بهبود کارآیی انرژی شبکه با استفاده از ارتباط مستقیم کاربران

علی کریمی­کلایه1، پائیز عزمی2، نادر مکاری یامچی3 و نجمه مدنی4

1دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده برق و کامپیوتر، a.karmikelayeh@ modares.ac.ir

2 دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده برق و کامپیوتر، pazmi@modares.ac.ir

3 دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده برق و کامپیوتر ، nader.mokari@modares.ac.ir

4 دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده برق و کامپیوتر ، najmeh\_madani@yahoo.com

چکيده – ارتباط مستقیم کاربران (Device-to-Device(D2D))، یکی از راه‌حل­هایی است که جهت افزایش کارایی در شبکه­های سلولی مطرح شده است. در این شبکه­ها، کارایی انرژی و مصرف توان دو معیار مهم می­باشند. در این مقاله روش جدیدی مطرح شده است که علاوه بر تضمین کیفیت سرویس (Quality of Service (QoS)) ، با مصرف حداقل توان، کارآیی انرژی را بهبود می بخشد. در روش پیشنهادی، یک مسئله بهینه­سازی با هدف کاهش توان ارسالی مطرح می­شود که خود به دو زیرمسئله تجزیه می­شود: انتخاب شیوه و واگذاری کانال و دیگری مسئله تخصیص توان. به منظور کاهش پیچیدگی محاسباتی، شبکه در سه حالت بار کم، متوسط و زیاد بررسی می­شود. در هر حالت با بیان الگوریتم­هایی با پیچیدگی محاسباتی پایین به­دنبال تشخیص میزان کارآیی روش پیشنهادی در کاربردهای واقعی هستیم. در نهایت، میزان کارآیی الگوریتم­های پیشنهادی را در بارهای مختلف شبکه بررسی کردیم که نتایج، نشان­دهنده کارآیی بالای روش پیشنهادی در کاربردهای واقعی است.

كليد واژه- ارتباط مستقیم کاربران (*D2D*)، تخصیص توان، انتخاب شیوه، واگذاری کانال

# مقدمه

ارتباط مستقیم کاربران (Device-to-Device (D2D))، یکی از راه‌حل­هایی است که جهت افزایش کارایی در شبکه­های سلولی مطرح شده است. در این ارتباط، دستگاه­هایی که در نزدیکی یک دیگر قرار دارند می­توانند به طور مستقیم و بدون اتصال به ایستگاه پایه (Base Station (BS)) به مبادله اطلاعات بپردازند. این توانایی مزایای بسیاری مانند کاهش توان ارسالی و زمان مورد نیاز برای ارسال اطلاعات را موجب می‌شود. علاوه بر آن، کاربران D2D می­توانند با استفاده مجدد از طیف کاربران سلولی (Cellular User (CU))، کارایی طیفی را بهبود دهند.

در کنار این مزایا، چالش هایی نیز وجود دارند که پیاده سازی D2D را با مشکل مواجه می کنند. اولین چالش مدیریت تداخل است که در [1-3] مطرح شده اند. در [3] یک ناحیه تداخل محدود شده (Interference Limited Area (ILA)) برای هر D2D معرفی شده است و پیشنهاد می­کند که D2D ها اجازه استفاده مجدد از طیف کاربران سلولی موجود در ناحیه تداخل خود را نداشته باشند. از دیگر مسائل مطرح در این زمینه انتخاب شیوه مناسب است. به این معنا که فرستنده ارتباط مستقیم (D2D Transmiter (DT)) ، کدام­یک از روش­های زیر را برای برقراری ارتباط با گیرنده نظیرش (D2D Reciever (DR)) استفاده کند:

* شیوه زمینه­ایی: در این روش، برقراری ارتباط در میان DT و DR با استفاده مجدد از طیف کاربران سلولی، انجام می شود.
* شیوه رویه­ایی: در روش رویه­ایی یک کانال خالی به جفت D2D اختصاص داده می شود.
* شیوه سلولی: در این شیوه جفت­های D2D از طریق BS به انتقال اطلاعات می پردازند.

به منظور کاهش تداخل می­توان، انتخاب شیوه را بر اساس مقایسه­ی کیفیت کانال های DT به DR و کانال DT به BS انجام داد که در [4] بررسی شده است. در [5-7] نیز مسئله انتخاب شیوه و کنترل توان توام بحث شده است.

