

تخصیص توان و انتخاب رله بر پایه روابط اجتماعی و جمع‌آوری انرژی در ارتباطات دستگاه به دستگاه مبتنی بر رله

بهاره برزگر^۱ رضا قاضی زاده^۲ مجید هادی^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران
bahare.barzegar@birjand.ac.ir

۲- دانشیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران
rghazizade@birjand.ac.ir

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران
majid.h71@birjand.ac.ir

چکیده: با افزایش روزافزون تقاضای خدمات، در نسل پنجم، راه‌حلهایی برای انتقال داده به‌صورت محلی بر پایه شیوه‌های انرژی کارآمد مطرح شده است. یکی از این روش‌ها، ارتباطات دستگاه به دستگاه (D2D) است که به‌عنوان یک روش امیدبخش برای بهبود ظرفیت و کاهش مصرف توان در شبکه‌های بیسیم مطرح شده است. ارتباطات D2D به کاربران سلولی که در نزدیکی هم قرار دارند، این امکان را می‌دهد که به‌طور مستقیم و بدون گذر از ایستگاه پایه به مبادله اطلاعات بپردازند. از طرف دیگر، می‌توان از رله کمکی در ارتباطات D2D استفاده کرد. انتخاب مناسب رله یکی از مسائل مهم در به حداکثر رساندن توان عملیاتی شبکه است. این انتخاب می‌تواند بر اساس شرایط فیزیکی، میزان انرژی و روابط اجتماعی باشد. در این مقاله، الگوریتمی جدید جهت انتخاب بهینه رله بر پایه این سه پارامتر بیان شده و میزان تأثیر هرکدام مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت یافتن توان بهینه تخصیصی به رله و کاربران D2D، یک مسئله بهینه‌سازی با هدف حداکثر کردن بازده انرژی سیستم تنظیم و حل گردیده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که انتخاب رله بر اساس ترکیب مناسب پارامترهای روابط اجتماعی، برداشت انرژی و شرایط فیزیکی می‌تواند بهره‌وری انرژی شبکه را به‌طور چشم‌گیری افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: ارتباطات دستگاه به دستگاه، انتخاب رله، رابطه اجتماعی، برداشت انرژی

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۷/۷/ ۱۹

تاریخ پذیرش مشروط مقاله : ۱۳۹۸/۱/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۸/۳/۱۱

نام نویسنده‌ی مسئول: رضا قاضی زاده

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - بیرجند - دانشگاه بیرجند - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - گروه مخابرات

دامنه ارتباطات فیزیکی، دسترسی به شبکه سلولی و در دامنه اجتماعی، روابط اجتماعی پایدار در شبکه سلولی، مورد مطالعه قرار گرفته است. مقاله [۸] به بررسی همکاری اجتماعی-آگاه در میان کاربران تلفن همراه می‌پردازد. دستگاه‌های هوشمند مدرن با آگاهی از روابط اجتماعی، بسیار بهبود یافته‌اند. روابط اجتماعی پارامترهایی است که می‌تواند رفتارهای همکارانه را با تعریف اعتقاد-تایید-سوءظن توصیف کند.

مفهوم اعتقاد اجتماعی برای توصیف روابط اجتماعی در [۹، ۱۰] بررسی شده است. منطق اساسی اعتقاد اجتماعی تحت تأثیر مستقیم بر روی تمایل به همکاری قرار دارد. در مرجع [۱۱] رله بهینه، بر پایه‌ی فاصله تا گیرنده و فرستنده D2D و طرح اجتماعی- آگاه انتخاب می‌شود. در این مقاله به رابطه بین کاربران D2D و کاربران غیرفعال که در انجمن اجتماعی نزدیک فرستنده قرار دارند، پرداخته می‌شود. این طرح تا حد زیادی عملکرد ارتباطات همکارانه D2D را بهبود می‌بخشد.

مرجع [۱۲] یک رویکرد سه مرحله‌ای را برای روابط اجتماعی آگاه در ارتباطات D2D بیان می‌کند. در مرحله اول دانه (فرستنده ارتباطات D2D) با استفاده از روابط در شبکه اجتماعی و شبکه‌های فیزیکی برای بهبود بهره‌وری انتقال اطلاعات انتخاب می‌شود. در دو مرحله دیگر انتقال اطلاعات بر پایه انگیزه اجتماعی و انگیزه تعاونی آن‌ها انجام می‌شود. مکانیسم پیشنهادی نویسندگان محدودیت‌های تشویقی کاربران، بدون توسل به پاداش‌های پولی است.

علاوه بر روابط اجتماعی کاربران، جمع‌آوری انرژی در ارتباطات بیسیم به یک حوزه پژوهشی مهم تبدیل شده است. در ارتباطات بیسیم، دستگاه‌هایی با طول عمر کوتاه وجود دارند بدین معنی که باتری آن‌ها می‌تواند به سرعت تخلیه شود بنابراین برداشت انرژی (EH) یک ابزار خوب برای حل این مشکل است. معنی ارتباطات EH این است که گره‌ها می‌توانند کار خود را با برداشت انرژی از محیط ادامه دهند. ارتباطات EH از ارتباطات با باتری معمولی مجزا هستند بنابراین ما به مدل‌های جدید و سیاست انتقال بهینه برای به حداکثر رساندن توان نیاز داریم [۱۳]. دستگاه‌های برداشت انرژی می‌توانند انرژی محیط را از منابعی مانند خورشید، امواج رادیویی و لرزش جمع‌آوری کنند و برای تبدیل این انرژی به برق از مدارهای مجتمع و دستگاه‌های الکترونیکی کم قدرت بهره‌گیرند [۱۴].

دستگاه‌هایی که باتری اداره شده دارند مقدار ثابتی انرژی قابل اعتماد دارند، در حالی که دستگاه‌های EH می‌توانند یک مقدار تصادفی از انرژی را دارا باشند. بنابراین بهینه‌سازی سیاست انتقال برای دستگاه‌های EH بسیار مهم است. سیاست‌های انتقال، به حداکثر رساندن مقدار داده منتقل شده و یا به حداقل رساندن زمان انتقال داده‌ها بر پایه انرژی برداشت شده است [۱۵].

در مقاله [۱۶]، برای بهبود عملکرد شبکه به کاربران D2D اجازه داده می‌شود با استفاده از گره‌های متعدد انرژی مورد نیاز خود را جمع-

با افزایش روزافزون تقاضا برای خدمات محلی، در نسل پنجم شبکه تلفن همراه، ارتباطات دستگاه به دستگاه (D2D) پیش‌بینی شده است. ارتباطات D2D یک الگوی امیدوارکننده برای کاهش بار ترافیکی شبکه با هدف ارائه پیام‌ها به گروهی از کاربران در یک منطقه جغرافیایی می‌باشد. ارتباطات D2D به صورت ارتباط مستقیم بین دو کاربر تلفن همراه بدون عبور از ایستگاه پایه (BS) و یا شبکه‌های اصلی می‌باشد [۱]. مطالعات اولیه نشان می‌دهد که ارتباطات D2D مزایایی از قبیل افزایش کارایی طیفی، کاهش تأخیر ارتباطات و بالا بردن بهره‌وری منابع را به همراه دارد.

در این روش، کاربران سلولی می‌توانند طیف خود را در دسترس ارتباطات D2D قرار دهند. اهمیت ویژه طبقه‌بندی طیفی در کنترل توان و مدیریت تداخل بین ارتباطات D2D و کاربران سلولی است [۲]. با توجه به تقاضای ترافیک کاربران D2D و وضعیت کانال‌های مخابراتی، استفاده از رله مشارکتی در ارتباطات D2D می‌تواند روشی مؤثر به منظور سرعت بخشیدن به انتقال داده‌ها و افزایش نرخ انتقال داده بین جفت D2D باشد. مرجع [۳]، مکانیزم انتخاب رله را بر اساس رویکرد حراج بیان کرده است. بدین معنی که با توجه به تقاضای کاربران D2D برای درخواست رله، کاربران پیشنهاد BS را می‌پذیرند.

