



## تخصیص بهینه توان در شبکه‌های دستگاه به دستگاه مشارکتی

جواد زراعتکارمقدم<sup>۱</sup>، محمد صادقان کردآبادی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، دانشگاه بیرجند، بیرجند، javad.zeraatkar.m@birjand.ac.ir  
<sup>۲</sup> دکتری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، mohammad.sadeghian@birjand.ac.ir

### چکیده

تجهیز نودها به آنتن‌های چندگانه در شبکه‌های مشارکتی سبب می‌شود که مبدأ و رله‌ها بتوانند مسیرهای مستقل اطلاعات را با استفاده از خصوصیات فضایی کانال تجربه نمایند و لذا نرخ شبکه افزایش قابل توجهی خواهد داشت. در این مقاله، تخصیص بهینه‌ی توان در مبدأ و هر کدام از رله‌ها به منظور ماکزیمم کردن نرخ ارسال اطلاعات در یک شبکه مشارکتی چند ورودی-چند خروجی (MIMO-CN) در نظر می‌گیریم. همچنین، از استراتژی تقویت و ارسال (AF) در رله استفاده می‌کنیم؛ چون AF پیچیدگی کمتری دارد و نیاز به کدینگ و دیکدینگ نیز ندارد. در ادامه، شبکه‌ی پیشنهادی را به دو قسمت تقسیم می‌کنیم؛ که یکی وابسته به مسیر مستقیم بین مبدأ و مقصد است و دیگری به مسیر مستقیم وابسته نیست. برای حالتی که مسیر مستقیمی بین مبدأ و مقصد وجود ندارد، عبارت رله‌ی واقعی (PR) و برای مورد بعدی عبارت رله‌ی مشارکتی (CR) را استفاده می‌کنیم. در نهایت، با تخصیص توان بهینه نودها نرخ قابل دستیابی شبکه را استفاده از روش بهینه سازی شاخه و حد (BB) ماکزیمم می‌کنیم. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که نرخ شبکه در روش پیشنهادی نسبت به حالت تخصیص مساوی توان بیشتر است و همچنین با افزایش تعداد رله‌ها و تعداد آنتن‌ها نرخ بالاتری را شاهد هستیم.

### واژه‌های کلیدی

آنتن‌های چند ورودی-چند خروجی، ارتباط دستگاه به دستگاه، استراتژی تقویت و ارسال، تخصیص بهینه توان، شبکه مشارکتی.

### مقدمه

مفهوم شبکه‌ی مشارکتی به سال‌های ۱۹۷۰ برمی‌گردد. امروزه، در تحقیقاتی که در مورد شبکه‌های بیسیم مخابراتی صورت می‌گیرد، شبکه‌های مشارکتی نیز مورد توجه قرار گرفته است. مسائلی از قبیل توزیع بهینه‌ی توان، ماکزیمم کردن طول عمر شبکه، مسیریابی توزیع

شده و طراحی پروتکل لایه‌ی MAC، در شبکه‌های مشارکتی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۱-۵].

در بسیاری از ارتباطات فعلی و گذشته بین کاربران شبکه، هر کاربر به منظور ارتباط با یکدیگر باید ابتدا داده‌ها را به BS انتقال دهد و سپس، BS آن را به مقصد منتقل کند؛ حتی زمانیکه در نزدیکی هم قرار دارند. در واقع اگر کاربران تقاضای دستیابی به شبکه را داشته باشند، BS تمامی درخواست‌های موجود را بر سر سی و بر اساس منابع تحت اختیارش آنها را به کاربران تخصیص می‌دهد. ولی در این میان ممکن است به دلیل محدود بودن منابع شبکه، بعضی درخواست‌ها حذف شوند و یا حتی ممکن است بعضی از کاربران منابع بیشتری نیاز داشته باشند. بنابراین ظرفیت محدود شبکه پاسخگوی تقاضای کاربران نیست به همین دلیل ارتباط دستگاه به دستگاه (D2D) در نظر گرفته شده است. ارتباط D2D به کاربرانی که در نزدیکی هم قرار دارند این امکان را می‌دهد که با لینک مستقیم و بدون گذر از BS به مبادله اطلاعات بپردازند که می‌تواند باعث افزایش ظرفیت شبکه شود [۶-۹].