در این مقاله روشی مطرح شده است که علاوه بر تضمین کیفیت سرویس (Quality of Service (QoS))، با مصرف حداقل توان، کارآیی انرژی را بهبود می­بخشد. مشابه با [8]، کیفیت سرویس کاربران با مقدار (Signal to Noise Interference Ratio) SINR دریافتی آن­ها مدل می شود. در این راستا یک مسئله­ی بهینه سازی مطرح می شود که هدف آن حداقل نمودن توان ارسالی تمامی کاربران است. ابتدا توان ارسالی بهینه در هر شیوه محاسبه می­شود سپس الگوریتم­هایی برای حل مسئله انتخاب شیوه و واگذاری کانال مناسب ارائه می­شوند.

در ادامه در فصل 2، به توصیف مدل سیستم­ پیشنهادی می­پردازیم. سپس در فصل 3، با بیان مسئله بهینه­سازی به دنبال حل مسئله پیش­رو هستیم. در انتها در فصل­های 4 و 5 هم به ترتیب، نتایج شبیه­سازی و نتیجهگیری آورده شده است.

# مدل‌سازی سیستم مخابراتی

در این فصل به توصیف مدل­ سیستم پیشنهادی می­پردازیم. یک سلول که BS در مرکز آن قرار دارد را در نظر گرفته و فرض می‌کنیم که BS، آگاهی کاملی به مقادیر لحظه ایی اطلاعات کانال­ها (Channel State Information (CSI)) دارد. تعداد CU ها و D2D ها را به ترتیب با *M* و *K* نشان داده و به مانند [8] حالتی را در نظر می گیریم که در آن تعداد کاربران ارتباط مستقیم از سلولی­ها کمتر است. علاوه بر آن فرض می کنیم که تخصیص کانال کاربران سلولی، انجام شده است و تعداد () کانال فراسو (فروسو) بلا استفاده باقی مانده­اند. انتخاب تمامی شیوه­ها، برای کاربران D2D مجاز است به شرطی که موارد زیر رعایت شود.

* شیوه زمینه­ایی (Underlay Mode): در این روش، جفت­های D2D تنها مجاز به استفاده از کانال های فراسو هستند. فرض می کنیم که هر کانال حداکثر بین یک CU و یک جفت D2D، به اشتراک گذاشته می شود. همچنین، هر جفت، حداکثر از یک کانال سلولی استفاده مجدد می کند.
* شیوه رویه ایی (Overlay Mode): در این حالت، تداخل میان سمبلی صفر است و تنها وجود نویز در نظر گرفته می شود. علاوه بر آن، تنها یک کانال خالی به هر جفت D2D اختصاص داده می شود.
* شیوه سلولی (Cellular Mode): به هر D2D یک کانال فراسو و یک کانال فروسو، تخصیص داده می شود. بعلاوه، دیگر کاربران D2D اجازه استفاده مجدد از این کانال ها را ندارند. همچنین فرض می کنیم که SINR دریافتی BS در این حالت از SINR دریافتی DR کمتر است.

اثبات صحت فرض های بالا، در [8, 9] آورده شده است. بهره کانال جفت D2D شماره  با رابطه زیر مشخص می­شود:

(1) 

که در آن ضریب ثابت تضعیف مسیر و متغیر تصادفی بیانگر میزان محوشدگی است که توزیع آن Lognormal درنظر گرفته می­شود. نام گذاری فاصله جفت D2D و همچنین توان تضعیف مسیر به ترتیب توسطوانجام می‌شود. به شکلی مشابه، سایر بهره ها و ضرایب تداخل کاربران نسبت به یکدیگر، مشخص می­شوند (،، و ).

# طراحی مساله و حل آن

کارایی انرژی شبکه به صورت زیر تعریف می شود:

(2) 

که در آن  و  و  به ترتیب مجموع نرخ شبکه، توان کل ارسالی و توان اتلافی مدارات الکترونیکی می باشند. با دقت در رابطه (2) می­توان مشاهده کرد که کاهش توان کل ارسالی، افزایش کارآیی انرژی شبکه را در پی دارد. در نتیجه یک مسئله بهینه­سازی با هدف حداقل نمودن توان کل مصرفی مطرح می­شود. سپس با محاسبه نرخ بدست آمده، می­توان توانایی ارتباط D2D در افزایش کارایی انرژی شبکه را نشان داد.

