



## مسیریابی محوری طول عمر و تخصیص قدرت

### در شبکه‌های تک‌کاره رادیو شناختی محدود شده BER

رضا اشرفی<sup>۱\*</sup>، خاطره روئین تن<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد نطنز، دانشگاه آزاد اسلامی، نطنز، ایران Ashrafi@natanziau.ir

<sup>۲</sup> گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نطنز، نطنز، ایران lidarn71@gmail.com

چکیده - شبکه‌های تک‌کاره/موقت رادیو شناختی (CRAHNS) دارای چالش‌های زیادی هم از نظر تکنولوژی رادیو شناختی و هم از نظر شبکه‌های بی‌سیم تک‌کاره است. در این مقاله، به بررسی مشکلات شبکه برای به حداکثر رساندن طول عمر کاربران ثانویه و به حداقل رساندن مداخله کاربران اولیه (PU) در شبکه‌های تک‌کاره رادیو شناختی ثابت محدود شده BER می‌پردازیم. برای حل این مشکل یک روش لایه مقطعی در نظر گرفته شد. اول، حداقل دخالت کل (MTI) و حداکثر طول عمر شبکه (MNL) به طور جداگانه به عنوان مشکلات تخصیص قدرت و مسیریابی توأم مورد بررسی قرار گرفتند. سپس، بیان فرم بسته برای یک روش تخصیص قدرت هیبریدی MTI-MNL است که بصورت ترکیبی جدید مسیریابی متریک پیشنهاد شده است. همچنین مسائل اجرایی کنونی مربوط به مسیریابی هیبریدی و تخصیص قدرت را در طرح پیشنهادی ارائه نمودیم. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش ترکیبی پیشنهادی این مقاله می‌تواند طول عمر شبکه را افزایش دهد و تداخل موارد همزمان PU را به شکلی قابل توجه کنترل نماید.

کلیدواژه - شبکه‌های تک‌کاره رادیو شناختی؛ حداکثر طول عمر؛ حداقل تداخل، مسیریابی توأم و تخصیص قدرت.

زیرساخت‌های مبتنی بر شبکه و زیرساخت‌های کمتر شبکه‌ای. نوع دوم نیز به عنوان رادیو شناختی تک‌کاره در شبکه (CRAHNS) شناخته شده است. در حالی که CRAHNS به کاربران وعده امکان برقراری ارتباط قابل اعتماد بدون هیچ استحکام سیمی ثابت، مدیریت شبکه متمرکز و دسترس بودن بهتر کانال در باند طیف‌های بدون مجوز را می‌دهد، همچنین این شبکه می‌تواند مشکلاتی هم از نظر شبکه‌های تک‌کاره بی‌سیم و هم از نظر فن‌آوری CR مانند توپولوژی شبکه دینامیکی ظرفیت لینک متغیر، محدودیت منابع انرژی، تغییر فضای و زمانی برای دسترس بودن طیف به تعداد کم را هم داشته باشد. بسیاری از کاربردها پیش از آن در CRNs بر روی دو مسئله کلیدی از طیف سنجش قابل اعتماد (و منابع آن) و انتقال داده ثانویه کارآمد در یک یا چند رله کمکی CRNs دو-هاپ (و منابع آن) متمرکز می‌شد. با این حال، مسیریابی در CRAHNS نیز به عنوان یک مشکل مهم در نظر گرفته می‌شد و راه‌حل‌های

#### ۱- مقدمه

در سراسر جهان، کمبود گسترده طیف‌های بی‌سیم، می‌تواند تا حد زیادی به دلیل افزایش سریع تعداد مشترکان بی‌سیم و برخی از برنامه‌های فشرده پهنای باند اجرا شده توسط این مشترکان باشد. تکنولوژی رادیویی شناختی، با ویژگی‌های منحصر به فرد آن با انعطاف پذیری انطباق پارامترهای ارتباطی بی‌سیم آن، به عنوان تکنولوژی حل این مشکل، ارائه شده است. در سیستم‌های رادیویی شناختی، کاربران ثانویه (SUS)، نیز به عنوان کاربران شناختی (CUs)، نامیده می‌شوند و مجاز به برقراری ارتباط بر روی باندهای فرکانس به همان صورت کاربران اولیه (PUs) هستند که در اصل به کاربران دارای مجوز اختصاص داده شده، بدون اینکه افتی در بهره‌وری فرکانس‌های PUs ایجاد نمایند. شبکه‌های رادیویی شناختی (CRNs) دو نوع هستند:



اغلب با باتری کار می‌کنند. هر گره باید قدرت انتقال آن را به شیوه‌ای اندک به منظور به حداکثر رساندن طول عمر خود (همچنین به عنوان طول عمر گره شناخته شده و به عنوان یک نسبت باقیمانده آن ذخیره انرژی و قدرت انتقال اندازه‌گیری می‌شود) طی یک جلسه ارتباط داشته باشد. طول عمر یک مسیر با حداقل مقدار طول عمر گره در طول مسیر تعیین می‌شود.

در این متون طراحی طرح مسیریابی برای حداکثر رساندن طول عمر مدنظر قرار داده شده است. در منبع [۱۱]، نویسندگان مدل حداکثر مسیریابی طول عمر را به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی جریان در نظر گرفتند و یک فرمول برنامه‌ریزی خطی تحت جریان مورد حفاظت محدود در هر گره را ارائه کردند. برای به حداکثر رساندن طول عمر شبکه، هم انرژی اولیه و هم مقدار انرژی باقی مانده برای طراحی لینک متریک در این منبع [۱۱] مورد توجه قرار گرفت. سپس این لینک طراحی‌ها با یک الگوریتم استاندارد طراحی با کوتاه‌ترین ترکیب برای پیدا کردن مسیر طول عمر شبکه بسیار نزدیک به آن به عنوان یک راه حل مطلوب مطرح گردید.

