

ایجاد بازی پتانسیلی با استفاده از قیمت‌گذاری به منظور مدیریت بهینه منابع در شبکه‌های

رادیویی شناختگر غیرهمکارانه

محمدفرزان صباحی^۱ و آرشام مستعانی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی برق - دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

sabahi@eng.ui.ac.ir

۲- گروه مهندسی برق - دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

Mostaani@live.com

چکیده: در این مقاله، مدیریت بهینه منابع در یک شبکه از رادیوهای شناختگر هوشمند، با استفاده از نظریه بازی بررسی شده است. کاربران براساس منافع شخصی، تابع سود دلخواه خود را انتخاب و برای انتخاب کانال و توان رقابت می‌کنند. این رویکرد غیر همکارانه^۱ توسط یک شیوه قیمت‌گذاری مناسب کنترل می‌شود. نشان داده ایم که اگر از تابع سود در یک بازی پتانسیلی همکارانه، به عنوان تابع قیمت‌گذاری در شبکه غیرهمکارانه^۲ استفاده شود، بازی حاکم بر شبکه غیرهمکارانه نیز پتانسیلی خواهد شد و بنابراین، به نقطه تعادل‌نش خواهد رسید. وجود کاربران خودخواه، شبکه‌ای را که با فرض همکاری کاربران طراحی شده است ناپایدار می‌کند. بعلاوه، بازدهی استفاده از منابع را کاهش می‌دهد. نشان داده شده است که با استفاده از قیمت‌گذاری پیشنهادی، شبکه به تعادل می‌رسد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد علاوه بر اینکه بازدهی استفاده از منابع بهبود می‌یابد، نقطه تعادل از بعضی معیارهای بهینگی مانند بهینگی پرتو نیز برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: شبکه رادیویی شناختگر، نظریه بازی، رادیوی هوشمند، بازی غیرهمکارانه، الگوریتم توزیع یافته دسترسی به منابع، بازی پتانسیلی، قیمت‌گذاری، بهینگی پرتو

فرکانسی ابداع شده‌اند. می‌توان^۳ نخستین کسی بود که ایده

رادیوهای شناختگر را بدین صورت عنوان کرد [۲]:

"رادیو شناختگر نمادی است برای یک سیستم استدلال گر که به منظور رسیدن به حد مطلوبی از یک یا چند پارامتر مخابراتی طراحی شده است."

یکی از توانایی‌های مهم رادیوهای شناختگر مشاهده لحظه به لحظه طیف فرکانسی و امکان یافتن باند مناسب برای ایجاد ارتباط مورد نظر است. بدین وسیله یک رادیوی شناختگر قادر خواهد بود از باند فرکانسی که مجوز استفاده از آن را کاربر دیگری داراست، استفاده نماید (در صورتی که برای دارنده مجوز مزاحمتی در ارتباط رادیویی ایجاد نکند). البته، فقط مناسب بودن نسبت سیگنال به نویز و تداخل برای برقراری ارتباط مناسب بین کاربران کافی

۱- مقدمه

با افزایش کاربرد سیستم‌های مدرن بی‌سیم مخابراتی لزوم هوشمند سازی در آنها افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، اندازه‌گیری‌ها و آزمایش‌های انجام شده در سال‌های اخیر توسط FCC بهینه نبودن بهره‌وری طیف فرکانسی را نمایان می‌کند [۲]. رادیوهای شناختگر^۳ (CR) سیستم‌های هوشمندی هستند که برای بهره‌برداری صحیح از طیف

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۱/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۱۶

نام نویسنده مسئول: محمدفرزان صباحی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - اصفهان - خیابان هزار جریب -

دانشگاه اصفهان - دانشکده فنی مهندسی

ایجاد بازی پتانسیلی با استفاده از قیمت گذاری به منظور مدیریت بهینه منابع در شبکه‌های رادیویی غیرهمکارانه

ارسال بسته CTS^۹ برای دریافت اطلاعات اعلام آمادگی می‌نماید. دیگر گره‌های موجود در شبکه، پس از دریافت این دو بسته، مدتی در ارسال اطلاعات خود توقف می‌نمایند. یکی از نقاط ضعف طرح‌های ارائه شده در [۵] و [۶] اجبار کردن نوع تابع سود به کاربران شبکه است. چنین چیزی خارج از توان ناظر شبکه بوده یا حداقل به شبکه‌ای با کاربران همکاری کننده نیاز دارد و در شبکه با کاربران خودخواه قابل اجرا نیست. برای تحلیل این شرایط به سازوکارهایی برای بررسی انطباق عملکرد کاربران با تابع سود معرفی شده به آنها نیاز است که موجب پیچیدگی اجرا و پیاده سازی طرح مورد نظر خواهد شد.