## بیان مسئله

برای بیان مسئله در ابتدا ماتریس انتخاب شیوه و کانال را با  نمایش می­دهیم که در آن  ماتریسی  بعدی و بیانگر ماتریس­ انتخاب شیوه در حالت­ زمینه‌ایی است در حالی که و  ماتریس­های  بعدی متناظر با روش های رویه‌ایی و سلولی هستند. در صورتی که یکی از D2Dها در هر یک از حالت­های مجاز باشد مولفه‌ی متناظرش در ماتریس‌های و  و  برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر درنظر گرفته می­شود. علاوه بر آن، ماتریس توان ارسالی به صورت  تعریف می­شود، که در آن  و  و  نشان دهنده توان ارسالی کاربران D2D در حالت­های زمینه‌ایی، رویه‌ایی و سلولی است. علاوه بر آن  نشان دهنده توان ارسالی کاربر سلولی است، که در حالتی زمینه ایی برابر  و در حالتی که مورد استفاده مجدد قرار نمی گیرد برابر است. در نهایت می­توان، روابط (3-1) تا (3-10) را برای بیان مسئله حداقل توان در نظر گرفت.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3-1) |
|  | (3-2) |
|  | (3-3) |
|  | (3-4) |
|  | (3-5) |
|  | (3-6) |

محدودیت (3-2) بیان می­کند که تمامی عناصر ماتریس انتخاب حالت و واگذاری کانال برابر صفر یا یک هستند. (3-3) حداکثر استفاده از شیوه سلولی را بدست می‌دهد. (3-4) تضمین

|  |  |
| --- | --- |
| (3-7) |  |
| (3-8) |  |
| (3-9) |  |
| (3-10) |  |

می‌کند که تعداد کل حالت‌های سلولی و رویه ایی، از تعداد کانال‌های خالی بیشتر نشود. (3-5) نشان می‌دهد که هر D2D حداکثر یکی از شیوه های ممکن را انتخاب می‌کند، در حالی که (3-6) بیانگر محدودیت استفاده مجدد در حالت زمینه‌ایی است. محدودیت‌های (3-7) (3-8) (3-9) (3-10) توان و کیفیت سرویس در هر دو ارتباط D2D و سلولی را نشان می‌دهند.

## حل مسئله

در این بخش، راه­حلی را بر مبنای تقسیم مسئله به دو زیر مسئله کاهش توان و مسئله دیگر انتخاب شیوه و واگذاری کانال ارائه می‌کنیم.

جدول 1: الگوریتم پیشنهادی 1.

|  |
| --- |
| **الگوریتم پیشنهادی در حالت بار کم** |
| 1. **محاسبه توان مصرفی هر DT در حالت سلولی و رویه­ای** 2. **انتخاب یکی از شیوه­های سلولی و رویه­ای برای هر جفت D2D.** 3. **تا زمانی ، کاربر با کمترین توان ارسالی انتخاب می­شود.(مقدار اولیه متغیرهای تخصیص کانال صفر درنظر گرفته می­شود)** 4. **اگر کاربر مورد نظر از شیوه سلولی استفاده کند: و**  **و برو به 3** 5. **اگر**  **باشد**  **و** **و برو به 3** 6. **اگر**  **باشد**  **و** **و برو به 3** |

جدول 2: الگوریتم پیشنهادی 2.

|  |
| --- |
| **الگوریتم پیشنهادی در حالت بار متوسط** |
| 1. **مرتب کردن جفت­های D2D بر اساس کمترین مصرف توان** 2. **استفاده از الگوریتم Hungarian** **جهت تخصیص توان به جفت ابتدایی در 1** 3. **تا زمانی ، کاربر با کمترین توان ارسالی انتخاب می­شود.(مقدار اولیه متغیرهای تخصیص کانال صفر درنظر گرفته می­شود)** 4. **اگر**  **باشد**  **و** **و برو به 3** 5. **اگر**  **باشد**  **و** **و برو به 3** |

توجه داریم که در مسئله تخصیص توان، کاربران شیوه‌های سلولی و رویه‌ایی تداخلی را تجربه نمی‌کنند. بنابراین حداقل توان ارسالی در این حالت ها از روابط زیر حاصل می شوند.

(9) 

(10) 

(11) 

بهترین تخصیص توان در حالت زمینه ایی به [10] ارجاع داده می شود.

