

بهبود کارایی انرژی شبکه با استفاده از ارتباط مستقیم کاربران

علی کریمی کلایه¹، پائیز عزمی²، نادر مکاری یامچی³ و نجمه مدنی⁴

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

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

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

⁴دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده برق و کامپیوتر، najmeh_madani@yahoo.com

چکیده - 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، کارایی انرژی را بهبود می‌بخشد. 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 به دنبال تشخیص میزان کارایی روش پیشنهادی در کاربردهای واقعی هستیم. در نهایت، میزان کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی را در بارهای مختلف شبکه بررسی کردیم که نتایج، نشان‌دهنده کارایی بالای روش پیشنهادی در کاربردهای واقعی است. کلید واژه - ارتباط مستقیم کاربران (*D2D*)، تخصیص توان، انتخاب شیوه، واگذاری کانال

1- مقدمه

- شیوه زمینه‌ای: در این روش، برقراری ارتباط در میان DT و DR با استفاده مجدد از طیف کاربران سلولی، انجام می‌شود.
- شیوه رویه‌ای: در روش رویه‌ای یک کانال خالی به جفت D2D اختصاص داده می‌شود.
- شیوه سلولی: در این شیوه جفت‌های D2D از طریق BS به انتقال اطلاعات می‌پردازند.

به منظور کاهش تداخل می‌توان، انتخاب شیوه را بر اساس مقایسه‌ی کیفیت کانال‌های 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 توأم بحث شده است.

در این مقاله روشی مطرح شده است که علاوه بر تضمین کیفیت سرویس (*Quality of Service (QoS)*)، با مصرف حداقل توان، کارایی انرژی را بهبود می‌بخشد. مشابه با [8]، کیفیت سرویس کاربران با مقدار (*Signal to Noise Interference Ratio*) SINR دریافتی آن‌ها مدل می‌شود. در این راستا یک مسئله‌ی بهینه‌سازی مطرح می‌شود 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.

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، چالش‌هایی نیز وجود دارند که پیاده‌سازی D2D را با مشکل مواجه می‌کنند. اولین چالش مدیریت تداخل است که در [1-3] مطرح شده‌اند. در [3] یک ناحیه تداخل محدود شده (*Interference Limited Area (ILA)*) برای هر D2D معرفی شده است و پیشنهاد می‌کند که D2D‌ها 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 Transmitter (DT)*)، کدام‌یک از روش‌های زیر را برای برقراری ارتباط با گیرنده نظیرش (*D2D Receiver (DR)*) استفاده کند:

در ادامه در فصل 2، به توصیف مدل سیستم پیشنهادی می-پردازیم. 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.

2- 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 لحظه‌ای اطلاعات کانال‌ها (Channel State Information (CSI)) دارد. تعداد CU‌ها و D2D‌ها را به ترتیب با M و K نشان داده و به مانند [8] حالتی را در نظر می‌گیریم که در آن تعداد کاربران ارتباط مستقیم از سلولی‌ها کمتر است. علاوه بر آن فرض می‌کنیم که تخصیص کانال کاربران سلولی، انجام شده است و تعداد N_u (N_D) کانال فراسو (فروسو) بلا استفاده باقی مانده‌اند. انتخاب تمامی شیوه‌ها، برای کاربران D2D مجاز است به شرطی که موارد زیر رعایت شود.

- شیوه زمینه‌ای (Underlay Mode): در این روش،

- جفت‌های D2D تنها مجاز به استفاده از کانال‌های فراسو هستند. فرض می‌کنیم که هر کانال حداکثر بین یک CU و یک جفت D2D، به اشتراک گذاشته می‌شود. همچنین، هر جفت، حداکثر از یک کانال سلولی استفاده مجدد می‌کند.
- شیوه رویه‌ای (Overlay Mode): در این حالت، تداخل میان سمبلی صفر است و تنها وجود نویز در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر آن، تنها یک کانال خالی به هر جفت D2D اختصاص داده می‌شود.
- شیوه سلولی (Cellular Mode): به هر D2D یک کانال فراسو و یک کانال فروسو، تخصیص داده می‌شود. بعلاوه، دیگر کاربران D2D اجازه استفاده مجدد از این کانال‌ها را ندارند. همچنین فرض می‌کنیم که SINR دریافتی BS در این حالت از SINR دریافتی DR کمتر است.