در مرجع [۴] یک الگوریتم برای انتخاب رله و تخصیص توان در شبکه‌های رادیو شناختی با انتقال مشارکتی پیشنهاد شده است. در این روش، نخست الگوریتم بر اساس حالت تقویت و ارسال، انتخاب رله را به منظور به حداکثر رساندن سیگنال به تداخل و نویز (SINR) دریافتی انجام داده و سپس با استفاده از تئوری بهینه‌سازی محدب، تخصیص توان را برای به حداکثر رساندن ظرفیت شبکه رادیو شناختگر تحت محدودیت تداخل کاربران اولیه و انتقال کل توان کاربران ثانویه انجام می‌دهد. نویسندگان در مرجع [۵] تخصیص توان مشترک و انتخاب رله را در نظر گرفته‌اند.

به‌طور کلی معیار ارزیابی رله، ویژگی آماری کانال در رله مربوطه است. فرض شده است که با این استراتژی رله می‌تواند انتقال توان بهینه را بعد از به حداقل رساندن احتمال قطع، بدست آورد. در مرجع [۶]، نویسندگان انتخاب رله و احتمال قطع ارتباط را مورد بررسی قرار می‌دهند. با اختصاص رله متناسب با محدودیت تداخل و محدودیت توان، اثر تداخل کاربر اولیه در گره رله بررسی می‌گردد. سپس احتمال قطع را به صورت دقیق بیان می‌کند به شرطی که میزان تداخل تحمیل شده به گره رله کمتر یا مساوی حد آستانه باشد.

با تکامل شبکه‌های تلفن همراه و محبوبیت شبکه‌های اجتماعی آنلاین، شبکه‌های اجتماعی تلفن همراه (MSNs) یک راه حل کلیدی برای تسهیل انتشار داده‌ها را ارائه می‌دهند. در مقاله [۷] دامنه فیزیکی و دامنه ارتباطات اجتماعی در شبکه‌های اجتماعی بررسی می‌شود. در

آوری کنند. وقتی که انرژی آن‌ها برای ارتباط مستقیم کافی نباشد، فرستنده D2D بر اساس میزان انرژی جمع‌آوری شده در گره‌ها، کاربر مناسب را که قادر به ارتباط با آن است، انتخاب می‌کند.

در مرجع [۱۷] انتخاب رله با قابلیت برداشت انرژی از BS برای همکاری با ارتباطات D2D مورد مطالعه قرار گرفته است که در آن برخی از کاربران خارج از منطقه تحت پوشش eNB قرار دارند. برای کاربران خارج از پوشش eNB ارتباط با BS از طریق رله صورت می‌گیرد.

بر اساس ارتباط D2D بین رله و کاربر میزان انرژی لازم جهت برداشت انرژی رله تخمین زده می‌شود و بر این اساس رله مناسب برای خدمت به کاربران خارج از پوشش شبکه انتخاب می‌شود. اثر برداشت انرژی و کیفیت لینک D2D مباحثی هستند که در این طرح به آن‌ها پرداخته شده است. نویسندگان در [۱۸]، معماری جدیدی با ادغام فن-آوری انرژی و ویژگی‌های شبکه اجتماعی در ارتباطات D2D معرفی می‌نمایند. هنگامی که یک دستگاه در منطقه پوشش ضعیف قرار دارد می‌تواند با مقصد خود از طریق همکاری رله ارتباط برقرار کند؛ بنابراین دستگاه‌هایی که انرژی کافی برای انتشار اطلاعات را دارند و دارای رابطه اجتماعی قوی تری با دستگاه منبع هستند، می‌توانند به عنوان رله انتخاب شوند.

تعدادی از مقالات که بهره‌وری انرژی را در ارتباط مستقیم D2D مورد بررسی قرار داده‌اند در زیر آورده شده است.

در مرجع [۱۹] مسئله تخصیص منابع برای ارتباطات D2D شبکه‌های غیر زمینی LTE مورد بررسی قرار گرفته است. در مرجع [۲۰] نویسندگان پیشنهاد ارتباط دوسویه‌ای را در ارتباطات D2D برای به حداقل رساندن مصرف ارائه دادند.

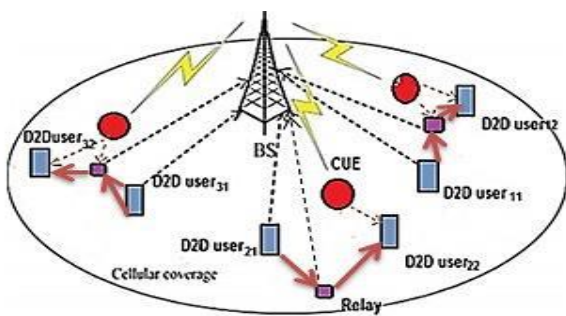
تعدادی از مقالات، بهره‌وری انرژی را در ارتباطات D2D مورد مطالعه قرار داده‌اند. البته این دسته مقالات از رله در این ارتباطات استفاده ننموده‌اند. مراجع [۲۱، ۲۲] بهره‌وری انرژی را در شبکه‌ای با ارتباطات D2D زمانی که زوج‌های D2D از منابع uplink کاربران سلولی استفاده می‌کنند، مورد بررسی قرار داده‌اند. مرجع [۲۳] یک طرح کنترل برای به حداکثر رساندن بهره‌وری انرژی در سناریویی که منابع را می‌توان توسط چند جفت D2D مورد استفاده قرارداد پیشنهاد می‌دهد.

در این مقاله روشی جدید جهت انتخاب رله بر پایه میزان رابطه اجتماعی با فرستنده و گیرنده D2D و میزان جمع‌آوری انرژی از BS برای همکاری در ارتباطات D2D داخل شبکه سلولی معرفی می‌گردد و در ادامه تخصیص بهینه توان بر پایه بهره‌وری انرژی در این شبکه مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

لازم به ذکر است با توجه به کارهای انجام‌شده مقالاتی که به انتخاب رله بر پایه پارامترهای بیان‌شده پرداخته‌اند، یا صرفاً انتخاب رله را مورد توجه قرار داده‌اند و یا تخصیص توان را بر پایه بهره‌وری انرژی در نظر نگرفته‌اند؛ و آن دسته مقالاتی که بهره‌وری انرژی را در ارتباطات

D2D در نظر گرفته‌اند، ارتباط مستقیم را مورد توجه قرار داده‌اند و محیط را بدون رله در نظر گرفته‌اند؛ بنابراین این مقاله علاوه بر اینکه روشی جدید و پویا جهت انتخاب رله بر پایه میزان تأثیر پارامترهای جمع‌آوری انرژی و روابط اجتماعی و شرایط فیزیکی در نظر می‌گیرد، تخصیص توان را نیز بر اساس بهره‌وری انرژی لحاظ می‌کند.

ارزیابی عملکرد طرح پیشنهادی نشان می‌دهد که این طرح ظرفیت کل شبکه سلولی را بهبود می‌بخشد. در ادامه این مقاله شامل بخش‌های زیر است. در بخش بعد، مدل سیستم طرح پیشنهادی ارائه می‌گردد. بخش سوم جزئیات، شرایط و ویژگی‌های انتخاب رله مناسب، بخش چهارم معادلات بکار برده شده برای طرح پیشنهادی، بخش بعدی نتایج شبیه‌سازی و در آخر نتیجه‌ی کار بیان شده است.



شکل (۱): ساختار ارتباط D2D با استفاده از رله

۲- مدل سیستم

یک سلول مجهز به آنتن تمام جهته مستقر در مرکز سلول، با تعداد N کاربر سلولی، همان تعداد زوج D2D و M رله برای هر زوج D2D را در نظر بگیرید. شبکه از تقسیم فرکانسی دوپلکس (FDD) با کانال-های OFDM که می‌تواند به هر کاربر سلولی اختصاص یابد، استفاده می‌کند. هر زوج D2D نیز می‌تواند فقط از طیف یک کاربر سلولی استفاده کند. به این معنا که تداخل بین زوج‌های D2D وجود ندارد و تنها تداخل بین کاربر سلولی و زوج D2D که از طیف همان کاربر سلولی استفاده کرده است وجود دارد. حال کاربران سلولی را به صورت مجموعه‌ی $C = \{1, 2, \dots, N\}$ ، کاربران D2D، $D = \{1, 2, \dots, N\}$ و برای هر زوج D2D کاربرانی که نقش رله را ایفا می‌کنند، به صورت $R_{ij} = \{1, 2, \dots, M\}$ نمایش می‌دهیم. برای ایستگاه پایه، رله، فرستنده و گیرنده D2D، به ترتیب نمادهای BS، i و j فرض شده است.