هر چند که مطالعات زیادی در مورد شبکه‌های مشارکتی صورت گرفته است؛ ولی بیشتر مطالعاتی که بر روی بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های مشارکتی صورت گرفته است، محدود به دو طرح رله‌ی سه نودی و همچنین سیستم‌های تک آنتنی هستند. طرح رله‌ی سه نودی، در شکل ۱ نشان داده شده است. در این طرح، پیامی که از مبدأ S به سمت مقصد D ارسال می‌شوند، توسط نود R نیز رله می‌شوند به طوری که نود R نیز می‌تواند پیام را بشنود. در یک شبکه‌ی ad hoc، پیامی که توسط مبدأ ارسال می‌شود، با احتمال زیاد توسط نودهای همسایه نیز شنیده می‌شود. یکی از روش‌های مشارکتی که در این شبکه‌ها می‌توان استفاده کرد، تخصیص رله نام دارد. در این روش می‌توان یکی از نودهای همسایه را به عنوان رله انتخاب کرد؛ که تبدیل به طرح رله‌ی سه نودی خواهد شد. علیرغم سادگی این روش، این طرح تخصیص رله، مطلوب نیست چون تمام نودهای همسایه قابلیت رله شدن را دارند و می‌توان از هر یک جهت بهبود عملکرد سیستم استفاده کرد (مطابق شکل ۲).

اطلاعات دریافتی از مسیرهای مختلف در شبکه‌های MIMO-CN از لحاظ محاسباتی پیچیده است. علاوه بر این، مهم‌ترین دلیل ارجحیت AF نسبت به استراتژی دیکد و ارسال (DF) به خاطر ظرفیت شبکه است؛ چون با افزایش تعداد رله‌ها در MIMO-CN، نسبت سیگنال به نویز (SNR) مؤثر در افزایش ظرفیت در AF به صورت خطی افزایش می‌یابد در حالی که در DF ثابت است.

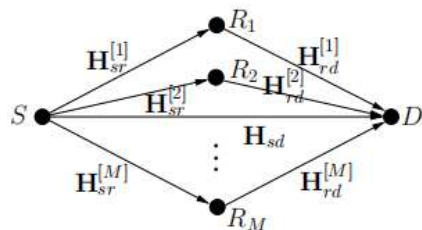
### مدل شبکه

شبکه‌ی مورد نظر، یک شبکه‌ی MIMO-CN بر اساس استراتژی AF مطابق با شکل ۳ می‌باشد. در این شبکه، نود مبدأ S پیام‌های اطلاعاتی را به سمت نود مقصد D ارسال می‌کند که در این فرآیند از M نود رله  $R_1, \dots, R_M$  نیز کمک می‌گیرد. نودهای S و D به ترتیب تعداد  $N_S$  و  $N_D$  آنتن دارند. برای راحتی، فرض می‌کنیم که هر یک از نودهای رله تعداد  $N_r$  آنتن دارند. ماتریس‌های ضرایب کانال بین مبدأ و نودهای رله و همچنین بین نودهای رله و مقصد به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$H_{sr}^i$ : ماتریس ضرایب کانال بین نود مبدأ S و نود رله‌ی i ام

$H_{rd}^i$ : ماتریس ضرایب کانال بین نود رله‌ی i و نود مقصد D

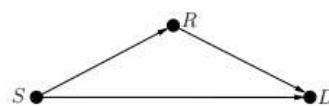
$H_{sd}$ : ماتریس ضرایب کانال برای مسیر مستقیم بین نود مبدأ S و نود مقصد D



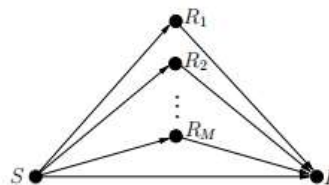
شکل ۳: مدل سیستم پیشنهادی

به دلیل تداخلی که ممکن است در ارسال و دریافت پیام‌ها صورت گیرد، هر نود رله نمی‌تواند در یک کانال به طور همزمان دریافت و ارسال پیام داشته باشد. بنابراین، ارسال پیام از S به D در دو برش زمانی صورت خواهد گرفت. در اولین برش زمانی، یک پیام از S به سمت D ارسال می‌شود به طوری که این پیام توسط تمام نودهای رله‌ی i ام دریافت خواهد شد. در دومین برش زمانی، هر یک از نودهای رله، پیام دریافتی را تقویت کرده و بدون اینکه دیکدینگ روی پیام‌ها صورت گیرد، آنها را به سمت D ارسال خواهند کرد.