با توجه به مسائل مربوط به تخصیص انتقال قدرت، مداخله PUD، طول عمر شبکه و BER در CRAHNS، ممکن است اینطور ذکر شود که افزایش در انتقال قدرت در هر گره انتقال BER انتها به انتها را کاهش می‌دهد، اما در همان زمان با افزایش دخالت PUD و طول عمر مسیر را کاهش می‌دهد. به اعتقاد ما، موضوع تخصیص قدرت مشترک و مسیریابی در BER انتها به انتها در شبکه‌های تک‌کاره رادیو شناختی هنوز در متون مربوطه آنچنان کامل و جامع در نظر گرفته نشده است. بنابراین، در این مقاله، ما این موضوع را با هدف به حداقل رساندن قدرت کل تداخل (MTI) ناشی از SUS به نزدیکترین گیرنده PU و به حداکثر رساندن طول عمر شبکه سو (MNL) به طور مشترک تحت بررسی قرار دادیم.

ادامه مقاله به شرح زیر تدوین شده است. در بخش سوم، به معرفی مدل سیستم تحت بررسی می‌پردازیم. در بخش چهارم، یک استراتژی مسیریابی هیبرید MNL-MTI و قدرت تخصیص را برای کنترل تداخل مشترک و افزایش طول عمر شبکه ارائه می‌دهیم. نتایج شبیه‌سازی در بخش پنجم ارائه شده و در نهایت بخش ششم نتیجه‌گیری خواهیم نمود.

مسیریابی موجود برای شبکه‌های تک‌کاره بی‌سیم (WANETs) با یک چالش کوتاه در مسیریابی منحصر به فرد در چنین شبکه‌هایی مواجه بود که این شامل ماهیت دینامیکی در دسترس بودن آن به دلیل حضور تصادفی PUs بر روی باندهای دارای مجوز، محدودیت دخالت دقیق و غیره می‌باشد.

در این مقاله، مشکل مسیریابی در CRAHNS از نظر محدودیت انرژی گره‌ها/ابتدا و انتهای مسیر در چنین شبکه‌های بررسی می‌شود. علاوه بر این، با توجه به مدل ارتباطی چند کاره / چندجهتی سنتی در یک حداقل BER نیاز به این دارد که هر لینک بی‌سیم در طول مسیر چند کاره از منبع به مقصد حفظ شود. به این موضوع به عنوان BER انتها به انتها در بحث‌های بعدی اشاره خواهد شد.

## ۲- کاربردهای مربوط

در این تحقیق، اینطور فرض می‌شود که هم منبع مقصد PU و هم SUs طیف مشترکی را به طور همزمان به اشتراک می‌گذارند با این محدودیت که مجموع دخالت در PU مقصد (PUD) با توجه به انتقال SUS نباید در کار PU اختلال ایجاد کند، یعنی، در کوتاه مدت، SUs در مد لایه زیرین عمل نماید [۷]. از این رو به حداقل رساندن تداخل به PUD یک مسئله کلیدی طراحی برای یک پروتکل مسیریابی کارآمد در CRAHNS است و این موضوع تداخل باتوجه به مسیریابی در CRNs چند کاره از منبع [۸] تا [۱۰] مورد مطالعه قرار گرفت. در منبع [۸]، نویسندگان پیشنهاد یک مسیریابی توزیعی و الگوریتم زمان بندی برای به حداقل رساندن تداخل تجمعی به PU با دخالت مجدد به روز رسانی طراحی با لینک‌های فردی با دخالت به PU از متناظر SU و جریان شرایط را ارائه نمودند. در [۹]، نویسندگان یک رویکرد تئوری برای طراحی یک طرح توزیع مسیریابی و دینامیک برای به حداقل رساندن هم دخالت کلی SUs به PUs و میانگین تاخیر بسته در طول مسیر مسیریابی از منبع SU به مقصد خود را تایید کردند. در منبع [۱۰]، نویسندگان یک مکانیسم کنترل قدرت برای به حداقل رساندن تداخل در PUD در لایه زیرین CRNs را ارائه دادند.

از سوی دیگر، حفاظت از انرژی یک مسئله حائز اهمیت فوق العاده برای مسیریابی کارآمد در WANETs است و آنها



۲- مدل سیستم

گره SU بصورت ریلی توزیع شده و از نظر آماری مستقل از یکدیگر می باشد. فرض می شود نویز افزودنی در هر گره دارای میانگین- صفر بصورت متغیر تصادفی گاوسی مدور متقارن پیچیده با واریانس  $N_0$  است. میانگین لینک BER برای  $\gamma_{av}^{BER}$  قدرت Pr دریافتی با مدولاسیون PSK-M بالا محدود می شود به [۱۳]:

$$\gamma_{av}^{BER} \leq \frac{AN_0}{bP_r \log_2 M} = \frac{A}{b\gamma \log_2 M} \quad (2)$$

که:

$$b = \sin^2\left(\frac{\pi}{M}\right), \quad A = \frac{(M-1)}{2M} + \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{M}\right)}{4\pi} \quad (3)$$

همان  $\gamma = P_r/N_0$  SNR دریافت شده می باشد. فرم

[14]، قدرت انتقالی  $P_t$  می تواند در شرایط قدرت دریافتی Pr بدین صورت بیان شود:

$$P_t = M_1 G_1 P_r d^\alpha \quad (4)$$

که d فاصله انتقال،  $M_1$  حاشیه لینک،  $G_1$  فاکتور بدست آمد در  $d=1m$  و  $\alpha > 2$  توان از دست رفته مسیر است. با حذف عبارت مربوط به Pr از معادله ۴ در معادله ۲، میانگین لینک  $\gamma_{av}^{BER}$  را بدین صورت بدست می آوریم:

$$\gamma_{av}^{BER} = \theta \frac{d^\alpha}{P_t}, \quad \text{Where, } \theta = \frac{AN_0 M_1 G_1}{b \log_2 M} \quad (5)$$