شکل (۱) مدل سیستم را نشان می‌دهد که در آن برخی کاربران D2D از رله برای انتقال داده‌ها کمک می‌گیرند و برخی که کیفیت کانال ارتباط مستقیم آن‌ها مناسب است، بدون کمک رله داده‌ها را انتقال می‌دهند. فرض می‌کنیم که رله با فرستنده و گیرنده D2D رابطه اجتماعی دارد که برای هر رله میزان قدرت اجتماعی آن متفاوت است. همچنین رله قادر به برداشت انرژی است. BS با انتشار امواج مغناطیسی انرژی لازم برای برداشت انرژی توسط رله را فراهم می‌کند و با استفاده از انرژی برداشتی، رله قادر است اطلاعات را از فرستنده

D2D دریافت کرده و به گیرنده D2D منتقل کند.

فرض کنید زمان به دوره‌هایی تقسیم شود که در بخش اول هر دوره BS سیگنال انرژی را منتشر می‌نماید و رله‌ها و گره‌هایی که قابلیت جمع‌آوری انرژی را دارند، انرژی دریافتی را ذخیره می‌نمایند. در بخش دوم، گره‌ها می‌توانند ارسال و دریافت داده داشته باشند. در ابتدای این بخش، بر پایه انرژی موجود در رله، میزان روابط اجتماعی و وضعیت کانال در صورت لزوم به یک ارتباط D2D رله مناسب اختصاص می‌یابد و توان فرستنده‌ها و رله‌ها نیز تنظیم می‌شود. در صورت اختصاص رله فرایند ارتباط در دو فاز زمانی انجام می‌شود. ابتدا فرستنده داده را ارسال می‌کند و سپس رله در حالت کدگشایی و ارسال، اطلاعات دریافتی را به سمت گیرنده رله می‌کند. در این مقاله آنچه اهمیت دارد نحوه انتخاب رله بر پایه پارامترهای یاد شده و تخصیص توان می‌باشد. بنابراین، در ادامه مفاهیم روابط اجتماعی، برداشت انرژی و محیط فیزیکی را بررسی و سپس روش پیشنهادی انتخاب رله بر پایه این مقادیر و تخصیص توان را مطرح می‌نماییم.

• رابطه اجتماعی

رابطه اجتماعی رله هم با فرستنده و هم با گیرنده D2D مدنظر می‌باشد. معیار روابط اجتماعی رله‌ها، مدت زمان تماس آن‌ها با فرستنده و با گیرنده D2D می‌باشد. رله‌ای که میانگین مدت زمان تماس آن با گره‌های بیشتر باشد از وزن اجتماعی بالاتری برای آن گره برخوردار است. بنابراین، میزان رابطه اجتماعی فرستنده و گیرنده D2D برای هر رله می‌تواند معرفی گردد. حال، رله‌ای که بیشترین مدت زمان تماس را هم با فرستنده و هم با گیرنده D2D برقرار کند، از شرایط اجتماعی مناسب‌تری برای آن ارتباط D2D خاص برخوردار است. انتخاب رله بر اساس روابط اجتماعی آن از دو جنبه قابل بررسی است.

(۱) در صورتی که روابط اجتماعی یک رله با فرستنده و گیرنده D2D نسبت به بقیه رله‌ها بیشتر باشد آن رله تمایل بیشتری برای به اشتراک گذاشتن کانال‌های خود با زوج D2D دارد. همچنین اگر ارتباط اجتماعی رله با فرستنده و گیرنده D2D ضعیف باشد تمایل آن برای به اشتراک گذاری کانال کمتر می‌شود.

(۲) میزان بهره‌وری انرژی یک زوج D2D تحت تأثیر رابطه اجتماعی آن با رله است. هرچه قدرت اجتماعی رله بالاتر باشد تمایل رله برای همکاری با زوج D2D افزایش می‌یابد. باید توجه داشت رله خود می‌تواند یک کاربر باشد. بنابراین در فرایند رله کردن، تمایل بیشتری برای انتقال اطلاعات دوستان خود و یا کسانی که ارتباط بیشتری با آنها دارد، را از خود نشان می‌دهد. میزان این تمایل به شکل وزن اجتماعی فرموله شده و بصورت ضریبی در بهره‌وری دیده شده است. به عبارت دیگر اگر رابطه اجتماعی به صفر برسد رله حاضر به رله کردن نیست هر چند شرایط دیگر مناسب باشد بنابراین، می‌توان از روابط اجتماعی رله با فرستنده و گیرنده D2D برای انتخاب رله بهینه در سناریوی موردنظر استفاده کرد. در این طرح، روابط اجتماعی هر رله به صورت وزن اجتماعی آن بیان می‌شود.

درواقع باید مقدار حداکثر مینیمم وزن اجتماعی میان رله-فرستنده و رله-گیرنده در نظر گرفته شود.

در معادله (۱) و (۲) رابطه اجتماعی رله با فرستنده و گیرنده D2D به ترتیب معرفی شده است.

$$B_{ij} = \frac{T_{ij}}{\sum_{k=1}^M T_{ik}} \quad (1)$$

$$B_{i'j} = \frac{T_{i'j}}{\sum_{k=1}^M T_{i'k}} \quad (2)$$

$$S_{ij} = \min\{B_{ij}, B_{i'j}\} \quad (3)$$

T_{ij} مدت زمان تماس فرستنده با رله و مخرج مجموع زمان‌های تماس فرستنده با تمام رله‌های مجاور است. $T_{i'j}$ مدت زمان تماس گیرنده با رله و مخرج مجموع زمان‌های تماس گیرنده با تمام رله‌های مجاور است. با محاسبه مینیمم وزن اجتماعی این دو مقدار، وزن اجتماعی رله برای آن ارتباط D2D خاص محاسبه می‌شود. مقدار B_{ij} و $B_{i'j}$ بین صفر و یک است وقتی مقدار آن‌ها نزدیک به یک باشد بدین معناست که رله از قدرت اجتماعی بالایی برخوردار است و اگر این مقادیر نزدیک به صفر باشد یعنی قدرت اجتماعی رله ضعیف است. در [۲۴] قدرت اجتماعی میان گره‌ها بررسی شده است و نشان داده شده که قدرت اجتماعی را می‌توان با توزیع پارتو (pareto) مدل کرد. بنابراین در این مقاله، برای محاسبه وزن اجتماعی گره‌ها از توزیع پارتو استفاده شده است. توزیع پارتو در ضمایم توضیح داده شده است.

• میزان انرژی

دستگاه‌های برداشت کننده انرژی، می‌توانند انرژی را از منابعی مانند خورشید، امواج رادیویی و لرزش جمع‌آوری کرده و با تبدیل این انرژی به الکتروسیسته، انرژی لازم برای فعالیت یا شارژ باتری‌های دستگاه را تأمین نمایند. در این میان، تأمین انرژی توسط امواج رادیویی، منبعی مطمئن و قابل اتکا می‌باشد. در این مقاله فرض شده علاوه بر کاربران D2D، رله‌ها نیز امکان جمع‌آوری انرژی از BS را دارند. انرژی برداشت شده می‌تواند باعث افزایش طول عمر باتری یک رله که به سرعت در حال تخلیه است گردد. انتخاب رله می‌تواند بر پایه میزان انرژی برداشتی انجام گیرد. در واقع رله‌ای که انرژی بیشتری جمع‌آوری کند، میزان داده بیشتری را می‌تواند منتقل نماید و باعث بهبود عملکرد شبکه گردد.

حال، فرض کنید رله j کسری از توان برداشت شده از BS، ΔP_B را برای انتقال داده و باقی‌مانده توان، $(1-\Delta) P_B$ ، را برای پردازش اطلاعات نیاز دارد. لذا، برداشت انرژی توسط رله j در یک اسلات زمانی به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$E_j = \frac{\eta \Delta P_B}{d_{jb}^\alpha} \quad (4)$$

که در آن $0 < \eta < 1$ راندمان انرژی است و d_{jb} فاصله‌ی رله تا BS و P_B توان ارسالی از BS و α ضریب تضعیف مسیر است [۱۶].

• نرخ انتقال داده

نشده و در صورتی که رله زام انتخاب شود مقدار X_{ij} برابر یک خواهد شد. لازم به ذکر است که بدانیم طبق شرط C_1 ، هر فرستنده D2D تنها از یک رله استفاده می‌کند. سهم هر یک از پارامترها را می‌توان با انتخاب ترکیب مناسبی از a_1, a_2 و a_3 تنظیم کرد. مسئله انتخاب رله مناسب، (۹) یک مسئله خطی است و به راحتی می‌توان آن را حل نمود.