در ادامه، شبکه‌ی MIMO-CN را به دو قسمت تقسیم می‌کنیم؛ که یکی وابسته به مسیر مستقیم بین S و D است و دیگری به این مسیر مستقیم وابسته نیست. برای حالتی که مسیر مستقیمی بین مبدأ و مقصد وجود ندارد، عبارت رله‌ی واقعی (PR) و برای مورد



شکل ۱: رله سه نودی



شکل ۲: شبکه مشارکتی چند رله‌ای

در مورد سیستم‌های تک آنتنه، تحقیقات صورت گرفته درباره شبکه‌های مشارکتی، محدود به استفاده از نودهایی با قابلیت چند ورودی-چند خروجی (MIMO) می‌باشد. در شبکه‌های مشارکتی، جالب است که در هر کدام از نودها از آنتن‌های چندگانه استفاده شود. در صورتی که از آنتن‌های چندگانه استفاده شود، مبدأ و رله‌ها می‌توانند مسیرهای مستقل اطلاعات را با استفاده از خصوصیات فضایی کانال ایجاد نمایند.

دو محدودیت بیان شده در فوق به خاطر درک تئوری محدود شبکه‌های مشارکتی چند ورودی-چند خروجی (MIMO-CN) است. برای درک بهتر موضوع، شبکه‌ی چند رله‌ای تک آنتنی شکل ۲ را در نظر بگیرید. در شکل ۲، تمام رله‌های تک آنتنی  $R_1, \dots, R_M$  را می‌توانیم به صورت یک رله‌ی مجازی که دارای M آنتن است در نظر بگیریم. در این صورت، تجزیه و تحلیل این شبکه‌ی چند رله‌ای بسیار شبیه به آنالیز شبکه‌ی مشارکتی سه نودی است که در آن رله چند آنتن ورودی و چند آنتن خروجی دارد.

تلاش‌های اولیه‌ای جهت توسعه‌ی این شبکه‌ها به سیستم‌های MIMO صورت گرفته است که در مراجع [۱۰] الی [۱۵] گزارش شده‌اند. در مرجع [۱۰]، Hua و Tang در ابتدا ماتریس تقویت رله‌ی بهینه را برای طرح سه نودی MIMO-CN با این فرض که اطلاعات حالت کانال در سمت رله‌ی مبدأ (CSI) ناشناخته است. در مرجع [۱۶]، Fang و همکارانش این نتایج را برای حالتی از شبکه‌ی سه نودی MIMO-CN تعمیم داد که مبدأ CSI را بطور کامل در اختیار دارد.

در این مقاله، تخصیص بهینه‌ی توان در مبدأ و هر کدام از رله‌ها به منظور ماکزیمم کردن نرخ ارسال اطلاعات در شبکه چند رله‌ای MIMO-CN در نظر می‌گیریم. همچنین، بر روی استراتژی تقویت و ارسال (AF) در رله تمرکز خواهیم کرد؛ چون پیچیدگی کمتری دارد و نیاز به کدینگ و دیکدینگ نیز ندارد؛ زیرا دیکدینگ



که  $n_d^{(2)}$  نویز گوسی متقارن دایروی با میانگین صفر در سمت D و در دومین برش زمانی است. برای حالت CR، می توانیم سیگنال دریافتی فوق را به صورت زیر بسط دهیم.

$$\mathbf{y}_d = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{rd} \mathbf{A} \mathbf{H}_{sr} \\ \mathbf{H}_{sd} \end{bmatrix} \mathbf{x}_s + \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{rd} \mathbf{A} & \mathbf{I}_{N_d} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{I}_{N_d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{n}_r \\ \mathbf{n}_d^{(2)} \\ \mathbf{n}_d^{(1)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

که  $n_d^{(1)}$  نشان دهنده بردار نویز گوسی متقارن دایروی با میانگین صفر در سمت D در اولین برش زمانی است.