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

$$g_k^D = G\beta L_k^{-\alpha} \quad (1)$$

که در آن G ضریب ثابت تضعیف مسیر و متغیر تصادفی β بیانگر میزان محوشدگی است که توزیع آن Lognormal در نظر

گرفته می‌شود. نام گذاری فاصله جفت D2D و همچنین توان تضعیف مسیر به ترتیب توسط L و α انجام می‌شود. به شکلی مشابه، سایر بهره‌ها و ضرایب تداخل کاربران نسبت به یکدیگر، مشخص می‌شوند ($h_{k,B}^D$ ، $h_{m,k}^{CD}$ ، $g_{m,B}^C$ ، $g_{k,B}^D$).

3- طراحی مساله و حل آن

کارایی انرژی شبکه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$EE = \frac{r_t}{p_c + p_t} \quad (2)$$

که در آن r_t و P_t و P_c به ترتیب مجموع نرخ شبکه، توان کل ارسالی و توان اتلافی مدارات الکترونیکی می‌باشند. با دقت در رابطه (2) می‌توان مشاهده کرد که کاهش توان کل ارسالی، افزایش کارایی 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.

3-1- بیان مسئله

برای بیان مسئله در ابتدا ماتریس انتخاب شیوه و کانال را با $\mathbf{X} = [\mathbf{X}^{(1)}, \mathbf{X}^{(2)}, \mathbf{X}^{(3)}]$ نمایش می‌دهیم که در آن $\mathbf{X}^{(i)}$ ماتریسی $K \times M$ بعدی و بیانگر ماتریس انتخاب شیوه در حالت زمینه‌ای است در حالی که $\mathbf{X}^{(2)}$ و $\mathbf{X}^{(3)}$ ماتریس‌های K بعدی متناظر با روش‌های رویه‌ای و سلولی هستند. در صورتی که یکی از D2D‌ها در هر یک از حالت‌های مجاز باشد مولفه‌ی متناظرش در ماتریس‌های $\mathbf{X}^{(1)}$ و $\mathbf{X}^{(2)}$ و $\mathbf{X}^{(3)}$ برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر آن، ماتریس توان ارسالی به صورت $\mathbf{P} = \{\mathbf{p}^{(1)}, \mathbf{p}^{(2)}, \mathbf{p}^{(3)}, \mathbf{p}^c\}$ تعریف می‌شود، که در آن $\mathbf{p}^{(1)}$ و $\mathbf{p}^{(2)}$ و $\mathbf{p}^{(3)}$ نشان دهنده توان ارسالی کاربران D2D در حالت‌های زمینه‌ای، رویه‌ای و سلولی است. علاوه بر آن \mathbf{p}^c نشان دهنده توان ارسالی کاربر سلولی است، که در حالتی زمینه‌ای برابر $\mathbf{p}_{k,m}^{(c)}$ و در حالتی که مورد استفاده مجدد قرار نمی‌گیرد برابر $\mathbf{p}_m^{(c)}$ است. در نهایت می‌توان، روابط (3-1) تا (3-10) را برای بیان مسئله حداقل توان در نظر گرفت.

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

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 $n_u, n_d \leq N_U, N_D$ کاربر با کمترین توان ارسالی انتخاب می‌شود. (مقدار اولیه متغیرهای تخصیص کانال صفر در نظر گرفته می‌شود)
4-	اگر کاربر مورد نظر از شیوه سلولی استفاده کند: $x_k^{(3)} = 1$ و $n_u, n_d += 1$ به 3
5-	اگر $x_k^{(2)} = 1$ و $n_u += 1$ باشد $N_U - n_u > N_D - n_d$ و برو به 3
6-	اگر $x_k^{(2)} = 1$ و $n_d += 1$ باشد $N_U - n_u < N_D - n_d$ 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 $n_u, n_d \leq N_U, N_D$ کاربر با کمترین توان ارسالی انتخاب می‌شود. (مقدار اولیه متغیرهای تخصیص کانال صفر در نظر گرفته می‌شود)
4-	اگر $x_k^{(2)} = 1$ و $n_u += 1$ باشد $N_U - n_u > N_D - n_d$ و برو به 3
5-	اگر $x_k^{(2)} = 1$ و $n_d += 1$ باشد $N_U - n_u < N_D - n_d$ و برو به 3

توجه داریم که در مسئله تخصیص توان، کاربران شیوه‌های سلولی و رویه‌ای تداخلی را تجربه نمی‌کنند. بنابراین حداقل توان ارسالی در این حالت‌ها از روابط زیر حاصل می‌شوند.