۴- مسئله تخصیص توان

بعد از مرحله انتخاب رله‌ی مناسب، توان فرستنده‌ها و رله‌ها بایستی تنظیم شود. نرخ داده کل با فرمول زیر بیان می‌شود.

$$R_{TOT} = \sum_{i=1}^N (\sum_{j=1}^M x_{ij} C_{ij} \beta_{ij} + (1 - \sum_{j=1}^M x_{ij}) C_{ii}) \quad (11)$$

که در آن C_{ij} نرخ انتقال داده در حالت ارتباط مستقیم بین فرستنده و گیرنده D2D بدون همکاری رله (ارتباط مستقیم) است. β_{ij} ضریب وزن اجتماعی هر رله است که با فرمول زیر تعریف می‌شود.

$$\beta_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_{ij_{max}}} \quad (12)$$

که S_{ij} از رابطه (۳) به دست می‌آید. حال توان مصرفی کل ارتباطات D2D به شرح زیر است.

$$P_{TOT} = \sum_{i=1}^N (\sum_{j=1}^M (P_i + P_j + 2P_{cr}) x_{ij} + (1 - \sum_{j=1}^M x_{ij}) (P_i + P_{cr})) \quad (13)$$

P_j توان فرستنده رله و g_{ci} و g_{ii} و g_{ji} به ترتیب گین کانال بین فرستنده و گیرنده D2D، رله و گیرنده D2D و بین کاربر سلولی و گیرنده D2D می‌باشند. σ_i توان نویز سفید گوسی (AWGN) که توسط گیرنده D2D دریافت می‌شود.

$$P_i = \sum_{j=1}^M x_{ij} P_{ij} + (1 - \sum_{j=1}^M x_{ij}) P_{ii} \quad (14)$$

$$P_j = \sum_{i=1}^N x_{ij} P_{ji} \quad (15)$$

با تعریف توان و نرخ انتقال کل، تابع بهره‌وری انرژی سیستم که به صورت رابطه (۱۶) بیان می‌شود، در دسترس خواهد بود.

$$U(P_i, P_j) = \frac{R_{TOT}}{P_{TOT}} \quad (16)$$

اینک، مسئله بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی و تخصیص توان را به شکل زیر می‌توان تعریف کرد.

$$\max_{P_i, P_j} U(P_i, P_j) \quad (17)$$

Subject to:

$$C_1: P_i g_{ib} \leq I_{th} \quad \forall i$$

$$C_2: P_j g_{jb} \leq I_{th} \quad \forall j$$

$$C_3: \sum_{j=0}^M x_{ij} C_{ij} + (1 - \sum_{j=0}^M x_{ij}) C_{ii} \geq R_{min} \quad \forall i$$

$$C_4: 0 < P_i \leq P_{i_{max}} \quad \forall i$$

$$C_5: 0 < P_j \leq P_{j_{max}} \quad \forall j$$

آستانه حداکثر سطح تداخل مجاز فرستنده و رله بر روی BS است. به دلیل اینکه زوج‌های D2D از کانال‌های فراسوی کاربران سلولی

رله‌ای که کیفیت کانال خوبی دارد نرخ داده بیشتری را می‌تواند برای انتقال داده فراهم سازد. در واقع در مصرف توان صرفه‌جویی می‌شود و بهره‌وری انرژی افزایش می‌یابد.

$SINR_{ij}$ در ورودی رله ز ناشی از سیگنال ارسالی از فرستنده D2D i به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$SINR_{ij} = \frac{P_i g_{ij}}{P_c g_{cj} + \sigma_j} \quad (5)$$

P_i توان فرستنده D2D، g_{ij} گین کانال بین رله و فرستنده D2D، P_c توان کاربر سلولی، g_{cj} گین کانال بین کاربر سلولی و رله و در آخر σ_j نویز سفید گوسی (AWGN) که رله ز دریافت می‌کند.

با فرض رله در حالت کدگذاری و ارسال (DF) نرخ انتقال داده به برگرفته از [۹] است عبارت است از:

$$C_{ij} = \frac{1}{2} \times \min\{C_{ij}, (C_{ji} + C_{ii})\} \quad (6)$$

که:

$$C_{ij} = w \log_2 \left(1 + \frac{P_i g_{ij}}{P_c g_{cj} + \sigma_j} \right) \quad (7)$$

$$C_{ji} + C_{ii} = w \log_2 \left(1 + \frac{P_i g_{ji}}{P_c g_{ci} + \sigma_i} \right) + w \log_2 \left(1 + \frac{P_i g_{ii}}{P_c g_{ci} + \sigma_i} \right) \quad (8)$$

۳- روش پیشنهادی انتخاب رله

با فرض اینکه ایستگاه مرکزی از وضعیت کانال‌ها و میزان انرژی جمع‌آوری شده و نیز روابط اجتماعی با D2D متقاضی استفاده از رله مطلع باشد می‌تواند رله مناسب را بر پایه مسئله بهینه‌سازی زیر پیدا کند.

$$\max_{x_{ij}} \sum_{j=1}^M x_{ij} W_{ij} \quad (9)$$

$$w_{ij} = a_1 \frac{S_{ij}}{S_{ij_{max}}} + a_2 \frac{E_{ij}}{E_{ij_{max}}} + a_3 \frac{C_{ij}}{C_{ij_{max}}} \quad (10)$$

Subject to:

$$C_1: \sum_{j=1}^M x_{ij} \leq 1 \quad \forall i$$

که در آن W_{ij} وزن رله زام در زوج D2D i، a_1, a_2 و a_3 فاکتورهای وزن دهی به ترتیب برای پارامترهای اجتماعی و انرژی و نرخ داده است که بین صفر تا یک تغییر می‌کنند و در آن $a_1 + a_2 + a_3 = 1$ و $a_1, a_2, a_3 \geq 0$. X_{ij} یک شاخص دودویی است که اگر مقدار آن صفر باشد به معنای این است که رله ز توسط فرستنده D2D i انتخاب

مسئله (۲۵) محدب غیرخطی است که با استفاده از روش لاگرانژ قابل حل است.

$$L(P, \lambda, \theta, \delta) = RTOT(P^*_i, P_j) - q^* \times PTOT(P^*_i, P_j) + \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \lambda_{ij} ((\sum_{j=1}^M x_{ij} C_{ij}) + (1 - \sum_{j=1}^M x_{ij} C_{ij}) - R_{\min}) + \sum_{i=1}^N \theta_i (I_{th} - P_i g_{ib}) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \delta_{ij} (I_{th} - P_j g_{jb}) \quad (26)$$

λ_i, θ_i و δ_{ij} ضرایب لاگرانژ هستند. حال می توان تابع دوگان لاگرانژ را به صورت زیر نوشت.

$$\min_{\lambda_{ij}, \theta_i, \delta_{ij}} \max_P L(P, \lambda, \theta, \delta) \quad (27)$$

از این رو با اعمال شرایط KKT، می توان توان فرستنده i D2D را به دست آورد: اگر برای هر i از مجموعه $\{1, 2, \dots, N\}$ $\sum_{j=1}^M x_{ij} = 1$ باشد، زوج i D2D از رله برای مشارکت در انتقال اطلاعات استفاده می کند. آنگاه:

$$P_i = \left[\frac{w(1 + \lambda_{ij}) \beta_{ij}}{\ln(2)D} \frac{P_c g_{Cj} + \sigma_j}{g_{ij}} \right]_0^{\min(\mu E_j P_{\max})} \quad (28)$$

$$D = \frac{q^*}{2} (1 + \mu) + \theta_i g_{ib} + \sum_{j=1}^M \delta_{ij} \mu g_{jb} \quad (29)$$

$$P_j = \frac{P_i}{\mu} \quad (30)$$

فرآیند محاسبه توان با جزییات در پیوست الف آمده است، همچنین تساوی $[x]_0^b = \max(0, \min(x, b))$ برقرار است.