در مدل سیستم حال کنونی، تنها دخالت به PUD به دلیل گره های SU در نظر گرفته شده و دخالت PUS به گره های SU نادیده گرفته شده است.  $g_i^{sp}$  را برای کانال بدست آمده از گره  $V_1$  به PUD می گذاریم. با فرض اینکه اطلاعات لازم برای برآورد کانال (از  $V_1$  به PUD) با گره  $V_1$  در دسترس است، مداخله از  $V_1$  به PUD می تواند به صورت  $P_{ti} |g_i^{sp}|^2$  بیان شود. فرض کنیم که این تداخل در PUD توسط SUS فردی مستقل از یکدیگر هستند. دخالت کل به PUD، برای یک مسیر  $\Phi$ ، بین زوج گره  $(V_1, V_n)$  است، که بدین صورت بیان می شود:

$$I_{PU}(\Phi) = \sum_{i=1}^{n-1} P_{ti} |g_i^{sp}|^2 \quad (6)$$

که  $I_{PU}(\Phi)$  بیانگر قدرت تداخل کل در PUD است. از این کانال تداخل  $g_i^{sp}$  برای لینک بین یک SU و گره  $V_1$  و PUD بدست می آید که بدین صورت مدل سازی می شود [۱۵]:

$$|g_i^{sp}|^2 = K [\max(r_i, r_{min})]^{-\alpha} \quad (7)$$

۳-۱- مدل شبکه ای

در نظر بگیرید که مدل چند کاره بی سیم CRAHN به صورت یک گراف بدون جهت  $G(V, E)$  است که در آن  $V$  مجموعه رئوسی است که نشان دهنده مجموعه ای از SUS از شبکه هستند و  $E$  مجموعه ای لبه می باشد که نشان دهنده مجموعه ای از لینک های بی سیم از شبکه است. شبکه متشکل از گره NSU که به صورت تصادفی در یک منطقه خاص توزیع شده اند. هر گره SU با یک آنتن چند جهته و قدرت باتری محدود مجهز شده است. دنباله ای از پیام است به طور مداوم توسط منبع SU از گره  $V_1$  به مقصد SU گره  $V_n$  از طریق یک مسیر انتقال  $\Phi = (V_1, V_2, \dots, V_{n-1}, V_n)$  با گره های  $n$  ( $n \leq N$ ) منتقل می شود که گره ها  $V_2$  تا  $V_{n-1}$  گره های SU هستند که نقش رله رمزگشایی و ارسال را برعهده دارند. مسیر شامل گره  $(n-1)$  است که در آن ارتباط بین SU گره  $V_1$  و  $V_{t+1}$  به عنوان هاپ  $i$ th برای  $i \in \{1, 2, \dots, n-1\}$  نشان داده شده است. SU گره های  $G/\Phi$  که بخشی از مسیر محسوب نمی شوند در جلسه مسیریابی در مد اسلیپ نگه داشته می شود تا اطمینان حاصل شود که قدرت باتری ذخیره می شود. برای جلوگیری از تداخل بین انتقال SUS، فرض می شود که انتقال آنها در کانال های متعامد انجام می شود [۱۲].

در این مقاله، طول عمر شبکه معادل طول عمر مسیر در نظر گرفته می شود که به عنوان فاصله زمانی از شروع جلسه مسیریابی به اولین نشانه شکست فوروارد بسته های هر گره در طول مسیر تعریف شده است [۱۱]. از این رو، طول عمر شبکه  $T_\Phi$  می تواند به صورت زیر بیان شود:

$$T_\Phi = \min_{i \in \{1, \dots, n-1\}} T_i \quad (1)$$

که در آن  $T_i = E_i/P_{ti}$  طول عمر گره  $V_1$ ،  $E_1$  و  $P_{ti}$  به ترتیب از سطح انرژی اولیه و انتقال قدرت از گره  $V_t$  هستند.

۳-۲- مدل لینک بی سیم

ما فرض کنیم که دامنه محو شدن لینک های بی سیم بین



که هر عدد ثابت متناسب،  $r_i$  فاصله بین  $V_1$  و PUD و داریم:

$$L(P_{t1}, \dots, P_{t(n-1)}) = \sum_{i=1}^{n-1} P_{ti} |g_i^{sp}|^2 + \lambda f(P_{t1}, \dots, P_{t(n-1)}) \quad (10)$$

که:

$$f(P_{t1}, \dots, P_{t(n-1)}) = \theta \sum_{i=1}^{n-1} \frac{d_i^\alpha}{P_{ti}} - \gamma_{max}^{BER}$$

بنابراین شرایط KKT برای گره های  $i = 1, 2, \dots, n-1$  با مقادیر غیر صفر از قدرت انتقالی هستند،

$$\frac{\partial}{\partial P_{ti}} L(P_{t1}, \dots, P_{t(n-1)}) = |g_i^{sp}|^2 - \lambda \theta \frac{d_i^\alpha}{P_{ti}^2} = 0 \quad (11)$$

$$\theta \sum_{i=1}^{n-1} \frac{d_i^\alpha}{P_{ti}} - \gamma_{max}^{BER} = 0 \quad (12)$$

با فرض اینکه لاگرانژ چند برابر مثبت است، که معادل این است،

$$P_{ti} = \frac{\sqrt{\lambda \theta d_i^\alpha}}{|g_i^{sp}|} \quad (13)$$

$$\theta \sum_{i=1}^{n-1} \frac{d_i^\alpha}{P_{ti}} = \gamma_{max}^{BER} \quad (14)$$

با جایگزینی  $P_{ti}$  معادله (۳) در (۴) داریم:

$$\sqrt{\lambda} = \frac{\sqrt{\theta}}{\gamma_{max}^{BER}} \left( \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{d_i^\alpha} |g_i^{sp}| \right) \quad (15)$$

با جایگزینی مقدار  $\sqrt{\lambda}$  معادله (۱۵) در (۱۳) داریم:

$$P_{ti} = \left( \frac{\sqrt{d_i^\alpha}}{|g_i^{sp}|} \right) \left( \frac{\theta}{\gamma_{max}^{BER}} \right) \left( \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{d_i^\alpha} |g_i^{sp}| \right) \quad (16)$$