برای حالت PR، نرخ قابل دستیابی بین مبدأ و مقصد را می توان به صورت زیر محاسبه کرد [10] و [11]:

$$I_{PR}(\mathbf{Q}, \mathbf{A}) = \frac{1}{2} \log_2 \left| \frac{\mathbf{I}_{N_d} + (\mathbf{H}_{rd} \mathbf{A} \mathbf{H}_{sr}) \mathbf{Q} (\mathbf{H}_{rd} \mathbf{A} \mathbf{H}_{sr})^\dagger}{\sigma_d^2 \mathbf{I}_{N_d} + \sigma_r^2 \mathbf{H}_{rd} \mathbf{A} \mathbf{A}^\dagger \mathbf{H}_{rd}} \right| \quad (8)$$

که Q نشان دهنده ماتریس کواریانس سیگنال ورودی است. با استفاده از روابط

$$\bar{\mathbf{H}}_{sd} \triangleq \mathbf{H}_{rd} \mathbf{A} \mathbf{H}_{sr} \quad (9)$$

$$\bar{\mathbf{R}} \triangleq \sigma_d^2 \mathbf{I}_{N_d} + \sigma_r^2 \mathbf{H}_{rd} \mathbf{A} \mathbf{A}^\dagger \mathbf{H}_{rd} \quad (10)$$

که  $\bar{\mathbf{H}}_{sd}$  معرف کانال بین مبدأ و مقصد در حالت PR است و  $\bar{\mathbf{R}}$  معرف قدرت نویز در سمت D است؛ می توان رابطه ی نرخ اطلاعات بین مبدأ و مقصد را به صورت زیر بازنویسی کرد.

$$I_{PR}(\mathbf{Q}, \mathbf{A}) = \frac{1}{2} \log_2 \left| \mathbf{I}_{N_d} + \bar{\mathbf{H}}_{sd} \mathbf{Q} \bar{\mathbf{H}}_{sd}^\dagger \bar{\mathbf{R}}^{-1} \right| \quad (11)$$

بطور مشابه، رابطه ی نرخ قابل دستیابی در حالت CR نیز به صورت زیر بیان خواهد شد.

$$I_{CR}(\mathbf{Q}, \mathbf{A}) = \frac{1}{2} \log_2 \left| \mathbf{I}_{2N_d} + \mathbf{H} \mathbf{Q} \mathbf{H}^\dagger \mathbf{R}^{-1} \right| \quad (12)$$

در این مقاله، هدف ما بدست آوردن مقادیر بهینه برای Q و A است به طوریکه  $I_{PR}$  در حالت PR و  $I_{CR}$  در حالت CR ماکزیمم شود. بدین منظور، مسئله ی بهینه سازی بین مبدأ و رله ها را برای هر دو حالت PR و CR به صورت زیر بیان می کنیم.

$$\text{PO-PR: } \begin{cases} \text{Maximize} & I_{PR}(\mathbf{Q}, \mathbf{A}) \\ \text{subject to} & \mathbf{Q} \in \Omega, \mathbf{A} \in \Psi \end{cases} \quad (13)$$

بعدی عبارت رله ی مشارکتی (CR) را انتخاب کرده ایم. هر چند که PR حالت خاصی از CR است، این نوع تقسیم بندی از دو جهت مفید است. اول اینکه بدست آوردن ویژگی های ساختاری PR آسان بوده و این ویژگی ها اطلاعات مهمی را در مورد CR بیان خواهد کرد؛ و دوم اینکه سبب ایجاد ارتباطی بین PR و CR خواهد شد و سبب درک عمیق تر مزایای شبکه های مشارکتی خواهد شد.

در یک شبکه ی MIMO-CN، سیگنال دریافتی توسط i امین رله به صورت  $\mathbf{y}_r^i$  مشخص می شود. بنابراین می توان نوشت.

$$\mathbf{y}_r^i = \mathbf{H}_{sr}^i \mathbf{x}_s + \mathbf{n}_r^i, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

که  $\mathbf{x}_s$  بردار سیگنال ارسالی است و  $n_r$  نشان دهنده بردار نویز گوسی متقارن دایروی با میانگین صفر در رله ی i ام است. ماتریس ضرایب کانال بین مبدأ و رله ها را می توان به صورت زیر بیان کرد.

$$\mathbf{H}_{sr} \triangleq [\mathbf{H}_{sr}^{1\dagger}, \dots, \mathbf{H}_{sr}^{M\dagger}]^\dagger \quad (2)$$

همچنین، بردار نویز نیز به صورت زیر قابل تعریف است.