اگر $\sum_{j=1}^M x_{ij} = 0$ باشد؛ یعنی زوج i D2D از رله برای مشارکت در انتقال اطلاعات استفاده نمی کند. آنگاه:

$$P_i = \left[\frac{w(1 + \lambda_{ij})}{\ln(2)H} \frac{P_c g_{Cj} + \sigma_j}{g_{ij}} \right]^+ \quad (31)$$

$$H = q^* + \theta_i g_{ib} \quad (32)$$

$$P_j = 0 \quad (33)$$

در فاز دوم ضرایب لاگرانژ با استفاده از روش sub-gradient به صورت روابط زیر به روزرسانی می شود.

$$\theta_i^{z+1} = \left[\theta_i^z - \rho_1^z (I_{th} - P_i g_{ib}) \right]^+ \quad (34)$$

$$\lambda_{ij}^{z+1} = \left[\lambda_{ij}^z - \rho_2^z (C_{ij} - R_{\min}) \right]^+ \quad (35)$$

$$\delta_{ij}^{z+1} = \left[\delta_{ij}^z - \rho_3^z (I_{th} - P_j g_{jb}) \right]^+ \quad (36)$$

استفاده می کنند قیود C_1, C_2 و C_3 تعریف شده اند. R_{\min} آستانه حداقل نرخ داده مورد نیاز، P_{\max} و $P_{j\max}$ به ترتیب آستانه حداکثر توان مجاز فرستنده D2D و رله می باشد. $P_{j\max}$ وابسته به میزان انرژی ای که رله از محیط جمع آوری کرده، می باشد.

در مسئله فوق با توجه به معادله C_{ij} وجود \min در این تابع می توان مسئله را به دو صورت بیان کرد:

$$(1) \text{ اگر } SINR_{ij} \leq SINR_{ii} + SINR_{ji} \text{ باشد.}$$

بنابراین با مراجعه به رابطه (۶):

$$C_{ij} = \frac{w}{2} \times \log_2 \left(1 + \frac{P_j g_{ij}}{P_c g_{Cj} + \sigma_j} \right) \quad (18)$$

$$(2) \text{ اگر } SINR_{ij} \geq SINR_{ii} + SINR_{ji} \text{ باشد.}$$

آنگاه:

$$C_{ij} = \frac{w}{2} \times (\log_2 \left(1 + \frac{P_j g_{ij}}{P_c g_{Cj} + \sigma_j} \right) + \log_2 \left(1 + \frac{P_i g_{ii}}{P_c g_{Cj} + \sigma_j} \right)) \quad (19)$$

واضح است برای این که تابع هدف (۱۷) ماکزیمم شود و برقراری رابطه (۶) باید P_j حداقل گردد. بنابراین ماکزیمم تابع هدف زمانی اتفاق می افتد که:

$$SINR_{ij} = SINR_{ii} + SINR_{ji} \quad (20)$$

طبق رابطه (۲۰):

$$P_i = \mu P_j \quad (21)$$

که در آن μ عبارت است از:

$$\mu = \frac{(P_c g_{Cj} + \sigma_j) g_{ji}}{(P_c g_{Cj} + \sigma_j) g_{ij} - (P_c g_{Cj} + \sigma_j) g_{ii}} \quad (22)$$

حال کافی است یکی از روابط (۱۸) یا (۱۹) را جایگزین رابطه (۶) کنیم. ما فرض می کنیم از رابطه (۱۸) استفاده شود. همچنین می توان از رابطه (۲۱) با محاسبه یکی از توان ها، توان دیگر را بر حسب دیگری به دست آورد. مسئله بهینه سازی (۱۷) غیرخطی و غیر محدب است و ما توسط روشی که برگرفته از [۲۵] است، آن را تبدیل به یک مسئله غیرخطی محدب می کنیم و سپس توسط روش مضارب لاگرانژ P_i^* و P_j^* به دست می آوریم.

بازده بهینه q^* را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$q^* = U(P^*_i, P^*_j) = \max_{P_i, P_j} U(P_i, P_j) \quad (23)$$

قضیه ۱: بازده انرژی q^* است، اگر و تنها اگر

$$R_{TOT}(P^*_i, P_j) - q^* \times P_{TOT}(P^*_i, P_j) = 0 \quad (24)$$

بنابراین، حل مسئله بهینه سازی (۱۷) معادل حل مسئله (۲۵) برای یک q مشخص می باشد.

$$R_{TOT}(P^*_i, P_j) - q^* \times P_{TOT}(P^*_i, P_j) = 0 \quad (25)$$

Subject to:

$$C1, C3$$

اگر $\sum_{j=1}^M x_{ij} = 0$ باشد λ_{ij}^{z+1} از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\lambda_{ij}^{z+1} = \left[\lambda_{ij}^z - \rho_2^z (C_{ij} - R_{\min}) \right]_0^+ \quad (36)$$

که $[x]_0^+ = \max(0, x)$ ، اندازه گام برای الگوریتم تکرار است. حال، مسئله تخصیص توان برای یک q مشخص حل شده است. برای این که P_i^* را برای همه q های ممکن بیابیم از الگوریتم تکرار زیر استفاده می‌کنیم.

الگوریتم ۱: انتخاب رله و تخصیص منابع

۱: مقداردهی اولیه: $z=1, P(0)$

۲: تکرار کن

• حل مسئله انتخاب رله و به دست آوردن $X_{ij}(z)$ با استفاده از رابطه (۹)

• محاسبه توان‌ها با استفاده از $X_{ij}(z)$ از طریق الگوریتم ۲

• $z=z+1$

۳: تا زمانی که $|p(z) - p(z-1)| \leq \Delta_1$

۴: خروجی سیستم: $P(z), X(z)$

بر اساس الگوریتم ۱، در تکرار اول یک مقدار اولیه تصادفی به توان فرستنده D2D و رله اختصاص داده می‌شود سپس وزن رله‌ها محاسبه می‌شود و رله‌ای که حداکثر وزن را داشته باشد با استفاده از حل مسئله (۹) انتخاب می‌گردد؛ بنابراین مشخص می‌شود که کاربران D2D از کدام رله برای انتقال داده‌ها استفاده می‌کنند. پس از انتخاب رله توان اختصاص داده به رله و فرستنده D2D با استفاده از حل مسئله (۱۷) به دست می‌آید سپس در تکرار بعدی توان جدید جایگزین توان اولیه می‌شود و مراحل انتخاب رله و تخصیص توان تکرار می‌گردد تا زمانی که مقدار توان مصرفی فرستنده D2D و رله، به یک عدد همگرا شود. الگوریتم تخصیص توان را که از حل مسئله (۱۷) به دست می‌آید به شرح زیر است.

الگوریتم ۲: تخصیص توان

۱: مقداردهی اولیه: $z=0, \lambda(0), \theta(0), \delta(0), P(0)$

۲: محاسبه توان‌ها

• اگر $X_{ij}=1$ باشد با استفاده از رابطه (۲۸) و (۳۰)

• اگر $X_{ij}=0$ باشد با استفاده از رابطه (۳۱) و (۳۳)

۳: بروز کردن مقادیر θ, δ و λ با استفاده از روابط (۳۴) و (۳۶)

۴: اگر $|p(z) - p(z-1)| \leq \Delta_1$

توقف کن

۵: در غیر این صورت $z=z+1$ و به گام دو برو

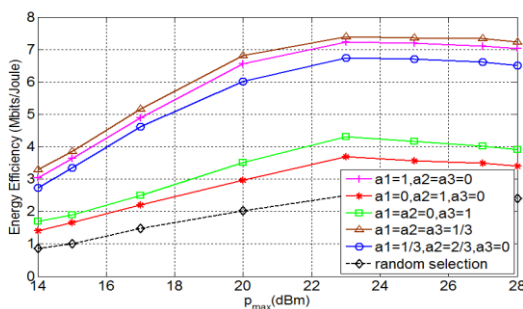
۵- شبیه‌سازی سناریوی انتخاب رله در ارتباطات D2D

شبیه‌سازی در یک محیط با ابعاد 200×200 مترمربع انجام شده است. BS در مرکز این ناحیه قرار گرفته است. پهنای باند شبکه $1/25 \text{ MHz}$ می‌باشد. کانال‌ها بر اساس فیدینگ ریلی مدل‌سازی شده‌اند [۲۶]، BS به آنتن همه‌سویه مجهز است. ارتفاع آنتن BS، ۱۵ متر، کاربرهای سلولی تا شعاع ۲۰۰ متر از BS و کاربران D2D در فاصله ۵۰-۱۰ متری کاربران سلولی قرار دارند. فاصله فرستنده تا گیرنده D2D، ۳۰ متر است. رله‌ها در شعاع ۱۵-۱۰ متری فرستنده و در یک محدوده فازی $(-\pi/4, +\pi/4)$ پراکنده شده‌اند و در این فاصله رله‌ها تحت پوشش فرستنده و گیرنده D2D قرار دارند. اطلاعات حالت کانال در دسترس می‌باشد. البته در صورت در دسترس نبودن اطلاعات می‌توان تخمینی از آن را در نظر گرفت [۲۷] که چنین شرایطی مورد نظر مقاله نیست. در بخش‌هایی که مقادیر فاکتورهای وزن دهی a_1, a_2 و a_3 ذکر نشده است، مقادیر آن‌ها مساوی و برابر $1/3$ فرض شده است. تعدادی از پارامترهای شبیه‌سازی در جدول (۱) ذکر شده است.

