حسگری و ارسال همزمان اطلاعات در شبکه‌های رادیوشناختگر دستگاه به دستگاه

جواد زراعتکارمقدم[1]، محمد صادقیان کردآبادی[2]

[1] استادیار، دانشگاه بیرجند، بیرجند، javad.zeraatkar.m@birjand.ac.ir
[2]دکتری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، mohammad.sadeghian@birjand.ac.ir

چکیده

یکی از نیازهای اساسی در سیستم‌های رادیو شناختگر پایش طیف فرکانسی با هدف تشخیص دادن حضور یا عدم حضور PU ها می‌باشد که حسگری طیفی نامیده می‌شود. در این مقاله، یک سیستم رادیو شناختگر مبتنی بر حسگری و ارسال همزمان اطلاعات در شبکه های دستگاه به دستگاه معرفی می‌شود. روش پیشنهادی به دلیل انجام عملیات حسگری به صورت دائمی، موجب افزایش قابلیت اطمینان در عملکرد آشکارسازی می‌شود. همچنین از روش آشکارساز انرژی به دلیل سادگی و پرکاربرد بودن، استفاده می‌شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد طرح پیشنهادی حسگری و ارسال همزمان اطلاعات سبب کاهش اثر خودتداخلی بدون کاهش توان انتقال می‌شود. همچنین در حالت غلبه‌ی کامل بر خودتداخلی، گذردهی شبکه با افزایش SNR افزایش می‌یابد. علاوه بر این، نشان دادیم که وقتی ضریب خودتداخلی مخالف صفر است، گذردهی ثانویه ابتدا افزایش یافته و به مقدار بیشینه خود می‌رسد و سپس سیر کاهشی خواهد داشت. این نتیجه به وضوح، وجود مصالحه بین توان ارسالی و گذردهی ثانویه را با وجود خودتداخلی نشان می‌دهد. با افزایش مقدار ضریب خودتداخلی، گذردهی ثانویه به دلیل افزایش خودتداخلی کاهش می‌یابد و درنتیجه نقطه مصالحه بهینه به مقادیر SNR پایین‌تر می‌رود.

واژه های کلیدی

آشکارساز انرژی، ارتباط دستگاه به دستگاه، حسگری طیف.

مقدمه

با توسعه‌مخابرات و خدمات بی‌سیم و تحول ارتباط صوتی به کاربردهای چند رسانه‌ای، منابع طیفی با حجم عظیمی از درخواست‌ها که نیازمند نرخ داده بالاتر بودند مواجه شدند. امروزه تخصیص طیف بدین صورت است که هر نوع خدمت جدیدی که ارائه می شود دارای طیف فرکانسی ثابت مخصوص به خود است. امروزه بسیاری از باندهای فرکانسی اولیه به سرویس‌های معینی اختصاص داده شده است، بنابراین پیدا کردن طیف خالی اختصاص داده نشده یا توسعه خدمات موجود، کاری بس مشکل است.