مسئله‌ی تخصیص توان می‌تواند با استفاده از روش شاخه و مرز (Branch and Bound (BB)) حل شود. پیچیدگی محاسباتی این الگوریتم با افزایش تعداد کاربران به صورت نمایی رشد می‌کند. بنابراین شبکه را در سه حالت بار کم، بار متوسط و بار زیاد بررسی می‌کنیم. در حالت بار کم، تعداد کانال‌های خالی از تعداد کاربران D2D بیشتر است بنابراین نیازی به استفاده از حالت زمینه‌ایی نیست و انتخاب شیوه میان حالت‌های رویه‌ایی و سلولی صورت می­گیرد. در حالت سلولی مقدار طیف استفاده شده، دو برابر حالت زمینه‌ایی است. بنابراین این شیوه در صورتی استفاده می‌شود که توان ارسالی آن نصف توان ارسالی در حالت زمینه‌ایی باشد. در حالت بار متوسط، تعداد کانال‌های خالی از تعداد کاربران D2D موجود کمتر است بنابراین حالت سلولی به دلیل استفاده از دو کانال خالی در برابر حالت های رویه‌ایی و زمینه‌ایی که از یک کانال استفاده می‌کنند، کنار گذاشته می‌شود. در این قسمت ابتدا بهترین جفت D2D موجود را برای حالت زمینه ایی و بقیه را برای حالت رویه‌ایی انتخاب می‌کنیم. حالت زمینه‌ایی در [10] با استفاده از الگوریتم Hungarian حل می­شود. جداول (1) و (2) خلاصه­ای از الگوریتم­های پیشنهادی را نشان می­دهند. لازم به ذکر است که پیچیدگی محاسباتی الگوریتم­های بالا به ترتیب برابر باو  است.

در حالت بار زیاد، تعداد کانال‌های خالی صفر است و تنها حالت زمینه­ایی ارتباط D2D قابل استفاده است.

# شبیه سازی

در بحث شبیه­سازی مشابه مرجع [9] عمل می­کنیم. در واقع، یک سلول دایره ای به شعاع 1 را در نظر می گیریم که که در آن کاربران سلولی به صورت یکنواخت توزیع شده اند. اما جفت­های D2D در خوشه هایی (cluster) به شعاع r که به صورت یکنواخت توزیع می‌شوند، قرار دارند. در این شبیه سازی تعداد کاربران سلولی، جفت های D2D و کانال های خالی برابر با 18، 8 و 6 در نظر گرفته شده‌اند. حداکثر توان کاربران، SINR مورد نیاز



شکل 1: افزایش توان ارسالی بر حسب شعاع خوشه در سلولی به شعاع km 1.



شکل 2: افزایش نرخ حاصله بر حسب شعاع خوشه در سلولی به شعاع km 1



شکل 3: افزایش کارآیی انرژی بر حسب شعاع خوشه در سلولی به شعاع km 1.

هریک و توان اتلاف مدارات الکترونیکی به ترتیب برابر با 20 و 10 و40 می‌باشند.

برای بررسی میزان کارآیی دو الگوریتم پیشنهادی، فاکتورهای افزایش مجموع توان ارسالی و نرخ ارسالی و افزایش کارآیی انرژی شبکه را درنظر گرفتیم و با مقایسه الگوریتم­های پیشنهادی با سه روش مخابره سلولی، روش BB در حالت بار کم شبکه و حالت بار متوسط شبکه به ­دنبال بررسی میزان کارآیی روش­های پیشنهادی بودیم.

شکل (1) بیانگر افزایش مجموع توان ارسالی نسبت به شعاع خوشه در شبکه­ای با بار متوسط است. با دقت در شکل می­توان به این نکته پی برد که مجموع توان ارسالی در هر دو الگوریتم پیشنهادی افزایش می­یابد. این درحالی ­است که این مقدار در مخابره سلولی تغییری از خود نشان نمی­دهد. دلیل این عدم تغییر این است که توان ارسالی در مخابره سلولی تحت تاثیر فاصله از BS است و به فاصله بین فرستنده و گیرنده وابسته نیست. در حالیکه در ارتباط D2D، توان ارسالی به فاصله مستقیم بین فرستنده و گیرنده وابسته است. در نتیجه با افزایش شعاع خوشه، توان ارسالی افزایش می­یابد.

شکل (2) نشانگر افزایش مجموع نرخ کاربران در شبکه است. با توجه به شکل، می توان مشاهده کرد که الگوریتم 2 عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم­های مشخص شده دارد. دلیل این امر آن است که این الگوریتم، استفاده مجدد از طیف CU ها را ممکن می­سازد. علاوه بر آن، در شیوه­ی رویه­ای به هر جفت D2D تنها یک کانال اختصاص داده می­شود. در حالیکه در مخابره سلولی از دو کانال استفاده می­شود. بنابراین الگوریتم 1 امکان ارتباط برای تعداد بیشتری از کاربران را فراهم می­کند و در نتیجه مجموع نرخ حاصله در این الگوریتم از مخابره سلولی بیشتر است.