$$\mathbf{n}_r \triangleq [\mathbf{n}_r^{1\dagger}, \dots, \mathbf{n}_r^{M\dagger}]^\dagger \quad (3)$$

بنابراین، سیگنال دریافتی توسط تمام رله ها را می توان به صورت زیر بیان کرد

$$\mathbf{y}_r \triangleq [\mathbf{y}_r^{1\dagger}, \dots, \mathbf{y}_r^{M\dagger}]^\dagger \Rightarrow \mathbf{y}_r = \mathbf{H}_{sr} \mathbf{x}_s + \mathbf{n}_r \quad (4)$$

یادآوری می کنیم که در یک شبکه ی چند رله ای MIMO-CN با استراتژی AF، هر رله سیگنال دریافتی را تقویت و ارسال می کند. ضرایب تقویت در رله i ام را با ماتریس  $A_i$  نمایش می دهیم. بنابراین سیگنال رله i ام را می توان به صورت  $\mathbf{x}_r^i = A_i \mathbf{y}_r^i$  نوشت. چون ساختار  $A_i$  می تواند تأثیر چشمگیری بر روی عملکرد شبکه بگذارد، یکی از اهداف اصلی این مقاله بدست آوردن یک ساختار بهینه برای هر  $A_i$  است.

ماتریس تقویت برای همه ی رله ها را از لحاظ ریاضی به صورت قطری و مطابق  $\mathbf{A} = \text{diag}\{A_1, A_2, \dots, A_M\}$  مدل می کنیم. با استفاده از ماتریس A، می توان سیگنال رله ی کلی را به صورت زیر بیان کرد.

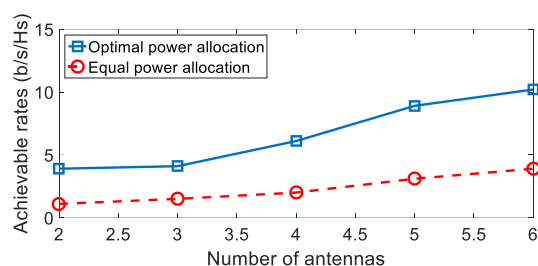
$$\mathbf{x}_r = \mathbf{A} \mathbf{y}_r = \mathbf{A} (\mathbf{H}_{sr} \mathbf{x}_s + \mathbf{n}_r) \quad (5)$$

از ماتریس  $\mathbf{H}_{rd}$  برای نشان دادن ماتریس ضرایب کانال بین تمام رله ها و مقصد استفاده می کنیم. با در نظر گرفتن حالت PR، سیگنال دریافتی در سمت D را می توان به صورت زیر نوشت.

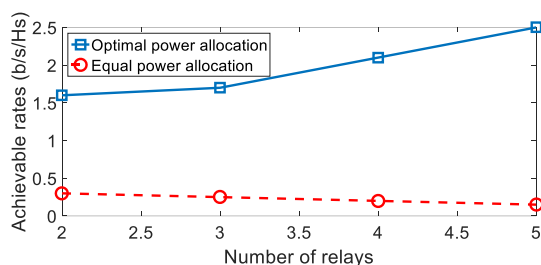
$$\mathbf{y}_d = \mathbf{H}_{rd} \mathbf{x}_r + \mathbf{n}_d^{(2)} = \mathbf{H}_{rd} \mathbf{A} \mathbf{H}_{sr} \mathbf{x}_s + (\mathbf{H}_{rd} \mathbf{A} \mathbf{n}_r + \mathbf{n}_d^{(2)}) \quad (6)$$



دوباره مشاهده کردیم که نرخ قابل دستیابی در تخصیص بهینه‌ی توان قابل توجه است. برای این ۴ حالت، به ترتیب نسبت تخصیص مساوی توان و تخصیص بهینه‌ی توان برابر ۰,۲۱۵۴، ۰,۱۱۷۳، ۰,۰۵۸۶ و ۰,۰۴۱۹ است. متوجه شدیم که در تخصیص بهینه‌ی توان، نرخ قابل دستیابی با افزایش تعداد رله‌ها، افزایش می‌یابد. بر خلاف این مورد، نرخ قابل دستیابی در تخصیص مساوی توان کاهش می‌یابد؛ که اهمیت تخصیص بهینه‌ی توان در شبکه‌های چندرله‌ای MIMO-CN را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نرخ قابل دستیابی برای دو روش تخصیص توان بهینه و تخصیص توان مساوی به ازای تعداد آنتن‌های مختلف