طیف فرکانسی یکی از منابع طبیعی کمیابی است که مجوز استفاده‌ی فرستنده‌ها و گیرنده‌ها از آن معمولاً توسط دولت‌ها داده می شود. اغلب باندهای طیف فرکانسی به منظور اجتناب از تداخل با شبکه‌های مختلف، متعلق به سرویس‌های خاصی هستند. مطالعات بر روی اشغال طیف نشان می‌دهد که تنها بخشی از این باندهای فرکانسی به طور موثر استفاده می شوند. در سال‌های گذشته بیشتر شدن استفاده از ارتباط‌های بی سیم و ظهور خدمات و استانداردهای مخابراتی جدید و از سوی دیگر محدود بودن منابع طیفی موجب رشد بسیار زیاد قیمت منابع طیفی شده است. سیاست اصلی فناوری‌های ارتباط بی‌سیم فعلی دسترسی طیفی ایستان (SSA) نامیده می‌شود. بر اساس این سیاست، کانال‌های فرکانسی ثابت به کاربران مجاز یا کاربران اولیه (PU) برای استفاده منحصر به فرد اختصاص داده می شود در حالی که کاربران بدون مجوز یا کاربران ثانویه (SU) حتی در زمان خالی بودن این کانال‌ها از دسترسی به آن‌ها محروم هستند. سیاست فعلی دولت‌ها، اجازه دسترسی کاربران ثانویه را به طیف کاربران اولیه نمی‌دهد، و این امر موجب می شود که بعضی از باندهای فرکانسی در برخی اوقات خالی و بدون استفاده باشند و بسیاری از باندهای فرکانسی بصورت مقطعی استفاده شوند و باندهای دیگر به مقدار بسیار زیاد اشغال باشند. در واقع، در سیاست SSA قسمت بزرگی از طیف مفید فرکانسی برای مدت زمان طولانی (چندین سال) به کاربران اولیه اجاره داده می‌شود، که این کاربران در تمام موقعیت‌های زمانی و جغرافیایی از این طیف تخصیص داده شده استفاده نمی‌کنند و این امر موجب هدر رفت منابع می‌شود. واضح است امروزه این روش تخصیص فرکانس نمی‌تواند جوابگوی تقاضاهای فزاینده‌ی نرخ داده‌های بالاترباشد و این امر ناکارآمدی سیاست‌های فعلی تخصیص طیف فرکانسی را نشان می‌دهد. باتوجه به گزارش‌ها، مشاهده شده است که استفاده از طیف فرکانسی توسط PU ها در بعضی زمان‌ها و مکان‌های جغرافیایی بسیار کم بوده است. در نتیجه، بکارگیری روش‌های نوین که می‌تواند راه‌های جدیدی برای بهره‌برداری از طیف موجود ارائه دهد، مورد نیاز است [۱-۳].

برای حل مشکل عدم استفاده از طیف فرکانسی و رفع مشکل تراکم طیفی و استفاده غیر بهینه از طیف فرکانسی، فناوری رادیوشناختگر (CR) برای نسل‌های آینده‌ی شبکه‌های بی‌سیم پیشنهاد شده است. رادیوشناختگر یک فناوری رادیویی برای آینده مخابرات سیار است که توانایی آگاهی از محیط را دارا است و می‌تواند رفتار خود (پارامترهای انتقال) را با توجه به محیط تغییر دهد. فناوری CR یک سیستم ارتباطی بی سیم است که موجب می شود SU ها بتوانند در زمان و مکان‌های مختلف به‌طور فرصت طلبانه از طیف فرکانسی اختصاص داده شده به PU ها استفاده کرده و یا در باندهای فرکانسی یکسان در کنار PU ها با کم‌ترین تداخل ممکن هم‌زیستی مصالحت آمیز داشته باشند. CR ها طیف را به صورت پویا مشاهده می‌کنند و تنها در صورتی از آن استفاده می‌کنند که برای یک PU که دارای مجوز استفاده از طیف می‌باشد تداخل ایجاد نکنند [۳].

حسگری طیف عملکرد کلیدی یک سیستم رادیوشناختگر به شمار می‌رود که می‌تواند در سایر برنامه‌ها مانند خدمات مدیریت شبکه و یا تشخیص تداخل نیز مورد استفاده قرار گیرد. یکی از نیازهای اساسی در سیستم‌های رادیوشناختگر پایش طیف فرکانسی با هدف تشخیص دادن حضور یا عدم حضور PU ها می‌باشد، به این فرآیند حسگری طیفی گفته می شود. وظیفه مهم حسگری طیف این است که دسترسی فرصت طلبانه به طیف (OSA) را فراهم کند. در سیستم‌های رادیو شناختگر از اطلاعاتی که با فرایند حسگری بدست می‌آید به‌منظور حفاظت از PU در برابر تداخل ناشی از SU و یا اجازه دادن به SU برای دستیابی به طیف در هنگام خالی بودن آن استفاده می شود. به‌منظور اجتناب از ایجاد تداخل مضر در هنگام آشکارسازی طیف باید تدابیر ویژه‌ای اندیشید، این امر موجب می‌شود حسگری دقیق طیف امری حیاتی در سیستم‌های رادیوشناختگر محسوب شود. حسگری طیفی می‌تواند به صورت محلی توسط یک SU و یا به صورت جمعی توسط یک گروه از SU ها انجام شود. SU ها باید قادر باشند سیگنال PU ها را در نسبت سیگنال به نویزهای خیلی پایین آشکار کنند و بدین ترتیب باندهای فرکانسی خالی که به عنوان فضاهای سفید یا حفره‌های طیفی شناخته می‌شوند را به درستی پیدا کنند [۴، ۵].