جدول (۱): پارامترهای شبیه‌سازی

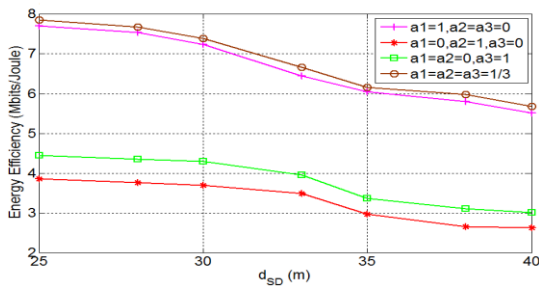
پارامتر	مقدار
تعداد کاربران D2D	5
تعداد کاربران سلولی	5
پهنای باند	1.25 MHz
چگالی توان نویز	-107dBm
توان ارسالی کاربر سلولی	23 dBm
حداکثر توان فرستنده D2D	23 dBm
حداکثر سطح تداخل مجاز فرستنده و رله به BS	0.2 W
حداقل نرخ داده موردنیاز کاربران D2D	1 Mbit/s
K توزیع پارتو فرستنده	0.002
K توزیع پارتو گیرنده	0.004
Sigma توزیع پارتو	0.5
Theta توزیع پارتو	0

۶- نتایج حاصل از شبیه‌سازی



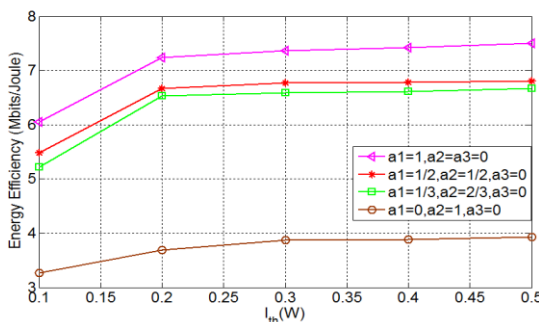
شکل (۲): نمودار بهره‌وری انرژی D2D ها بر حسب تغییرات آستانه توان مجاز برای فرستنده D2D به ازای شش طرح انتخاب رله

شکل (۲) تغییرات بهره‌وری انرژی در ارتباطات D2D را نسبت به



شکل (۳): نمودار بهره‌وری انرژی D2D ها برحسب به تغییرات فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده D2D به ازای چهار طرح انتخاب رله

در شکل (۳) اثر انتخاب رله با ضرایب وزنی a_1 ، a_2 و a_3 روی بهره‌وری انرژی شبکه برحسب فاصله‌های مختلف D2D (d_{SD}) بررسی می‌شود. رفتار وزن‌ها مشابه شکل (۲) می‌باشد. بهره‌وری انرژی با افزایش d_{SD} کاهش می‌یابد؛ زیرا فاصله رله تا فرستنده و گیرنده D2D هم متناسب با d_{SD} تغییر می‌کند و کیفیت کانال‌های انتقال کاهش می‌یابد در نتیجه بهره‌وری شبکه رو به کاهش است.



شکل (۴): نمودار بهره‌وری انرژی D2D ها برحسب تغییرات آستانه تداخل مجاز BS به ازای چهار طرح انتخاب رله

شکل (۴) تغییرات بهره‌وری انرژی را نسبت به I_{th} های مختلف نشان می‌دهد. با افزایش I_{th} آستانه تحمل تداخل در شبکه افزایش می‌یابد در نتیجه توان فرستنده و رله می‌تواند افزایش یابد. در نتیجه نرخ داده رو به افزایش است. بنابراین، همان‌طور که در منحنی مشخص است، بهره‌وری انرژی بعد از $I_{th} = 0.3W$ تقریباً ثابت می‌شود؛ زیرا شرایط توان در مسئله (۱۷) مانع افزایش نرخ داده می‌شود و بنابراین بهره‌وری انرژی ثابت می‌گردد. اثر انتخاب رله با ضرایب وزنی a_1 و a_2 در واقع معیار انتخاب رله‌ها بر پایه شرایط اجتماعی و میزان جمع‌آوری انرژی می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هرچه a_1 (ضریب وزن اجتماعی) بیشتر می‌شود تمایل رله‌ها برای شرکت در انتقال داده‌ها بیشتر می‌گردد. در نتیجه بهره‌وری افزایش چشمگیری را به همراه دارد. در عوض با افزایش a_2 (ضریب وزن انرژی جمع‌آوری‌شده) به دلیل اینکه رله‌ی انتخابی ممکن است تمایل به همکاری کمی داشته باشد، بهره‌وری کمتر است.

p_{max} های مختلف نشان می‌دهد. با افزایش p_{max} تا مقدار ۲۳dBm بهره‌وری افزایش می‌یابد از ۲۳ dBm به بعد بهره‌وری رو به کاهش است؛ زیرا اثرات تداخل باعث می‌گردد که کاربران نتوانند توان ارسال خود را افزایش دهند. این شکل شامل شش حالت انتخاب رله می‌باشد. حالت اول $a_1=1$ ، در واقع فقط ضریب وزن اجتماعی رله در انتخاب رله در نظر گرفته شده است.

رله‌ای که وزن اجتماعی آن بیشتر باشد برای همکاری جهت انتقال داده از فرستنده به گیرنده D2D مورد استفاده قرار می‌گیرد. رله‌ای که وزن اجتماعی بالاتری دارد تمایل بیشتری به همکاری با آن کاربر D2D دارد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید شرایط اجتماعی رله به تنهایی بهره‌وری انرژی را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. چراکه رله‌ها که در واقع می‌توانند همان کاربران موجود در شبکه باشند، معمولاً تمایل کمی به رله کردن داده‌های افرادی که روابط اجتماعی کمی با آنها دارند، از خود نشان می‌دهند و در نتیجه می‌توانند نرخ داده پایینی را برای رله کردن صرف‌نظر از شرایط کانال در اختیار بگذارند و این شرایط به‌صورت یک ضریب در نرخ داده دیده شده است. بنابراین تمایل شخص برای رله کردن داده‌های اشخاص مستقیماً بر روی نرخ داده تأثیر گذار شده است.

در حالت دوم $a_2=1$ ، رله تنها برحسب میزان انرژی که جمع‌آوری کرده، انتخاب می‌شود. در مجموع در این حالت رله‌ای با کیفیت کانال نامناسب و رابطه اجتماعی ضعیف می‌تواند انتخاب شود؛ بنابراین، بهره‌وری انرژی نسبت به منحنی اول پایین‌تر قرار می‌گیرد. حالت سوم $a_3=1$ ، وقتی که برای انتخاب رله نرخ داده را به تنهایی در نظر بگیریم رله‌هایی که بهترین کانال را دارند انتخاب می‌شود اما به دلیل اینکه این رله‌ها ممکن است تمایل کمتری به همکاری داشته باشند و نیز ممکن است از لحاظ جمع‌آوری انرژی هم وضعیت مناسبی نداشته باشند، بهره‌وری انرژی پایین‌تری نسبت به منحنی حالت اول دارند. حالت چهارم $a_1=a_2=a_3=1/3$ ، در این حالت با ترکیب سه حالت قبل، رله‌ای انتخاب می‌شود که هم قدرت اجتماعی بالایی دارد و هم میزان انرژی و نرخ داده انتقال مناسبی را داراست. این رله نسبت به حالات قبل شایستگی بیشتری دارد و همان‌طور که مشاهده می‌شود، این منحنی از منحنی‌های دیگر بالاتر است. حالت پنجم $a_1=1/3$ ، $a_2=2/3$ ، $a_3=0$ این حالت تنها شرایط اجتماعی و میزان انرژی جمع‌آوری‌شده در نظر گرفته شده است. امکان اینکه کیفیت کانال در این حالت نامناسب باشد، وجود دارد و همچنین ضریب تأثیر قدرت اجتماعی نیز کمتر در نظر گرفته شده، در نتیجه از منحنی شرایط اجتماعی به تنهایی پایین‌تر قرار گرفته است. حالت ششم در واقع انتخاب رله به‌صورت تصادفی است. بدون توجه به شرایط اجتماعی، میزان انرژی جمع‌آوری‌شده و نرخ داده انتقال آن، همان‌طور که مشاهده می‌کنید این منحنی از تمام حالات ذکر شده پایین‌تر می‌باشد.