شکل ۵: نرخ قابل دستیابی برای دو روش تخصیص توان بهینه و تخصیص توان مساوی به ازای تعداد رله‌های مختلف

### نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله به بررسی ویژگی‌های ساختاری تخصیص بهینه‌ی توان در شبکه‌های چندرله‌ای MIMO-CN پرداختیم و الگوریتم‌هایی را برای حل مسئله تخصیص بهینه‌ی توان طراحی کردیم. نتایج طرح سه نودی را به حالت چندرله‌ای با محدودیت‌های توان در هر نود، تعمیم دادیم. بر اساس اطلاعات بدست آمده، مسئله ماکزیمم کردن نرخ شبکه‌ی MIMO-CN را به شکل عددی تغییر دادیم؛ بطوریکه باعث شد الگوریتم بهینه‌سازی را با استفاده از حالت BB همراه با یک CPR توسعه دهیم. نتایج بدست آمده نشان داده که نرخ قابل دستیابی در روش بهینه‌سازی پیشنهادی نسبت به تخصیص مساوی منابع بیشتر است. همچنین با افزایش تعداد آنتن‌ها و تعداد رله‌ها نرخ بیشتری را شاهد هستیم. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از قابلیت

$$\text{PO-CR} : \begin{cases} \text{Maximize} & I_{CR}(\mathbf{Q}, \mathbf{A}) \\ \text{subject to} & \mathbf{Q} \in \Omega, \mathbf{A} \in \Psi \end{cases} \quad (14)$$

### حل مسئله بهینه‌سازی:

برای حل مسئله بهینه‌سازی از روش مسئله بهینه‌سازی محدب Branch-and-bound (BB) استفاده می‌کنیم. برای کسب اطلاعات جامع‌تری در این زمینه، پیشنهاد می‌شود که مرجع [۱۷] را مطالعه کنید. فرآیند BB یک فرآیند تکراری است. در اولین مرحله، حد بالایی (UB) برای مقدار تابع هدف بدست می‌آید و سپس حد پایین مقدار تابع هدف (LB) را مشخص خواهد شد. در مرحله‌ی بعد، مسئله مورد نظر را به دو زیرمسئله تبدیل می‌کنیم. سپس دو مجموعه از حدهای پایین و بالا را بدست می‌آید. با در نظر گرفتن ماکزیمم مقدار این دو حد پایین، اگر از LB بزرگتر باشد، LB به روز می‌شود؛ و یک تکرار به پایان می‌رسد. بعد از یک تکرار، اگر فاصله بین LB و بزرگترین حد بالایی زیرمسئله‌ها بزرگتر از خطای قابل قبول  $\epsilon$  باشد، با داشتن بزرگترین حد بالایی، الگوریتم دوباره تکرار خواهد شد. همچنین، در هر تکرار می‌توانیم زیرمسئله‌هایی که حد بالایی آنها فاصله‌ی کمتر از  $\epsilon$  در مقایسه با LB دارند را حذف نماییم؛ و سبب کنترل افزایش تعداد زیرمسئله‌ها خواهد شد. تکرارهای BB ادامه خواهد یافت تا زمانی که بزرگترین حد بالایی در حدود  $\epsilon$  از LB باشد.

### نتایج شبیه‌سازی:

در این بخش، نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه مورد نظر نشان داده شده است. در شبیه‌سازی، نرخ قابل دستیابی را به ازای تعداد آنتن‌های مختلف و همچنین تعداد رله‌های مختلف محاسبه کرده‌ایم. همچنین نتایج بدست آمده برای دو حالت تخصیص توان مساوی و تخصیص توان بهینه مقایسه شده‌اند.

در شکل ۴، نرخ‌های قابل دستیابی در تخصیص توان بهینه و طرح ساده‌ی تخصیص توان به صورت مساوی با همدیگر مقایسه شدند؛ که این مقایسه با افزایش تعداد آنتن‌های هر نود صورت گرفته است. مشاهده کردیم که نرخ قابل دستیابی در تخصیص توان بهینه قابل توجه است. برای این ۵ حالت، نسبت بین تخصیص برابر توان و تخصیص بهینه‌ی توان، به ترتیب برابر ۰,۲۸۴۹، ۰,۳۹۱۴، ۰,۳۱۷۱، ۰,۳۶۹۹ و ۰,۳۸۹۱ است. به عبارتی نرخ قابل دستیابی در تخصیص برابر توان بیشتر از ۴۰٪ تخصیص بهینه‌ی توان نیست.