تکنیک‌های متداول حسگری طیفی بر اساس نحوه‌ی تعیین حضور یا عدم حضور سیگنال PU توسط SU به صورت زیر تقسیم می‌شوند:

- آشکارساز انرژی
- آشکارساز فیلتر منطبق
- آشکارساز ویژگی‌های ایستان گردشی
- آشکارسازهای مبتنی بر مقادیر ویژه

به دلیل سادگی و پرکاربرد بودن آشکارساز انرژی، در این مقاله از این روش استفاده می‌شود.

روش آشکارسازی انرژی که پریودوگرام نیز خوانده می‌شود به دلیل پیچیدگی کم محاسباتی و همچنین پیاده سازی آسان، رایج‌ترین روش برای شناسایی سیگنال کاربران اولیه در حسگری طیف است. این روش، در مقایسه با روش‌های دیگر که در ادامه در این بخش به آنها اشاره خواهد شد دارای اقبال عمومی بیشتری است، زیرا در آن گیرنده‌ها هیچ گونه اطلاعاتی در مورد سیگنال‌های اولیه کاربران ندارند. این آشکارساز در زمانی که کاربر ثانویه نمی‌تواند اطلاعات کافی در مورد سیگنال کاربر اولیه جمع‌آوری کند روشی بهینه برای حسگری طیف خواهد بود. در روش آشکارسازی انرژی، ابتدا به منظور محدود کردن نویز و انتخاب پهنای باند مورد نظر، سیگنال ورودی از یک فیلتر میان‌گذر (BP) عبور داده می‌شود. نویزی که در خروجی فیلتر قرار دارد باند محدود و با چگالی طیف توان مسطح است؛ سیگنال خروجی فیلتر میان‌گذر به توان دو می‌رسد و در محدوده مشاهده از آن انتگرال یا مجموع گرفته می‌شود. برای تشخیص حضور یا عدم حضور کاربر اولیه خروجی انتگرال‌گیر یا جمع‌کننده توسط یک مقایسه‌کننده با یک سطح آستانه‌ی از پیش تعیین شده مقایسه می شود، بسته به شرایط کانال و کف نویز، مقدار سطح آستانه می‌تواند به صورت ثابت یا متغیر تنظیم شود [۶-۹].

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 بررسی و براساس 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 [۱۰-۱۲].

حسگری طیف

از مزیت‌های اصلی آشکارساز انرژی می‌توان به پیچیدگی کم محاسبات و سادگی پیاده‌سازی آن اشاره کرد که آن را به یک آشکارساز محبوب تبدیل کرده است. از سوی دیگر، در آشکارساز انرژی برای تعیین

آستانه تصمیم‌گیری باید مقدار دقیق واریانس نویز معلوم باشد. در کاربردهای عملی ما تنها به تخمین واریانس نویز دسترسی داریم که همواره با مقداری از عدم قطعیت همراه است. وجود این عدم قطعیت در تخمین واریانس نویز باعث می شود که عملکرد آشکار ساز انرژی به شدت کاهش یابد به طوری که اگر میزان عدم قطعیت از حد خاصی فراتر رود به ازای همه مقادیر نسبت سیگنال به نویز (SNR) احتمال هشدار کاذب بیشتر از احتمال آشکارسازی خواهد بود.