و برای به حداقل رساندن قدرت مداخله کل بدست می آوریم:

$$I_{PU} = \sum_{i=1}^{n-1} P_{ti} |g_i^{sp}|^2 = \frac{\theta}{\gamma_{max}^{BER}} \left( \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{d_i^\alpha} |g_i^{sp}| \right)^2 \quad (17)$$

در MTI تخصیص قدرت مشترک و استراتژی مسیریابی، راهی است که نیاز به حداقل قدرت مداخله دارد، اگر تمایل به حفظ محدودیت BER داشته باشیم. از این رو، تابع وزن مسیر ممکن است از (۱۷) مشتق شده، که به شرح زیر می شود،

$$\omega_{MTI}(\Phi) = \sum_{i \in \Phi} \sqrt{d_i^\alpha} |g_i^{sp}| \quad (18)$$

برای به حداقل رساندن قدرت دخالت کل در CRAHNS، ما

حالا این مساله برای به حداقل رساندن قدرت مداخله پیوسته به PUD و به حداکثر رساندن طول عمر شبکه برای یک منبع جفتی در مقصد در یک CRAHN چند هاپ طراحی شده که انتها به انتها  $\gamma_{ee}^{BER}$  یک مقدار از پیش تعیین شده تجاوز نمی نماید. از نظر ریاضی، می توان آن را به صورت زیر فرموله نمود:

$$\min_{\Phi \in \Phi(V_1, V_N)} I_{PU}(\Phi) \text{ and } \max T_\Phi$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \gamma_{ee}^{BER} \leq \gamma_{max}^{BER} \\ P_{ti} > 0, i = 1, 2, \dots, n-1 \end{cases} \quad (8)$$

که  $\Phi(V_1, V_N)$  بیانگر تمام مسیرهای ممکن بین  $V_1$  و  $V_N$  و  $I_{PU}(\Phi)$  نشان دهنده قدرت مداخله پیوسته مربوط به مسیر  $\Phi$  است.

#### ۴- مسیریابی و تخصیص قدرت برای دخالت مشترک و مدیریت ماندگار طول عمر

##### ۴-۱- تخصیص قدرت مشترک و مسیریابی برای MTI

اصطلاح تخصیص قدرت مشترک و مسیریابی به یک استراتژی مسیریابی بر می گردد که از راه حل تخصیص قدرت برای یک مسیر  $\Phi$  با هدف به حداقل رساندن قدرت دخالت کل به PUD برای محدودیت BER انتها به انتها  $\gamma_{max}^{BER}$  گرفته شده است. با استفاده از (۵) مساله تخصیص قدرت برای MTI در CRAHNS می تواند بصورت زیر بازنویسی شود:

$$\min \sum_{i=1}^{n-1} P_{ti} |g_i^{sp}|^2$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \theta \sum_{i=1}^{n-1} \frac{d_i^\alpha}{P_{ti}} \leq \gamma_{max}^{BER} \\ P_{ti} > 0, i = 1, 2, \dots, n-1 \end{cases} \quad (9)$$

محدودیت در (۸) به (۹) بر اساس [۱۶] اصلاح شده است. از آنجا که تابع هدف فوق بصورت خطی است و محدودیت BER در (۹) یک تابع محدب است، مسئله بهینه سازی بصورت محدب است و در نتیجه، یک راه حل منحصر به فرد ایجاد می شود. بنابراین شرایط KKT بهیچگی لازم و کافی می باشد [۱۷]. با استفاده از تابع لاگرانژی با ضرایب  $\lambda$  برای بهینه سازی مساله



نیاز به جستجو برای مسیری با حداقل وزن مسیر مانند (۱۸) و  $\beta_1$  مثبت باشد، داریم:

$$\theta \sum_{i=1}^{n-1} \frac{d_i^\alpha}{P_{ti}} = \gamma_{max}^{BER} \quad (21)$$

و

$$\frac{E_i}{P_{ti}} = T_\Phi \quad (22)$$

با استفاده از معادله ۲۱ و ۲۲ قدرت انتقالی از  $V_1$  را بدین

صورت بدست می‌آوریم:

$$P_{ti} = \left( \frac{\theta E_i}{\gamma_{max}^{BER}} \right) \sum_{i=1}^{n-1} \frac{d_i^\alpha}{E_i} \quad (23)$$

و طول عمر شبکه می‌شود:

$$T_\Phi = \frac{E_i}{P_{ti}} = \frac{\gamma_{max}^{BER}}{\theta \sum_{i=1}^{n-1} \frac{d_i^\alpha}{E_i}} \quad (24)$$

MNL تخصیص قدرت مشترک و استراتژی‌های مسیریابی

در مسیری است که حداکثر طول عمر شبکه فراهم می‌کند.

بنابراین با استفاده از معادله (۲۴) تابع وزن مسیر به صورت زیر

تعریف می‌شود:

$$\omega_{MNL}(\Phi) = \sum_{i \in \Phi} \frac{d_i^\alpha}{E_i} \quad (25)$$

این مسیر با حداقل  $\omega_{MNL}(\Phi)$  در (۲۵) حداکثر طول

عمر شبکه را فراهم می‌کند. بنابراین مساله مسیریابی برای طرح

MNL می‌شود،

$$\min_{\Phi \in \Phi(V_1, V_n)} \omega_{MNL}(\Phi) \quad (26)$$

۳-۴- روش پیشنهادی برای به حداقل رساندن تداخل

مشترک و حداکثر طول عمر

در این بخش، ما پیشنهاد می‌کنیم از روش اکتشافی جدید

هیبریدی طرح (H-MNL-MTI) -MNL-MTI برای به

حداقل رساندن تداخل گره‌ها و طول عمر مسیر مشترک استفاده

شود.