شکل (۷) مجموع نرخ داده در ارتباطات D2D برحسب P_{max} را نشان می‌دهد. تا مقدار ۲۵ dBm مجموع نرخ داده افزایش می‌یابد اما از ۲۵ dBm به بعد مجموع نرخ داده ثابت می‌گردد زیرا اثرات تداخل باعث می‌گردد که کاربران نتوانند توان ارسالی خود را افزایش دهند. با در نظر گرفتن مقادیر مختلف M (تعداد کاربران D2D) همان‌طور که در شکل (۶) تحلیل شد، با افزایش تعداد زوج‌های D2D نرخ انتقال داده افزایش می‌یابد.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، ما به بررسی میزان تأثیر نحوه انتخاب رله در ارتباطات D2D در یک شبکه سلولی که در آن رله‌ها قابلیت برداشت انرژی را دارند پرداختیم. در انتخاب رله پارامترهای قدرت اجتماعی رله، SINR ارتباطات D2D و میزان برداشت انرژی توسط رله مورد توجه قرار گرفت. در واقع رله‌ای در ارتباطات D2D توانست برگزیده شود و مورد استفاده قرار گیرد که علاوه بر قدرت اجتماعی بالا، انرژی برداشت شده کافی، SINR بالاتر از حد آستانه را تأمین کند. این بدین معناست که رله‌ای که هم تمایل بیشتری به همکاری با زوج D2D دارد، هم دارای کیفیت کانال مناسب و نیز میزان برداشت انرژی مناسبی است، می‌تواند انتخاب شود و بازده انرژی کل شبکه را بهبود بخشد.

مسئله بهینه‌سازی در این پژوهش، با هدف ماکزیمم کردن بهره‌وری انرژی تنظیم شده بود. بدین منظور ضمن پیشنهاد الگوریتم جدیدی، پاسخ نزدیک به بهینه برای مسئله بهینه‌سازی یافت شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که انتخاب رله بر پایه ترکیبی از شرایط اجتماعی و میزان انرژی جمع‌آوری شده و کیفیت کانال تا حد زیادی باعث بهبود بازده انرژی و مجموع نرخ داده انتقال یافته در ارتباطات D2D می‌شود.

پیوست الف

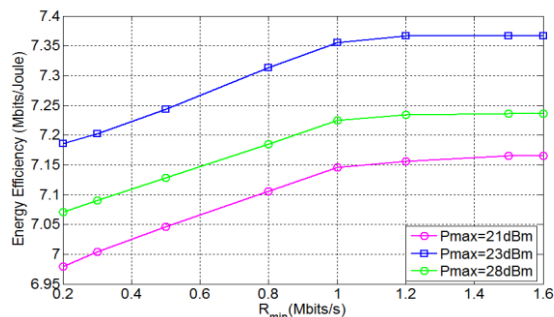
• به منظور بدست آوردن توان برای هر یک از فرستنده‌های D2D و رله‌ی مربوط به هر زوج D2D شرایط KKT را بررسی می‌کنیم.
ابتدا برای سادگی پارامترهای زیر را تعریف می‌کنیم:

$$A = P_c g_{c_j} + \sigma_j$$

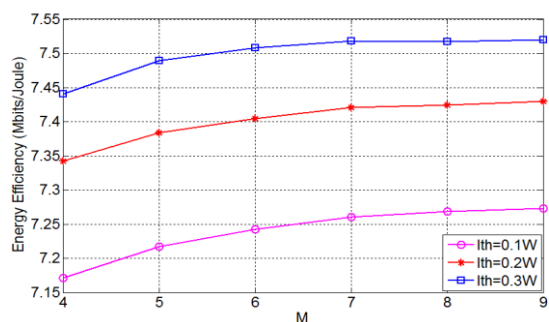
$$B = P_c g_{c_i} + \sigma_i$$

اگر $\sum_{j=1}^M x_{ij} = 1$ باشد:

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{1}{\ln(2)} \frac{w \beta_{ij} g_{ij}}{P_c g_{c_j} + \sigma_j + P_i g_{ij}} - \frac{q}{2} \left(1 + \frac{B g_{ij} - A g_{ii}}{A g_{ji}} \right) + \lambda_{ij} \frac{w \beta_{ij} g_{ij}}{P_c g_{c_j} + \sigma_j + P_i g_{ij}} - \theta_i g_{ib} - \sum_{j=1}^M \delta_{ij} g_{jb} \frac{B g_{ij} - A g_{ii}}{A g_{ji}} = 0$$

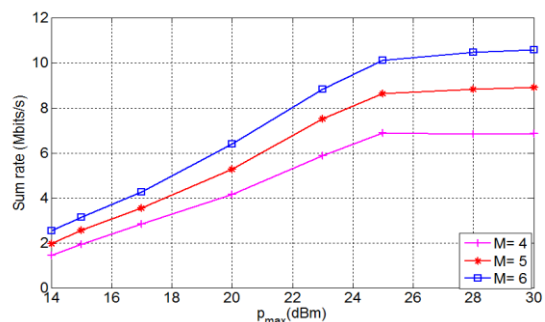


شکل (۵): نمودار بهره‌وری انرژی D2D ها برحسب تغییرات آستانه حداقل نرخ داده برای آستانه حداکثر توان مجاز برای فرستنده D2D شکل (۵) تغییرات بهره‌وری انرژی را نسبت به R_{min} های مختلف نشان می‌دهد. R_{min} آستانه حداقل نرخ داده در ارتباطات D2D است. هرچه R_{min} بیشتر باشد، نرخ داده در سطح بالاتری قرار می‌گیرد در نتیجه بهره‌وری افزایش می‌یابد. با در نظر گرفتن مقادیر مختلف P_{max} مشاهده می‌شود در حالت $P_{max} = 23$ dBm بهره‌وری بالاتر از $P_{max} = 21$ dBm است در حالی که در $P_{max} = 28$ dBm بهره‌وری نسبت به $P_{max} = 23$ dBm کمتر است در واقع از توان ۲۳ dBm به بعد بهره‌وری انرژی به دلیل اثرات تداخل، همان‌طور که در شکل (۲) بیان شد، رو به کاهش است.



شکل (۶): نمودار بهره‌وری انرژی D2D ها برحسب تعداد کاربران به ازای مقادیر مختلفی از آستانه تداخل مجاز

شکل (۶) بهره‌وری انرژی را نسبت به افزایش تعداد زوج‌های D2D نشان می‌دهد. هرچه تعداد زوج‌ها بیشتر باشد مجموع نرخ داده افزایش می‌یابد در نتیجه بهره‌وری انرژی رو به افزایش است.