آماره‌ی تصمیم گیری در این آشکارساز به صورت زیر است:

$$T(y) = \|y\|^2 = \sum_{n=0}^{N} |y(n)|^2 \quad \begin{matrix} < \varepsilon \rightarrow H_0 \\ > \varepsilon \rightarrow H_1 \end{matrix} \qquad (۱)$$

فرض کنید سیگنال دریافت شده به صورت زیر باشد:

$$y(n) = h(n) \times s(n) + w(n) \qquad (۲)$$

که N اندازه‌ی بردار مشاهده است که توسط آشکار ساز مورد استفاده قرار می‌گیرد (تعداد نمونه ها). تصمیم گیری در مورد اشغال بودن یک باند فرکانسی می تواند با مقایسه‌ی آماره‌ی آزمون $T(y)$ با یک آستانه‌ی ε حاصل شود. که معادل انتخاب بین دو فرضیه H_0 و H_1 است. برای بررسی عملکرد آشکارساز انرژی نیازمند محاسبه دو احتمال هستیم؛ احتمال آشکارسازی P_D و احتمال هشدار کاذب P_{FA}. احتمال آشکارسازی یعنی تشخیص یک سیگنال در باند فرکانسی در نظر گرفته شده در زمانی که واقعاً آن سیگنال در آن باند حضور دارد. بنابراین، احتمال آشکارسازی را می‌توان به صورت زیر فرمول نویسی کرد.

$$P_D = P_r(T > \varepsilon | H_1) \qquad (۳)$$

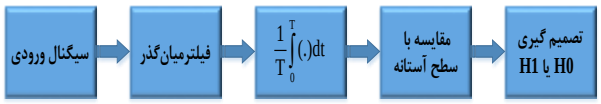
احتمال هشدار کاذب وقتی اتفاق می‌افتد که آشکارساز به اشتباه تشخیص دهد باند فرکانسی اشغال است اما در واقعیت باند خالی باشد. احتمال هشدار کاذب باید تا حد امکان کوچک نگه داشته شود تا کاربر ثانویه از حداکثر فرصت‌های استفاده از طیف بهره ببرد، این احتمال را می توان بصورت زیر فرمول نویسی کرد:

$$P_{FA} = P_r(T > \varepsilon | H_0) \qquad (۴)$$

مقدار سطح آستانه به منظور ایجاد تعادل مطلوب بین P_D و P_{FA} باید به دقت انتخاب شود. اما، این امر نیازمند داشتن دانش کافی از نویز(معمولاً AWGN) و توان سیگنال‌های موجود است. توان نویز را می‌توان تخمین زد اما تخمین زدن توان سیگنال به دلیل ویژگی‌های انتقال و فاصله‌ی بین رادیو شناختگر و کاربر اولیه بسیار مشکل است. در عمل، سطح آستانه را برای رسیدن به یک احتمال هشدار کاذب هدف، با توجه به توان نویز (واریانس) که معمولا AWGN است، تعیین می‌کنند. مقدار آستانه را می توان از طریق رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\varepsilon = N\sigma_w^2 + Q^{-1}(P_{FA}) \times \sqrt{2N\sigma_w^4} \qquad (۵)$$

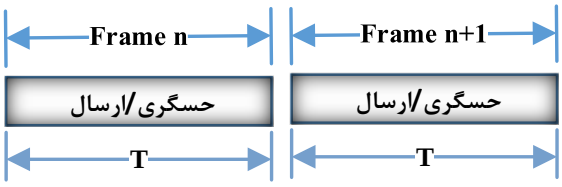
Q^{-1} معکوس تابع Q است، P_{FA} احتمال هشدار کاذب هدف، N تعداد نمونه‌های دریافت شده سیگنال کاربر اولیه است که توسط آشکارساز استفاده شده است، σ_w^2 واریانس نویز اضافه شده به سیگنال کاربر اولیه است. بلوک دیاگرام این روش در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: آشکارساز انرژی