شکل (3) نیز، افزایش کارآیی انرژی با استفاده از ارتباط D2D را نشان می­دهد. با مقایسه عملکرد الگوریتم­های پیشنهادی، می­توان به این نکته پی برد که افزایش شعاع خوشه سبب نزدیکی کارآیی الگوریتم­های پیشنهادی می­شود. دلیل این امر، آن است که با افزایش این فاصله، DT در شیوه زمینه­ای می­بایست جهت ارضاء SINR مورد نیاز، توان بیشتری مصرف کند. این توان بیشتر موجب کاهش SINR دریافتی BS می­شود. SINR دریافتی تا جایی کاهش پیدا می­کند که از میزان SINR مورد نیاز کاربران سلولی کمتر می­شود. در چنین حالتی، BS اجازه برقراری ارتباط D2D زمینه­ای را نمی­دهد. در نتیجه تنها روش قابل استفاده، شیوه رویه­ای خواهد بود. این نکته، نزدیکی عملکرد الگوریتم­های پیشنهادی را در فواصل دور، توجیه می­کند.

در نهایت، با دقت در نتایج شبیه­سازی می­توان به نزدیکی کارآیی الگوریتم­های پیشنهادی با روش BB پی برد. از این رو، کنارگذاشتن روش زمینه­ای در حالت بار کم و روش سلولی در حالت بار متوسط، تاثیر اندکی بر کارایی سیستم دارد.

# نتیجه گیری

در این مقاله، روشی مطرح کردیم که با استفاده از ارتباط D2D، بتواند با حداقل نمودن مجموع توان ارسالی، کارآیی انرژی را افزایش دهد. روش پیشنهادی را به­صورت یک مسئله بهینه­سازی با هدف کاهش توان ارسالی مدل کردیم. به منظور حل مسئه، آن را به دو زیر مسئله انتخاب شیوه و واگذاری کانال و دیگری مسئله تخصیص توان تجزیه کردیم. به­منظور کاهش پیچیدگی محاسباتی، هر سه حالت بار کم، متوسط و زیاد شبکه در نظر گرفته شد و برای دو حالت اول، الگوریتم­هایی با پیچیدگی محاسباتی پایین ارائه گردید. نتایج شبیه­سازی­ها حاکی از کارآیی بسیار نزدیک این الگوریتم­ها (در عین سادگی محاسباتی) با روش بهینه BB بودند که این امر، استفاده از این الگوریتم­ها را در کاربردهای واقعی امکان­پذیر می­سازد.

**مراجع**

1. P. Janis, C.-H. Yu, K. Doppler, C. Ribeiro, C. Wijting, K. Hugl, O. Tirkkonen, and V. Koivunen, “Device-to-Device communication underlaying cellular communications systems,” *Int J. Commun, Netw., Syst. Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 169–178, Mar. 2009.
2. P. Phunchongharn, E. Hossain, and D. I. Kim, “Resource allocation for device-to-device communications underlaying LTE-Advanced networks,” *to appear in IEEE Wireless Communications*, 2013.
3. H. Min, J. Lee, S. Park, and D. Hong, “Capacity enhancement using an interference limited area for device-to-device uplink underlaying cellular networks,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 12, pp. 3995–4000, Dec. 2011.
4. X. Lin, J. Andrews, and A. Ghosh, “Spectrum Sharing for Device-to-Device Communication in Cellular Networks,” e-print arXiv: 1305.4219.
5. C. Chien, Y. Chen, and H. Hsieh, “Exploiting spatial reuse gain through joint mode selection and resource allocation for underlay device-to-device communications,” in *Proc. IEEE WPMC*, Sept. 2012, pp. 80–84.
6. H. ElSawy, E. Hossain, and M.-S. Alouini, “Analytical modeling of mode selection and power control for underlay D2D communication in cellular networks,” IEEE Trans. Commun., vol. 62, no. 11, pp. 4147–4161, Nov 2014.
7. M. Jung, K. Hwang, and S. Choi, “Joint mode selection and power  
   allocation scheme for power-efficient device-to-device (D2D) communication,” in *Proc. IEEE VTC Spring*, May 2012, pp. 1–5.
8. D. Feng, L. Lu, Y. -W. Yi, G. Li, G. Feng, and S. Li, “Device-to-Device communications underlaying cellular networks,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, no. 8, pp. 3541–3551, Aug. 2013.
9. G. Yu, L. Xu, D. Feng, R. Yin, G. Y. Li, and Y. Jiang, “Joint mode  
   selection and resource allocation for device-to-device communications,” *IEEE Trans. Commun.,* vol. 63, no. 11, pp. 3814–3824, Nov. 2014.
10. S. Alamouti and A. Sharafat, “Resource allocation for energy-efficient device-to-device communication in 4g networks,” in *Telecommunications (IST), 2014 7th International Symposium on*, Sept 2014, pp. 1058–1063.