شکل (۷): نمودار تغییر مجموع نرخ داده D2D نسبت به آستانه حداکثر توان مجاز برای فرستنده D2D به ازای تعداد کاربران D2D

- and Its Associated Workshops (UIC-ATC-ScalCom), IEEE 2015 12th Intl Conf, pp. 839-845, August. 2015.
- [5] H. Xiao, Y. Hu, K. Yan and S. Ouyang, "Power Allocation and Relay Selection for Multisource Multi relay Cooperative Vehicular Networks," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.17, no. 11, PP. 3297 – 3305, 2016.
- [6] M. Seyfi, S. Muhaidat and J. Liang, "Relay selection in cognitive radio networks with interference constraints," IET Communications, vol. 7, no.10, pp. 922-930, 2013.
- [7] Y. Zhao and W. Song, "Survey on Social-Aware Data Dissemination Over Mobile Wireless Networks," IEEE Access, vol. 5, pp. 6049-6059, 2017.
- [8] H. Mao, W. Feng and N. Ge, "Social-aware cooperation among mobile terminals for wireless downlink transmission," China Communications, vol. 12, no.9, pp. 1-10, 2015.
- [9] X. Pan and H. Wang, "On the Performance Analysis and Relay Algorithm Design in Social-Aware D2D Cooperated Communications," in Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2016 IEEE 83rd, 2016, pp. 1-5.
- [10] X. Chen, B. Proulx, X. Gong, and J. Zhang, "Exploiting social ties for cooperative D2D communications: A mobile social networking case," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 23, pp. 1471-1484, 2015.
- [11] H. Mao, W. Feng, Y. Zhao, and N. Ge, "Joint social-position relationship based cooperation among mobile terminals," IEEE Communications Letters, vol. 18, pp. 2165-2168, 2014.
- [12] Y. Zhao, W. Song, and Z. Han, "Social-aware data dissemination via device-to-device communications: Fusing social and mobile networks with incentive constraints," IEEE Transactions on Services Computing, 2016.
- [13] Y. He, X. Cheng, W. Peng, and G. L. Stuber, "A survey of energy harvesting communications: Models and offline optimal policies," IEEE Communications Magazine, vol. 53, pp. 79-85, 2015.
- [14] R. V. Prasad et al., "Reincarnation in the Ambiance: Devices and Networks with Energy Harvesting," IEEE Commun. Surveys & Tutorials, vol. 16, no. 1, 1st Quarter, 2014, pp. 195–213.
- [15] J. Yang and S. Ulukus, "Optimal packet scheduling in an energy harvesting communication system," IEEE Transactions on Communications, vol. 60, pp. 220-230, 2012.
- [16] P. Lakhlan and A. Trivedi, "Energy harvesting-based two-hop D2D communication in cellular networks," in Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2016 International Conference on, 2016, pp. 328-332
- [17] D. Munir, S. T. Shah, W. J. Lee, M. Y. Chung, and S. F. Hasan, "Selection of relay UE with energy harvesting capabilities in public safety environment," in Information Networking (ICOIN), 2016 International Conference on, 2016, pp. 40-44
- [18] L. Jiang, H. Tian, Z. Xing, K. Wang, K. Zhang, S. Maharjan, et al., "Social-aware energy harvesting device-to-device communications in 5G networks," IEEE Wireless Communications, vol. 23, pp. 20-27, 2016
- [19] K. Yang, S. Martin, L. Boukhatem, J. Wu, and X. Bu, "Energy-Efficient Resource Allocation for Device-to-Device Communications Overlaying

$$\frac{1}{\ln(2)} \frac{w \beta_{ij} g_{ij} (1 + \lambda_{ij})}{P_c g_{c_j} + \sigma_j + P_i g_{ij}} = D \Rightarrow D (P_c g_{c_j} + \sigma_j) + D P_i g_{ij}$$

$$= w \beta_{ij} g_{ij} (1 + \lambda_{ij}) \frac{1}{\ln(2)}$$

$$\Rightarrow P_i^* = \left[\frac{w \beta_{ij} (1 + \lambda_{ij})}{\ln(2) D} \frac{P_c g_{c_j} + \sigma_j}{g_{ij}} \right]^{\min(\mu P_{\max}, P_{\max})}$$

$$\Rightarrow P_j^* = \frac{B g_{ij} - A g_{ii}^*}{A g_{ji}^*} P_i^*$$

$$D = \frac{q}{2} \left(1 + \frac{B g_{ij} - A g_{ii}^*}{A g_{ji}^*} \right) + \theta_i g_{ib} + \sum_{j=1}^M \delta_{ij} g_{jb} \frac{B g_{ij} - A g_{ii}^*}{A g_{ji}^*}$$

اگر $\sum_{j=1}^M x_{ij} = 0$ باشد:

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{1}{\ln(2)} \frac{w g_{ii}^*}{P_c g_{c_i} + \sigma_i + P_i g_{ii}^*} + q^*$$

$$+ \lambda_{ij} \frac{1}{\ln(2)} \frac{w g_{ii}^*}{P_c g_{c_i} + \sigma_i + P_i g_{ii}^*} - \theta_i g_{ib} = 0$$

$$\frac{1}{\ln(2)} \frac{w g_{ii}^*}{P_c g_{c_i} + \sigma_i + P_i g_{ii}^*} = H \Rightarrow H (P_c g_{c_i} + \sigma_i) + H P_i g_{ii}^*$$

$$= \frac{1}{\ln(2)} w g_{ii}^* (1 + \lambda_{ij})$$

$$\Rightarrow P_i^* = \left[\frac{w (1 + \lambda_{ij})}{\ln(2) H} \frac{P_c g_{c_i} + \sigma_i}{g_{ii}^*} \right]^+, P_j^* = 0$$

$$H = q^* + \theta_i g_{ib}$$

• تابع چگالی احتمال برای توزیع پارتو تعمیم یافته با پارامترهای، k پارامتر شکل، σ پارامتر مقیاس و θ پارامتر آستانه، برای $k > 0$ ، $x > \theta$ به فرم زیر می باشد.

$$y = f(x/k, \delta, \theta) = \left(\frac{1}{\sigma}\right) \left(1 + K \frac{x - \theta}{\sigma}\right)^{-1 - \frac{1}{k}}$$

مراجع

- [1] M. Hasan, E. Hossain, "Distributed resource allocation for relay-aided device-to-device communication: A message passing approach," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 13, no. 11, pp. 6326-6341, 2014.
- [2] A. Asadi, Q. Wang and V. Mancuso, "A survey on device-to-device communication in cellular networks," IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 16, no. 4, pp. 1801-1819, 2014.
- [3] Y. Chen, S. He, F. Hou, Z. Shi and X. Chen, "Optimal user-centric relay assisted device-to-device communications: an auction approach," IET Communications, vol. 9, no. 3, pp. 386-395, 2015.
- [4] Z. Ma, S. Ban, W. Yan, Y. Li and L. Liu, "Optimal Relay Selection and Cooperative Power Allocation in Cognitive Radio Networks," In Ubiquitous Intelligence and Computing and 2015 IEEE 12th Intl Conf on Autonomic and Trusted Computing and 2015 IEEE 15th Intl Conf on Scalable Computing and Communications

- LTE Networks,” IEEE 82nd Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2015, pp. 1-6
- [20] Y. A. Sambo, M. Z. Shakir, K. A. Qaraqe, et al., “Energy efficiency improvements in HetNets by exploiting device-to-device communications,” in Proc. European Signal Processing Conference (EUSIPCO), pp. 151–155, Sep. 2014.
- [21] W. Dan, W. Jinlong, R. Hu, C. Yueming, and Z. Liang, “Energy-Efficient Resource Sharing for Mobile Device-to-Device Multimedia Communications,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 63, no. 5, pp. 2093-2103, 2014.
- [22] T. Hoang, L. Le, and T. Le-Ngoc, “Energy-Efficient Resource Allocation for D2D Communications in Cellular Networks,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 9, pp. 6972-6986, 2016.
- [23] X. Gao, H. Han, K. Yang, and J. An, “Energy efficiency optimization for D2D communications based on SCA and GP method,” China Communications, vol. 14, pp. 66-74, 2017.
- [24] H. Li, C. Wu, Z. Li, W. Huang, and F. C. Lau, “Stochastic optimal multirate multicast in socially selfish wireless networks,” in INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE, 2012, pp. 172-180.
- [25] R. Wang, J. Liu, G. Zhang, S. Huang, and M. Yuan, “Energy efficient power allocation for relay-aided D2D communications in 5G networks,” China Communications, vol. 14 pp. 54-64, 2017.
- [26] “Selection procedures for radio transmission technologies of the UMTS,” 3GPP TR 30.03U, version 3.2.0, 1998.
- [۲۷] زراعتکارمقدم، جواد، فرخی، حمید، ندا، ناصر، “مدیریت تداخل در شبکه‌های رادیوشناختگر با استفاده از شکل دهی پرتو همکارانه تحت اطلاعات غیر دقیق کانال”. نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال چهاردهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۶

زیر نویس‌ها

-
- ¹ Device to device
² Base Station
³ Mobile Social Networking
⁴ Energy Harvest
⁵ Evolved Node BS