حسگری و ارسال همزمان

رادیوشناختگرها به پایش پیوسته و نه مقطعی قابلیت دسترسی به طیف خالی نیاز دارند. کارهای اولیه در زمینه‌ی حسگری عمدتاً بر روی روش‌های تخصیص شیار زمانی متمرکز بود که در آنها حسگری و ارتباط در یک فرکانس مشخص و در بازه‌های زمانی مختلف انجام می شد. این امر موجب محدود شدن گذردهی رادیوشناختگر به دلیل عدم برقراری ارتباط تا زمان پایان عملیات حسگری می‌شود و از سوی دیگر به دلیل انجام عملیات حسگری در دوره‌های خاص و نه همیشه، موجب کاهش اطمینان عملکرد آشکارسازی می‌شود. برای رفع این مشکل رادیو شناختگرهایی با قابلیت حسگری و ارسال بطور همزمان پیشنهاد می شود. ساختار فریم حسگری طیف ارسال و داده به‌طور همزمان در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: حسگری و ارسال به طور همزمان

عیب اصلی طرح حسگری و ارسال همزمان اطلاعات این است که CR باید به منظور کاهش اثر خودتداخلی توان انتقال خود را کنترل کند. اگر توان انتقال از یک حد معینی بیشتر باشد، عملکرد حسگری را تحت تاثیر قرار خواهد داد. اگر η ضریب کاهش خودتداخلی در سیستم رادیو شناختگر دوطرفه معرفی کنیم، به ازای یک η ثابت با افزایش توان ارسالی عملکرد حسگری کاهش می‌یابد که ناشی از اثر خود تداخلی می باشد، و $\eta = 0$ به معنی غلبه بر خودتداخلی است.

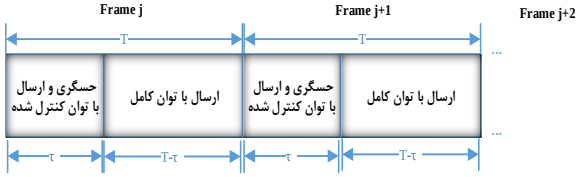
افزایش خود تداخلی باعث افزایش احتمال هشدار کاذب و از دست دادن فرصت‌های طیفی می‌شود. از سوی دیگر، اگر قدرت

ارسالی کم باشد، خودتداخلی ناچیز می‌شود و نتایج حسگری قابل اعتمادتر می‌شود. در این حالت، گذردهی ثانویه محدود است. بنابراین، یک توان انتقال مطلوب وجود دارد که منجر به حداکثر گذردهی می شود، پس باید به یک مصالحه‌ی توان-گذردهی بر سیم. در این روش یک رویکرد دو مرحله‌ای حسگری و ارسال همزمان پیشنهاد می شود که در آن رادیوشناختگر حسگری و ارسال همزمان را با استفاده از مکانیزم کنترل توان در قسمتی از طول فریم انجام می دهد، برای قسمت باقیمانده از طول فریم، رادیوشناختگر تنها با توان کامل ارسال را انجام می‌دهد. چارچوب پیشنهاد شده امکان انعطاف پذیری برای بهینه‌سازی زمان حسگری و توان انتقال را برای به حداکثر رساندن گذردهی قابل دستیابی سیستم رادیوشناختگر دوطرفه فراهم می‌کند. ساختار فریم این روش در شکل (۳) مشاهده می‌شود.

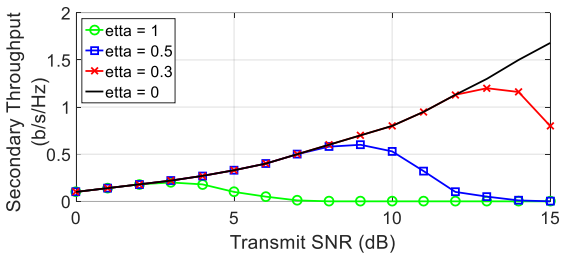
نتایج شبیه سازی

در این بخش، نتایج حاصل از شبیه سازی روش مورد نظر نشان داده شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که ارسال با روش معرفی شده، عملکرد بهتری را به لحاظ میزان گذردهی قابل دستیابی نسبت به حسگری و ارسال دوره ای معمولی و سایر روش‌های حسگری و ارسال همزمان اطلاعات ارائه می‌دهد.