در شبکه‌هایی که توزیع منابع شبکه به صورت غیر مرکزی و توزیع یافته صورت می‌گیرد، از قیمت گذاری به عنوان اهمی برای افزایش همکاری میان کاربران شبکه استفاده می‌شود. در [۷] و [۱۰] از یک شیوه قیمت گذاری خطی استفاده شده است. مزیت چنین قیمت گذاری را می‌توان سادگی مفهوم و پیاده سازی آسان آن عنوان کرد. در [۱۰] با استفاده از انتخاب ضریب قیمت گذاری مناسب، بهبود وضعیت شبکه با توجه به معیار بهینگی پرتو^۱ مورد نظر قرار گرفته است. همچنین، یک قیمت گذاری بهینه نیز ارائه شده که پیچیدگی پیاده سازی زیادی دارد. یک شیوه قیمت گذاری پیشرفته تر، قیمت گذاری تطبیق یافته است که در آن ضریب قیمت گذاری برای هر کاربر شبکه، (بر اساس شرایط نهایی مطلوب) عددی خاص و متفاوت با دیگر کاربران باشد [۸]. این شیوه به نزدیک شدن تعادل به بهینگی پرتو کمک می‌کند. در [۸] یک الگوریتم واترفیلینگ بر مبنای قیمت گذاری ارائه شده است. این شیوه به صورت توزیع شده قابل اجرا بوده، می‌توان از آن برای مدیریت شبکه‌های غیرهمکارانه استفاده کرد. نوع دیگر از قیمت گذاری تطبیق یافته در [۹] ارائه شده است. به علاوه، الگوریتم واترفیلینگ [۸] و [۹] ارتقا یافته است.

در این مقاله نشان می‌دهیم که اگر تابع سود یک شبکه با بازی پتانسیلی همکارانه، با اصلاح اندکی به عنوان تابع قیمت گذاری در یک شبکه غیر همکارانه به کار گرفته شود، به پتانسیلی شدن بازی حاکم بر شبکه منجر خواهد شد. به طور مشخص، از تابع سود پیشنهاد شده در [۵] به عنوان

نیست، بلکه با توجه به مفهوم دمای تداخلی، چگالی توان در باند مورد نظر نیز نباید از حد مجاز بیشتر شود. شبکه رادیویی تشکیل شده از رادیوهای شناختگر، با نام شبکه رادیویی هوشمند نیز شناخته می‌شود. علاوه بر خصوصیات مناسب رادیوهای شناختگر که به قسمتی از آن اشاره شد، امتیازاتی هم برای شبکه‌های رادیویی هوشمند قابل شمارش است. از جمله می‌توان به امکان برقراری ارتباط بین تعداد زیادی گره به صورت کاربر محور، درآمدزایی برای کاربران دارای مجوز به وسیله اجاره دادن طیف فرکانسی که در اختیار دارند و امکان تخصیص مناسب منابع شبکه به کاربران شبکه‌های بدون سیم اشاره نمود [۳].