۱. تخصیص قدرت

مسئله بهینه‌سازی (۹) به شرح زیر تغییر می‌کند.

$$\min \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{E_i}{P_{ti}} \right)^2 P_{ti} |g_i^{SP}|^2 \quad (27)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \theta \sum_{i=1}^{n-1} \frac{d_i^\alpha}{P_{ti}} \leq \gamma_{max}^{BER} \\ P_{ti} > 0, \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \end{cases}$$

داریم. بنابراین مساله مسیریابی برای استراتژی MTI می‌شود،

$$\min_{\Phi \in \Phi(V_1, V_n)} \omega_{MTI}(\Phi) \quad (19)$$

که در آن  $\Phi(V_1, V_n)$  نشان دهنده تمام مسیرهای ممکن

بین منبع SU و گره  $V_1$  و مقصد SU و گره  $V_n$  است.

۴-۲- تخصیص قدرت مشترک و مسیریابی برای MNL

طرح‌های مختلف تخصیص قدرت ارائه شده است که

محاسبه هدف طرح مسیریابی برای به حداکثر رساندن طول عمر

شبکه BER □ آنها به انتها در محدودیت  $\gamma_{max}^{BER}$  زمان بر است.

اگر چه مسیریابی MNL و تخصیص قدرت در شبکه‌های بی‌سیم

چند جهتی نیز در [۱۶] برای یک محدودیت BER انتهایی آنها

داده بودند، اما نویسندگان آن اینطور فرض کردند که تنها مورد

خاص زمانی که همه گره‌ها دارای قدرت باتری یکسان هستند،

که این امر واقع بینانه نیست. ما گره SU با ذخایر انرژی نابرابر در

نظر گرفتیم. به منظور به حداکثر رساندن طول عمر شبکه ما

نسبت بین نظر  $E_1$  و  $P_{ti}$  را به صورت ثابت فرض کردیم

$\forall i \in \{1, 2, \dots, n-1\}$ . بنابراین با استفاده از معادله (۵)

تخصیص قدرت در (۸) برای استراتژی MNL از یک مسیر داده

$\Phi$  داریم:

$$\begin{cases} \max T_\Phi \\ \theta \sum_{i=1}^{n-1} \frac{d_i^\alpha}{P_{ti}} \leq \gamma_{max}^{BER} \\ \frac{E_i}{P_{ti}} - T_\Phi \geq 0 \\ P_{ti} > 0, \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n-1 \end{cases} \quad (20)$$

در (۲۰)، این محدودیت  $\gamma_{max}^{BER}$

$f(P_{t1}, \dots, P_{t(n-1)}) = \theta \sum_{i=1}^{n-1} d_i^\alpha / P_{ti} -$  محدب است و

محدودیت‌های دیگر  $R_i(T_i, T_\Phi) = E_i / P_{ti} - T_\Phi$  خطی

هستند. بنابراین مساله بهینه‌سازی محدب است. از آنجا که

شرایط دوگانگی قوی برای مسائل بهینه‌سازی محدب [۱۷] باید

وجود داشته باشد،  $\lambda f(P_{t1}, \dots, P_{t(n-1)}) = 0$  و برای نقطه

مطلوب  $\beta_i R_i(T_i, T_\Phi) = 0$  داریم. با فرض ضرایب لاگرانژ  $\lambda$



د. مسائل مربوط به اجرای طرح H-MNL-MTI

که در آن  $E_s$  انرژی منبع  $V_1$  است. پس از انجام مراحل مشابه (۱۰) تا

(۱۵) داریم،

$$P_{ti} = \left( \frac{\sqrt{d_i^\alpha}}{|g_i^{sp}|} \right) \left( E_i / E_s \right) \left( \frac{\theta}{\gamma_{max}^{BER}} \right) \left( \sum_{l=1}^{n-1} \frac{\sqrt{d_l^\alpha |g_l^{sp}|}}{E_l / E_s} \right) \quad (28)$$

بدیهی است معادله ۲۸ علاوه بر آن منجر به افزایش کانال

مداخله کننده (به  $g_i^{SP}$  PUD) می شود، قدرت انتقال در  $V_1$

نیز بستگی به سطح انرژی باقی مانده آن دارد (توسط سطح انرژی از منبع گره  $V_1$  نرمال شده است). از این رو تحت افزایش کانال مداخله کننده، یک گره با سطح انرژی بیشتر دارای قدرت بالاتری نسبت به یک گره با انرژی باقی مانده کمتر منتقل می شود. انتظار می رود این امر به بهبود طول عمر مسیر کمک کند.

۲. مسیریابی

با هدف به حداقل رساندن تداخل و به حداکثر رساندن طول عمر شبکه به طور مشترک، طراحی ارتباط بین هر جفت گره  $(V_i, V_j)$  در شبکه به صورت ترکیبی از (۱۸) و (۲۵) است که به شرح زیر ارائه می شود.

$$\omega(i, j) = \left( \frac{\sqrt{d_{ij}^\alpha |g_i^{sp}|}}{\delta_1} \right)^{x_1} \left( \frac{d_{ij}^\alpha / E_i}{\delta_2} \right)^{x_2} \quad (29)$$

که در آن  $d_{ij}$  نشان دهنده فاصله بین  $(V_i, V_j)$  و  $\delta_1$

نشان دهنده افزایش کانال دخالت منبع SU به PUD در

CRAHN و  $\delta_2$  معکوس مقدار انرژی منبع SU است. برای

توجیه تعریف  $\delta_1$  و  $\delta_2$  به روش فوق، هر دو نسبت نرمال می

شود. در (۲۹)،  $x_1$  و  $x_2$  عوامل وزن غیر منفی برای هر مورد

هستند. در حال حاضر این طراحی از هر مسیر  $\Phi$  به عنوان

مجموع از طراحی از لینک های مسیر بیان شده است. در نتیجه

$$\omega_H(\Phi) = \sum_{(i,j)} \omega(i, j) \quad \forall (i, j) \in \Phi \quad (30)$$