شکل (۴) گذردهی کاربر ثانویه را بر حسب SNR های مختلف برای مقادیر مختلف η نمایش می‌دهد. با توجه به این شکل، مشاهده می شود وقتی $\eta = 0$ باشد (غلبه‌ی کامل بر خودتداخلی)، گذردهی با افزایش SNR افزایش می یابد. اگر چه در عمل، غلبه‌ی کامل بر خودتداخلی امکان پذیر نیست و باید مقداری از خودتداخلی باقیمانده در بررسی‌ها لحاظ شود. با توجه به شکل می‌توان دریافت که برای $\eta \neq 0$ گذردهی ثانویه ابتدا افزایش یافته، به مقدار بیشینه‌ی خود رسیده و سپس سیر کاهشی خواهد داشت. این نتیجه به وضوح، وجود مصالحه‌ی بین توان ارسالی و گذردهی ثانویه را با وجود خودتداخلی نشان می‌دهد. با افزایش مقدار η، گذردهی ثانویه به دلیل افزایش خودتداخلی کاهش می یابد و درنتیجه نقطه‌ی مصالحه‌ی بهینه به مقادیر SNR پایین‌تر می‌رود.



شکل ۳: ساختار فریم روش معرفی شده



شکل ۴: گذردهی کاربران ثانویه

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مقاله به بررسی روش حسگری و ارسال همزمان اطلاعات در یک شبکه رادیوشناختگر دستگاه به دستگاه پرداختیم. در روش پیشنهادی که عملیات حسگری به صورت دائمی صورت می‌گیرد، قابلیت اطمینان شبکه در خصوص عملکرد آشکارسازی افزایش می‌یابد. همچنین از روش آشکارساز انرژی به دلیل سادگی و پرکاربرد بودن، استفاده می‌شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد طرح پیشنهادی حسگری و ارسال همزمان اطلاعات سبب کاهش اثر خودتداخلی بدون کاهش توان انتقال می‌شود. همچنین در حالت غلبه‌ی کامل بر خودتداخلی، گذردهی شبکه با افزایش SNR افزایش می‌یابد.

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., "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.

[4] A. Ali and W. Hamouda, "Advances on spectrum sensing for cognitive radio networks: Theory and applications," IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 19, no. 2, pp. 1277–1304, 2017.

[5] A. E. Omer, "Review of spectrum sensing techniques in Cognitive Radio networks," in Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering (ICCNEEE), 2015 International Conference on, 2015, pp. 439–446.

[6] J. Heo, H. Ju, S. Park, E. Kim, and D. Hong, “Simultaneous Sensing and Transmission in Cognitive Radio,” IEEE Trans. Wirel. Commun., vol. 13, no. 4, pp. 1948–1959, 2014.
[7] Y. Liao, T. Wang, L. Song, and Z. Han, “Listen-and-talk: Protocol design and analysis for full-duplex cognitive radio networks,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 66, no. 1, pp. 656–667, 2017.
[8] S. K. Sharma, T. E. Bogale, L. B. Le, S. Chatzinotas, X. Wang, and B. Ottersten, “Two-phase concurrent sensing and transmission scheme for full duplex cognitive radio,” in Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), 2016 IEEE 84th, 2016, pp. 1–5.
[9] C. Politis, S. Maleki, C. G. Tsinos, K. P. Liolis, S. Chatzinotas, and B. Ottersten, “Simultaneous sensing and transmission for cognitive radios with imperfect signal cancellation,” IEEE Trans. Wirel. Commun., vol. 16, no. 9, pp. 5599–5615, 2017.
[10] 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.
[11] 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.
[12] 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.