روش جفت‌سازی مبتنی بر انتخاب کاربران دارای بالاترین نرم کانال، با داشتن پیچیدگی محاسباتی پایین، از نظر نرخ مجموع، عملکردی نزدیک به روش بهینه دارد.



شکل ۴: مصالحه نرخ برای دو کاربر NOMA به ازای $P_s=35$ dBm

مراجع

- [1] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access," in *2013 IEEE 77th vehicular technology conference (VTC Spring)*, 2013, pp. 1-5: IEEE.
- [2] Z. Ding, P. Fan, and H. V. Poor, "Impact of user pairing on 5G nonorthogonal multiple-access downlink transmissions," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 8, pp. 6010-6023, 2015.
- [3] Z. Ding, Z. Yang, P. Fan, and H. V. Poor, "On the performance of non-orthogonal multiple access in 5G systems with randomly deployed users," *IEEE signal processing letters*, vol. 21, no. 12, pp. 1501-1505, 2014.
- [4] D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of wireless communication*. Cambridge university press, 2005.
- [5] Z. Ding, F. Adachi, and H. V. Poor, "The application of MIMO to non-orthogonal multiple access," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, no. 1, pp. 537-552, 2015.
- [6] Y. Lan, A. Beniebboiu, X. Chen, A. Li, and H. Jiang. "Considerations