برای یافتن مسیر بهینه، نیاز به جستجو برای مسیر با

حداقل وزن مسیر مانند (۳۰) داریم. بنابراین مساله مسیریابی را

برای استراتژی ترکیبی می شود،

$$\min_{\Phi \in \Phi(V_1, V_n)} \omega_H(\Phi) \quad (31)$$

یک مسیریابی متریک می تواند به صورت مجموعه ای از

عناصر  $(S, \oplus, \Omega, \leq)$  باشد، که در آن  $S$  مجموعه ای از

تمام مسیرهای شبکه است،  $\Omega$  یک تابع است که یک مسیر به

یک مقدار متریک نقشه ها را نشان می دهد،  $\geq$  ترتیب رابطه و

$\square$  مسیر عملیات الحاقی از یک لینک است. متریک مسیریابی به

نام شدت ایزوتونیک نامیده می شود [۱۸]. اگر

$$\Omega(\Phi_1) < \Omega(\Phi_2) \text{ دلالت بر } \Phi_3$$

$$\Omega(\Phi_1 \oplus \Phi_3) < \Omega(\Phi_2 \oplus \Phi_3) \text{ و } \Omega(\Phi_1 \oplus \Phi_3) < \Omega(\Phi_2 \oplus \Phi_3)$$

برای هر مسیر  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3 \in S$  می شود. در [۱۸]، ثابت

شده است که خواص یکنواختی و ایزوتونیک برای اطمینان از

سه نیاز مهم از هر پروتکل مسیریابی به عنوان مثال: بهینگی،

سازگاری و درجه روانی حلقه می باشد و می توان این مساله را

به راحتی نشان داد که معیارهای اضافی مسیریابی ما از (۱۸) و

(۲۵) به شدت ایزوتونیک و یکنواخت هستند. بنابراین پروتکل

های وضعیت لینک، بردار مسیر یا بردار فاصله مسیریابی مانند

DSDV [۱۹] و یا AODV [۲۰] پروتکل های مسیریابی مبنایی

هستند که به راحتی می توانند برای پیاده سازی و اجرای طرح

ترکیبی مسیریابی ارائه شده تغییر نمایند.

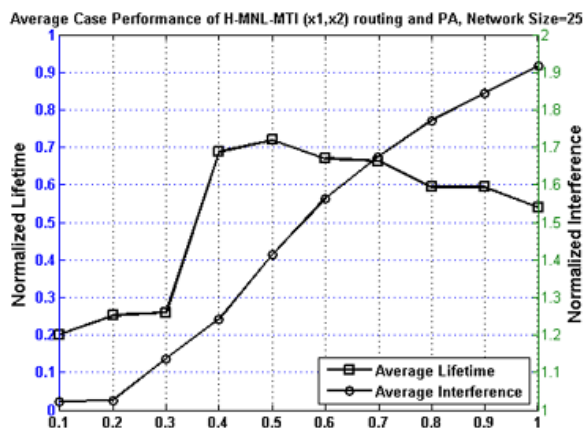
جدول ۱ - پارامترهای شبه سازی

Description with symbols	Value
Energy of a SU node $V_i, E_i$	Random uniform distribution between 10-20 J
Path loss, $\alpha$	2
Noise, $N_0$	-60 dBm
Link margin, $M_l$	40 dB [16]
Gain factor at $d=1m, G_l$	30 dB
End to end BER constraint, $\gamma_{max}^{BER}$	$10^{-4}$ [16]
Proportionality constant, $K$	$10^4$ [15]
Minimum threshold distance between SU and PUD, $r_{min}$	0.1 [15]



ب. نتایج شبیه سازی

در آغاز، در شکل ۱، طول عمر و عملکرد دخالت طرح ترکیبی ارائه شده است با رسم تغییرات طول عمر شبکه نرمال شده و قدرت دخالت کل نرمال شده به PUD با توجه به  $x(x_1, x_2 = x)$  در جهت یافتن بهترین پارامتر  $X1$  و  $X2$  نشان داده شده است. از آنجا که در مشکل طراحی به اندازه مساوی هم به حداقل رساندن تداخل و هم به حداکثر رساندن طول عمر اختصاص داده شده، اهمیت دادیم، بنابراین  $X1=X2=X$  را در نظر گرفتیم (۲۹). طول عمر شبکه نرمال شده به عنوان نسبت طول عمر شبکه توسط مسیریابی H-MNL-MTI و تخصیص قدرت طرح مشترک ما و با استفاده از طول عمر شبکه بهینه شده به دست آمده و توسط مسیریابی MNL و تخصیص قدرت طرح مشترک تعریف شده است. به طور مشابه، قدرت دخالت کل نرمال شده به عنوان نسبت بین قدرت های مداخله کننده با استفاده از مسیریابی مشترک ترکیبی MNL-MTI و تخصیص قدرت طرح و مسیریابی و تخصیص قدرت طرح مشترک تعریف شده است. از این شکل، مشهود است که رضایت بخش ترین عملکرد هم از نظر طول عمر شبکه (۶۹٪ از حداکثر طول عمر) و هم از نظر قدرت دخالت (۲۴٪ بیشتر از حداقل تداخل) برای پیشنهاد مسیریابی H-MNL-MTI و استراتژی قدرت تخصیص در فاکتور وزن  $X = 0.4$  (یعنی  $x_1 = 0.4, x_2 = 0.4$ ) به دست آمد. بنابراین، شکل ۲ و شکل ۳ استفاده شد. توجه داشته باشید که مقدار بهینه  $X$  یک عدد ریاضی نیست و می تواند بسته به مقادیر پارامترهای مختلف شبیه سازی متفاوت باشد.