در شکل ۵، نرخ‌های قابل دستیابی در تخصیص بهینه‌ی توان و تخصیص مساوی توان با افزایش تعداد رله‌ها با همدیگر مقایسه شدند.



- underlying cellular networks with Rician fading", *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 12, pp. 2615-2618, Dec. 2018.
- [9] He C, Zhang W, Meng W, Cui Y, "A Power Allocation Algorithm for D2D-Direct Communication in Relay Cellular Networks", *International Conference on Ad Hoc Networks*, pp. 59-70, Sep 2018.
- [10] X. Tang and Y. Hua, "Optimal design of non-regenerative MIMO wireless relays," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 1398–1407, Apr. 2007.
- [11] O. Muñoz-Medina, J. Vidal, and A. Agustín, "Linear transceiver design in nonregenerative relays with channel state information," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 55, no. 6, pp. 2593–2604, Jun. 2007.
- [12] W. Guan, H. Luo, and W. Chen, "Linear relaying scheme for MIMO relay system with QoS requirements," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 15, pp. 697–700, 2008.
- [13] A. Behbahani, R. Merched, and A. M. Eltawil, "Optimizations of a MIMO relay network," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 56, no. 10, pp. 5062–5073, Oct. 2008.
- [14] Y. Rong, X. Tang, and Y. Hua, "A unified framework for optimizing linear nonregenerative multicarrier MIMO relay communication systems," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 57, no. 12, pp. 4837–4851, Dec. 2009.
- [15] B. Khoshnevis, W. Yu, and R. Adve, "Grassmannian beamforming for MIMO amplify-and-forward relaying," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 26, no. 8, pp. 1397–1407, Oct. 2008.
- [16] Z. Fang, Y. Hua, and J. D. Koshy, "Joint source and relay optimization for non-regenerative MIMO relay," in *Proc. IEEE Workshop Sensor Array Multi-Channel Signal Processing*, Waltham, WA, Jul. 12-14, 2006, pp. 239–243.
- [17] G. L. Nemhauser and L. A. Wolsey, *Integer and Combinatorial Optimization*, 2nd ed. New York: Wiley-Interscience Publication, 1999.
- شبکه‌های MIMO-CN مبتنی بر AF همراه با رله‌های چندگانه است.
- مراجع و منابع
- [1] M. Awasthi, M. Nigam, and V Kumar, "Optimal sensing, fusion and transmission with primary user protection for energy-efficient cooperative spectrum sensing in CRNs", *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 98, pp.95-105. 2019.
- [2] A. M. Elmahdy, A. El-Keyi, T. ElBatt and K. G. Seddik, "Optimizing cooperative cognitive radio networks performance with primary QoS provisioning", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 65, no. 4, pp. 1451-1463, Apr. 2017.
- [3] L. Lv et al., "Application of Non-Orthogonal Multiple Access in Cooperative Spectrum-Sharing Networks over Nakagami-m Fading Channels," *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 66, no. 6, pp. 5506–11, June 2017.
- [4] L. Lv et al., "Design of Cooperative Non-Orthogonal Multicast Cognitive Multiple Access for 5G Systems: User Scheduling and Performance Analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 65, no. 6 pp. 2641–56, June 2017.
- [5] P. Liu, Z. Tao, S. Narayanan, T. Korakis, and S. S. Panwar, "CoopMAC: A cooperative MAC for wireless LANs," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 340–354, Feb. 2007.
- [6] P. Gandotra et al., "A survey on device-to-device (D2D) communication: Architecture and security issues", *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 78, pp. 929, Jan. 2017.
- [7] U. Saleem, S. Jangsher, H. K. Qureshi and S. A. Hassan, "Joint subcarrier and power allocation in the energy harvesting-aided D2D communication", *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 14, no. 6, pp. 2608-2617, Jun. 2018.
- [8] Y. Wang, M. Chen, N. Huang, Z. Yang and Y. Pan, "Joint power and channel allocation for d2d