$$p_k^{(2)} = \frac{\xi_{min}^D g_k^D}{\sigma_N^2} \quad (9)$$

$$p_k^{(3)} = \frac{\xi_{min}^D g_{k,B}^D}{\sigma_N^2} \quad (10)$$

$$(\mathbf{P}^*, \mathbf{X}^*) = \underset{\mathbf{P}, \mathbf{X}}{\operatorname{argmin}} \left\{ \sum_{k=1}^K x_k^{(3)} p_k^{(3)} + \sum_{k=1}^K x_k^{(2)} p_k^{(2)} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M x_{k,m}^{(1)} p_{k,m}^{(1)} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M x_{k,m}^{(1)} p_{k,m}^{(c)} + \sum_{m=1}^M (1 - \sum_{k=1}^K x_{k,m}^{(1)}) p_m^{(c)} \right\} \quad (1-3)$$

$$\text{s.t. } x_k^{(1)}, x_k^{(2)}, x_k^{(3)} \in \{0, 1\}, \forall k, m. \quad (2-3)$$

$$\sum_{k=1}^K x_k^{(3)} \leq \min\{N_U, N_D\} \quad (3-3)$$

$$2 \sum_{k=1}^K x_k^{(3)} + \sum_{k=1}^K x_k^{(2)} \leq N_U + N_D \quad (4-3)$$

$$x_k^{(3)} + x_k^{(2)} + \sum_{m=1}^M x_{k,m}^{(1)} \leq 1, \forall k \quad (5-3)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{k,m}^{(1)} \leq 1, \forall m \quad (6-3)$$

$$x_k^{(3)} p_k^{(3)} + x_k^{(2)} p_k^{(2)} + x_{k,m}^{(1)} p_{k,m}^{(1)} \leq p_{max}^D, \forall k, m. \quad (7-3)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{k,m}^{(1)} p_{k,m}^{(c)} + (1 - \sum_{k=1}^K x_{k,m}^{(1)}) p_m^{(c)} \leq p_{max}^c, \forall m \quad (8-3)$$

$$x_k^{(3)} \frac{p_k^{(3)} h_{k,B}^D}{\sigma_N^2} + x_k^{(2)} \frac{p_k^{(2)} h_k^D}{\sigma_N^2} + \sum_{m=1}^M x_{k,m}^{(1)} \frac{p_{k,m}^{(1)} h_k^D}{p_{k,m}^{(c)} h_{k,m} + \sigma_N^2} \geq \xi_{min}^D, \forall k \quad (9-3)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{k,m}^{(1)} \frac{p_{k,m}^{(c)} h_{m,B}^c}{p_{k,m}^{(1)} h_{k,m}^D + \sigma_N^2} + (1 - \sum_{k=1}^K x_{k,m}^{(1)}) \frac{p_m^c h_{m,B}^c}{\sigma_N^2} \geq \xi_{min}^c, \forall m \quad (10-3)$$

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

2-3- 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.

$$p_m^{(c)} = \frac{\xi_{\min}^c g_{m,B}^c}{\sigma_N^2} \quad (11)$$

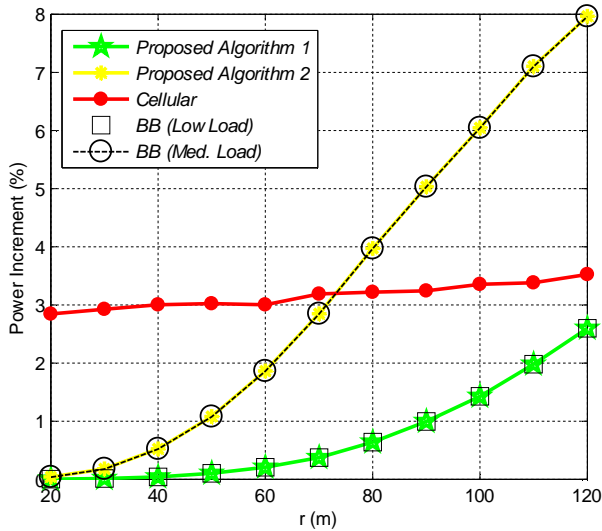
بهترین تخصیص توان در حالت زمینه ایی به [10] ارجاع داده می شود.

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 زمینه‌ای نیست و انتخاب شیوه میان حالت‌های رویه‌ای و سلولی صورت می‌گیرد. در حالت سلولی مقدار طیف استفاده شده، دو برابر حالت زمینه‌ای است. بنابراین این شیوه در صورتی استفاده می‌شود که توان ارسالی آن نصف توان ارسالی در حالت زمینه‌ای 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 حالت‌های رویه‌ای و زمینه‌ای که از یک کانال استفاده می‌کنند، کنار گذاشته می‌شود. در این قسمت ابتدا بهترین $K - N_U - N_D$ جفت D2D موجود را برای حالت زمینه‌ای و بقیه را برای حالت رویه‌ای انتخاب می‌کنیم. حالت زمینه‌ای 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 با $O(M^3)$ و $O(K \log K)$ است.