برای تخصیص قدرت، ما یک اجرای نیمه توزیع شده را پیشنهاد نمودیم. هنگامی که مسیر انتخاب شد، منبع  $V1$  به راحتی می تواند تنها با جمع آوری اطلاعات لازم، مجموع گره های موجود در مسیر (۲۸) را محاسبه نماید. این امر ممکن است به منظور تسهیل تخصیص قدرت های فردی آنها به شیوه ای توزیع شده، با آنها به اشتراک گذاشته شود. این را می توان با پیچیدگی پیام  $O(n)$  که در آن  $n$  تعداد گره در مسیراست، انجام داد.

## ۵- نتایج شبیه سازی

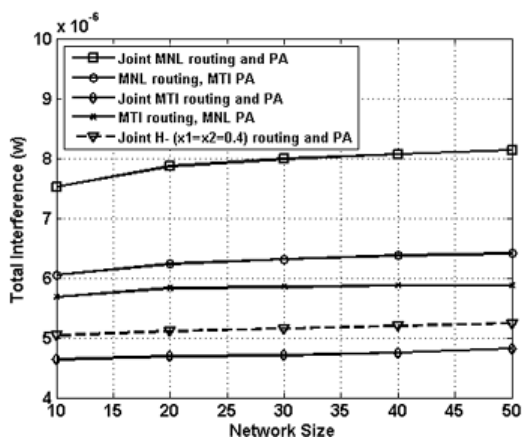
الف. تنظیمات شبیه سازی

برای ارزیابی عملکرد طرح ترکیبی پیشنهادی ما، توپولوژی تصادفی از CRAHNS با در نظر گرفتن این شرط که هر نمونه از توپولوژی شبکه نشان دهنده یک شبکه کاملا متصل با گره  $SU$   $N$  به صورت تصادفی در یک منطقه مربع به ابعاد  $50 \times 50$  متر است را انجام دادیم. تمام گره های  $SU$  بطور مستقیم می توانند با یکدیگر در این منطقه ثابت ارتباط برقرار کند و محل منبع  $SU$  و مقصد به ترتیب در  $(0, 0)$  و  $(50, 50)$  ثابت شده اند.

PUD در خارج از منطقه شبکه است به طوری که در فاصله نزدیکترین گره  $SU$  آن قرار دارد و همیشه بسیار بیشتر از فاصله دو بین منبع و مقصد واقع می شود. این نتایج، میانگین بیش از ۱۰۰۰۰ توپولوژی شبکه تصادفی و مستقل از هم هستند. انرژی مصرف شده در ارتباط مسیر یابی بسته های کنترل و در کوتاه ترین مسیر طراحی شده در شبیه سازی محاسبه شد. برای هر شبکه مشخص، مسیر از طریق مسیریابی متریک و سپس انتقال قدرت ت که در هر گره با توجه به استراتژی تخصیص قدرت می باشد، تعیین می شود. ما هر چهار ترکیب ممکن از MTI و MNL تخصیص قدرت گرا (PA) و استراتژی های مسیریابی را در نظر گرفتیم. آنها عبارتند از: (الف) MNL مسیریابی و قدرت تخصیص مشترک، (ب) MNL مسیریابی MTI تخصیص قدرت، (ج) MTI مسیریابی MNL تخصیص قدرت و (n) مشترک مسیریابی MTI و قدرت تخصیص. مقادیر پارامترهای سیستم لازم در جدول ۱ ذکر شده است.



MTI مشترک و استراتژی تخصیص قدرت را برای اندازه شبکه های متفاوت نشان می دهد. همانطور که انتظار می رود، بهترین عملکرد تداخل با مسیریابی MTI مشترک و تخصیص قدرت برای تمام اندازه ها شبکه به دست آمد. عملکرد مسیریابی مشترک MTI-MNL-H ( $x_1 = x_2 = 0.4$ ) و طرح تخصیص قدرت بهتر از مسیریابی های MTI و MNL و تخصیص قدرت و MNL مسیریابی MTI طرح تخصیص قدرت می باشد. بهترین عملکرد طرح MTI-MNL-H تنها ۷,۹٪ بیشتر از استراتژی بهینه از مسیریابی MTI و تخصیص قدرت طرح مشترک در  $N = 10$



است.

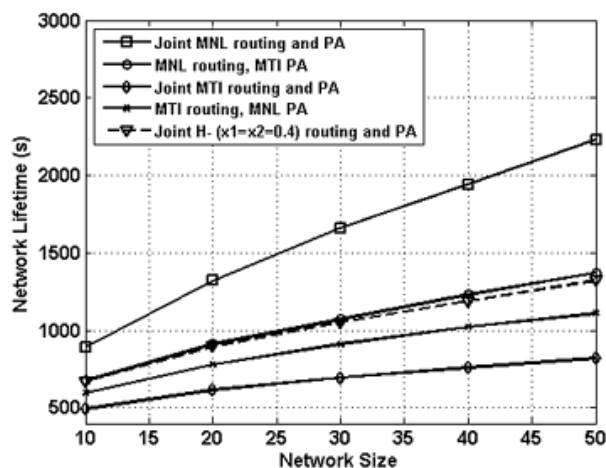
شکل ۳: مقایسه قدرت دخالت کل مشترک مسیریابی هیبرید MTI-MNL و قدرت تخصیص با چهار طرح های دیگر

### ۶- نتیجه

در این مقاله، به بررسی مشکلات کنترل تداخل کل در مقصد PU و افزایش طول عمر شبکه به طور همزمان برای BER محدود CRAHNS چند کاره پرداختیم. نخست، در مورد قدرت مشترک تخصیص و مسیریابی استراتژی برای MTI و مشکلات MNL به طور جداگانه بحث کردیم. آنها به عنوان راه حل بهینه برای مشکلات فردی در نظر گرفته شدند. سپس، یک رویکرد

شکل ۱: عملکرد طرح مسیریابی MTI-MNL-H با توجه به پارامتر X

در شکل ۲ نتایج ارزیابی طول عمر شبکه برای هر چهار ترکیب پیشنهادی ما از جمله MTI و MNL تخصیص قدرت و استراتژی های مسیریابی و طرح MTI-MNL-H مشترک، برای اندازه های شبکه متفاوت است. می توان مشاهده کرد که این امر همانطور که اندازه شبکه را افزایش می دهد، طول عمر را نیز افزایش می دهد به دلیل اینکه افزایش در اندازه شبکه منجر به افزایش دسترسی به مسیرها با فاصله کوتاه بین گره انتقالی می شود. بنابراین، انتقال توان مورد نیاز از گره های فردی در طول مسیر کاهش خواهد یافت، که در نتیجه منجر به بهبود طول عمر می شود. همانطور که انتظار می رود، بهترین عملکرد در طول عمر در مسیریابی MNL مشترک و تخصیص قدرت به دست آمد. ما مسیریابی مشترک MTI-MNL-H ( $x_1 = x_2 = 0.4$ ) و طرح تخصیص قدرت برای رسیدن عمر ۳۶,۴٪ کمتر از مسیریابی MNL و استراتژی مشترک تخصیص قدرت پیشنهاد دادیم و طول عمر تنها ۱,۷٪ کمتر از MNL مسیریابی MTI استراتژی تخصیص قدرت برای  $N = 30$  است.



شکل ۲: مقایسه طول عمر شبکه مفصل هیبرید MTI-MNL مسیریابی و تخصیص قدرت با چهار طرح های دیگر،

شکل ۳ نتایج حاصل از ارزیابی قدرت دخالت کل (به PUD) برای هر چهار طرح پیشنهادی مسیریابی MTI-MNL-H-





- [13] W. Su, A. K. Sadek, and K. J. R. Liu, "SER performance analysis and optimum power allocation for decode-and-forward cooperation protocol in wireless networks," in Proc. IEEE WCNC, vol. 2, Mar. 2005, pp. 984-989.
- [14] T. S. Rappaport, Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd ed., Prentice-Hall, 2002.
- [15] R. Babaei and N. C. Beaulieu, "Power-optimized routing with bandwidth guarantee in multihop relaying networks," in Proc. IEEE ICC, Jun. 2011, pp. 1-6.
- [16] S. Gupta and R. Bose, "Joint power allocation and routing optimization in BER constrained multihop wireless networks," in Proc. IEEE NCC, Feb. 2013, pp. 1-5.
- [17] S. Boyd and L. Vandenberghe, Convex Optimization, Cambridge Univ. Press, 2004.
- [18] Y. Yang and J. Wang, "Design guidelines for routing metrics in multihop wireless networks," in Proc. IEEE INFOCOM, Apr. 2008, pp. 1615-1623.
- [19] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers," in Proc. ACM SIGCOMM, vol. 24, no. 4, New York, NY, USA: ACM, Oct. 1994, pp. 234-244.
- [20] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in Proc. IEEE Workshop Mobile Comput. Syst. Appl. (WMCSA), Feb. 1999, pp. 90-100.

تخصیص قدرت هیبریدی MTI-MNL پیشنهاد گردید و یک عبارت فرم بسته مشتق شد. این امر با یک مسیریابی هیبریدی متریک جدید صورت می گیرد. علاوه بر این، مسائل اجرای طرح پیشنهادی ما نیز مورد بحث قرار گرفت، که نشان دهنده اهمیت عملی آن برای استفاده در CRAHNS مقیاس بزرگ تر است. نتایج شبیه سازی حاکی از این است که پیشنهاد مسیریابی هیبریدی MTI-MNL و تخصیص قدرت طرح مشترک ما موفق به کاهش قدرت دخالت کل PU در گره مقصد و افزایش طول عمر شبکه به شیوه ای قابل توجه شده است.

## مراجع

- [1] I. Akyildiz, W-Y. Lee and K. R. Chowdhury, "CRAHNS: Cognitive radio adhoc networks," Elsevier Journal of Ad Hoc Networks, vol. 7, no. 5, pp. 810-836, July 2009.
- [2] T. Yücek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithm for cognitive radio applications," IEEE Communication Surveys and Tutorials, vol. 11, no. 1, pp. 116-130, Mar. 2009
- [3] I. F. Akyildiz, B. F. Lo and R. Balakrishnan, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks: A survey," Elsevier Journal of Physical Communication, vol. 4, no. 1, pp. 40-62, Mar. 2011.
- [4] Q. Zhang, J. Jia and J. Zhang, "Cooperative relay to improve diversity in cognitive radio networks," IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 2, pp. 111-117, Feb. 2009.
- [5] B. Wang and K. J. R. Liu, "Advances in cognitive radio networks: a survey," IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing, vol. 5, no. 1, pp. 5-23, Feb. 2011.
- [6] A. P. T. Lau and S. Cui, "Joint power minimization in wireless relay channels," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 6, no. 8, pp. 2820-2824, Aug. 2007.
- [7] A. Goldsmith, S. A. Jafar, I. Maric and S. Srinivasa, "Breaking spectrum gridlock with cognitive radios: an information theoretic perspective," IEEE Proceedings, vol. 97, no. 5, pp. 894-914, May 2009.
- [8] Z. Yuan, J. B. Song and Z. Han, "Interference minimization routing and scheduling in cognitive radio wireless mesh networks," in Proc. IEEE WCNC, Apr. 2010, pp. 1-6.
- [9] Q. Zhu, Z. Yuan, J. B. Song, Z. Han and T. Basar, "Interference aware routing game for cognitive radio multi-hop networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 30, no. 10, pp. 2006-2015, Nov. 2012.
- [10] S. Kusaladharma, P. Herath and C. Tellambura, "Impact of transmit power control on aggregate interference in underlay cognitive radio networks," in Proc. IEEE ICC, Jun. 2014, pp. 1567-1572.
- [11] J. H. Chang and L. Tassiulas, "Maximum lifetime routing in wireless sensor network," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 12, no. 4, pp. 609-619, Aug. 2004.
- [12] O. Hasna and M. S. Alouini, "Optimal power allocation for relayed transmission over Rayleigh fading channel," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 3, no. 6, pp. 1999-2004, Nov. 2004.