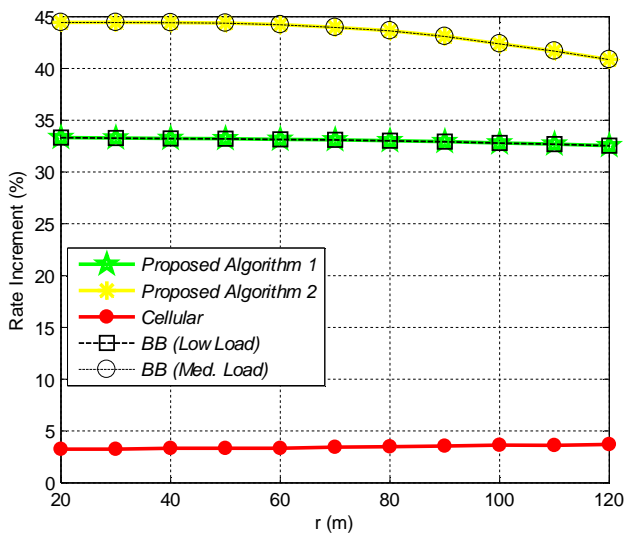
در حالت بار زیاد، تعداد کانال‌های خالی صفر است و تنها حالت زمینه‌ای ارتباط D2D قابل استفاده است.

4- شبیه سازی

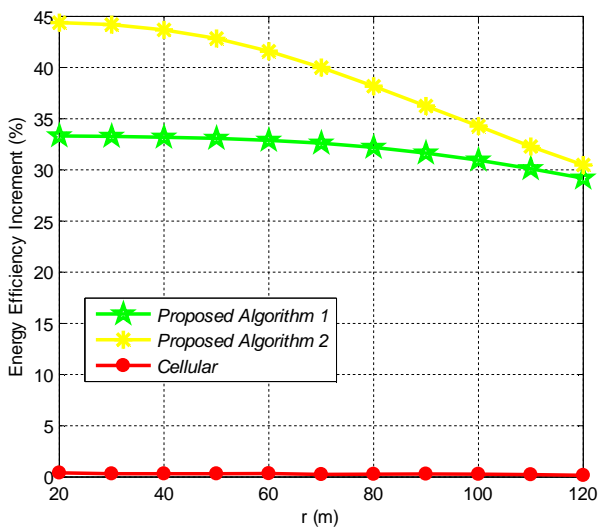
در بحث شبیه‌سازی مشابه مرجع [9] عمل می‌کنیم. در واقع، یک سلول دایره ای به شعاع 1 km را در نظر می‌گیریم که در آن کاربران سلولی به صورت یکنواخت توزیع شده اند. اما جفت‌های D2D در خوشه‌هایی (cluster) به شعاع r که به صورت یکنواخت توزیع می‌شوند، قرار دارند. در این شبیه سازی تعداد کاربران سلولی، جفت‌های D2D و کانال‌های خالی برابر با 8، 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 1 km.



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



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

هریک و توان اتلاف مدارات الکترونیکی به ترتیب برابر با 20 dBm و 10 dB و 40 dBm می‌باشند.

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 کارایی 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.

5- نتیجه گیری

در این مقاله، روشی مطرح کردیم که با استفاده از ارتباط D2D، بتواند با حداقل نمودن مجموع توان ارسالی، کارایی انرژی را افزایش دهد. روش پیشنهادی را به صورت یک مسئله بهینه‌سازی با هدف کاهش توان ارسالی مدل کردیم. به منظور حل مسئله، آن را به دو زیر مسئله انتخاب شیوه و واگذاری کانال و دیگری مسئله تخصیص توان تجزیه کردیم. به منظور 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 کارایی 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.

برای بررسی میزان کارایی دو الگوریتم پیشنهادی، فاکتورهای افزایش مجموع توان ارسالی و نرخ ارسالی و افزایش کارایی انرژی شبکه را در نظر 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 کارایی 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، می‌توان 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 کارایی 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 کارایی 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. 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

- [8] D. Feng, L. Lu, Y. -W. Yi, G. Li, G. Feng, and S. Li, "Device-to-Device communications underlying 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.