در این مقاله مدیریت و بهینه سازی یک شبکه رادیویی شناختگر نوعی با استفاده از نظریه بازی بررسی قرار می‌شود. در این شبکه کاربران لزومی به پیروی از یک مرکز کنترل یا برقراری ارتباط از طریق آن را نداشته، از یک الگوریتم توزیع شده^۵ که برای اداره شبکه طراحی شده است پیروی می‌کنند. کاربران شبکه مختارند با توجه به چارچوب‌های شبکه و با توجه به ترجیحات شخصی درباره نوع ارتباط خود به شیوه دلخواه تصمیم گیری کنند. بنابراین کاربران شبکه به صورت پیش فرض خودخواه در نظر گرفته شده‌اند. در شبکه مورد بررسی با تمامی کاربران بدون مجوز همانند یک کاربر دارای مجوز برخورد می‌شود و شبکه خالی از رادیوهای دارای مجوز است. چنین شبکه‌ای را یک شبکه اختصاص یافته به کاربران بدون مجوز می‌نامند.^۶ چنین شبکه‌هایی در مطالعات مختلف بررسی شده‌اند. در [۴] مشکلاتی که در پیاده سازی این گونه شبکه‌ها وجود دارد، ذکر شده و تعدادی از مشخصات به عنوان مشخصات کلیدی لازم برای پروتکل اداره شبکه بیان شده است. در [۵] و [۶]، توابع سودی معرفی شده است که در صورت رعایت شدن آنها توسط کاربران شبکه، همکاری بین کاربران القا می‌گردد.

پروتکل MAC^۷ ارائه شده در [۵]، که شباهت زیادی به تبادل بسته‌های اطلاعاتی RTS/CTS بر اساس استاندارد IEEE802.11 دارد، توانایی اجرای الگوریتم مورد نظر را داراست. به طور خلاصه، در این روش فرستنده بسته‌ای به نام RTS^۸ به گره مقصد ارسال می‌کند و گره مقصد با

انطباق محیط یک شبکه شناختگر با عناصر موجود در نظریه بازی؛ توانایی نظریه بازی در حل مسأله‌هایی چند منظوره (ابزار و قضایای زیادی در نظریه بازی برای بررسی و حتی اندازه‌گیری بهینگی تعادل‌های بازی، که در آن سود تعداد زیادی فرد یا گروه بایستی در نظر گرفته شود، وجود دارد)؛

وجود مفهوم بازی‌های غیرهمکارانه در نظریه بازی که این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان با استفاده از آن به بررسی شبکه‌های توزیع یافته و غیر مشارکتی پرداخت. در یک شبکه رادیویی شناختگر، کاربران معمولاً برای رسیدن به اهداف مورد نظر خود، خودخواهانه و بر اساس ترجیحات شخصی عمل می‌کنند. نظریه بازی به ما اجازه می‌دهد تا تابع سودی به هر کاربر نسبت دهیم و بدین وسیله مدلی برای شیوه اتخاذ استراتژی هر کاربر داشته باشیم. بررسی نقاط تعادل شبکه (در صورت وجود) از ملاحظات ناظر و طراح شبکه است. نقاط تعادلی که بهینه بوده و در آن، شبکه دارای مشخصات مخابراتی مناسبی باشد، بهترین نشانه یک الگوریتم کارآمد توزیع منابع هستند.

۳- ساختار شبکه

شبکه مورد نظر ما یک شبکه رادیویی شناختگر شامل K جفت کاربر با توانایی ارسال و دریافت اطلاعات است که در M کانال به ارسال اطلاعات می‌پردازند. کاربران به صورت تصادفی در یک فضای $M \times M$ پراکنده شده‌اند. فاصله میان فرستنده و گیرنده یک کاربر (یک جفت) کمتر از r_{max} فرض شده است. ضمناً توپولوژی شبکه در هر اجرا ثابت در نظر گرفته شده؛ بدین معنا که سرعت احتمالی جابه‌جایی کاربران شبکه در زمان همگرایی شبکه تغییر محسوسی در توپولوژی آن پدید نمی‌آورد. تعدادی از مشخصه‌های لازم یک شبکه بدون سیم اختصاص یافته به رادیوهای شناختگر را می‌توان بدین صورت برشمرد [۴]:

- توانایی ارسال اطلاعات حتی در گیرنده‌ها؛

- محدودیت داشتن کاربران در انتخاب توان ارسالی

برای کنترل تداخل کلی شبکه؛

- امکان ارسال بسته‌های سیگنالینگ^{۱۳} میان کاربران برای

تابع قیمت‌گذاری شبکه غیرهمکارانه استفاده می‌کنیم. فرض می‌کنیم هر کاربر با توجه به منفعت خویش تابع سود شخصی خود را، که مطابق با ترجیحات اوست، انتخاب کند. تابع سود نهایی هر کاربر از حاصل جمع تابع سود شخصی او و تابع قیمت‌گذاری به دست خواهد آمد. بدین ترتیب، استفاده از این روش بر خلاف الگوریتم ارائه شده در [۵]، در یک شبکه غیرهمکارانه امکان پذیر است. به کارگیری تابع قیمت‌گذاری معرفی شده موجب پتانسیلی شدن بازی حاکم بر شبکه می‌شود. در یک بازی پتانسیلی، همگرایی بازی به تعادل نش در تعداد محدودی گام از شروع بازی تضمین شده است [۱۳]. شبیه سازی‌های عددی و رایانه‌ای انجام شده، بهینگی پرتو و میزان مناسبی از مجموع تداخل کاربران بر یکدیگر و نرخ مجموع^{۱۱} را برای تمام تعادل‌های این بازی نشان می‌دهد که گواهی برای اثبات کارایی و مناسب بودن الگوریتم ارائه شده است. این مقاله به شکل زیر سازماندهی شده است. در بخش ۲ مفهوم کلی نظریه بازی و قابلیت‌های آن در طراحی شبکه‌های رادیویی هوشمند بیان شده است. در بخش ۳ ساختار شبکه مورد بررسی و به دنبال آن در بخش ۴ مدل‌سازی آن با استفاده از نظریه بازی را بیان کرده‌ایم. بخش ۵ به ارائه نتایج شبیه سازی و توضیح مزیت‌های حاصل شده بر اثر قیمت‌گذاری پیشنهادی اختصاص دارد و نهایتاً جمع بندی مقاله در بخش ۶ انجام شده است.

۲- نظریه بازی

نظریه بازی یک ابزار ریاضی است که می‌تواند به خوبی برخوردهای میان تعدادی فرد یا گروه تصمیم‌گیرنده را مدل سازی کند. این نظریه کاربرد فراوانی در اقتصاد خرد داشته، و به تازگی مورد توجه علوم مهندسی نیز قرار گرفته است. نظریه بازی در مدیریت، طراحی و تحلیل شبکه‌های رادیویی شناختگر نیز کاربرد فراوان دارد. با این ابزار، امکان طراحی الگوریتم‌های توزیع شده یا متمرکز^{۱۲} اختصاص منابع، بررسی شبکه‌های همکارانه یا غیرهمکارانه یا مهندسی کردن پروتکل MAC شبکه میسر می‌شود [۱۱]. عللی را که نظریه بازی اهمیت چشمگیری در بررسی شبکه‌های شناختگر پیدا کرده، می‌توان بدین صورت برشمرد [۱۲]:

ایجاد بازی پتانسیلی با استفاده از قیمت گذاری به منظور مدیریت بهینه منابع در شبکه‌های رادیویی شناختگر غیرهمکارانه

K بازیکن با رفتار منطقی^{۱۵} است (یک بازیکن منطقی بازیکنی است که استراتژی خود را براساس افزایش تابع سود خود تغییر می‌دهد، نه کاهش آن و یا کاهش تابع سود دیگر بازیکنان). فضای استراتژی کل بازیکنان بوده، استراتژی $\mathbf{s} \in \mathcal{S}$ به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\mathbf{s} = \begin{bmatrix} s_{11} & \dots & s_{1K} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{M1} & \dots & s_{MK} \end{bmatrix} \quad (1)$$

s_{ij} بیانگر توانی است که کاربر j ام در کانال i ام ارسال می‌کند. تعداد کانال‌ها M است. اگر s_{ij} صفر باشد؛ یعنی توسط کاربر j ام در کانال i ام توانی ارسال نمی‌شود. همچنین، فرض می‌شود $s_{ij} \in \{0 \cup [s_{min}, s_{max}]\}$. ستون i ام ماتریس \mathbf{S} را \mathbf{s}_i می‌نامیم که نشان دهنده بازی بازیکن i ام است. هر بازیکن فقط در یک کانال توان ارسال می‌کند. به عبارت دیگر، در هر \mathbf{s}_i فقط یک مؤلفه غیر صفر وجود دارد که آن را P_i می‌نامیم. $w_i(\cdot): \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}$ نیز تابع سود^{۱۶} بازیکن i ام است.

بازی ای را در نظر بگیرید که در آن تابع سود کاربران به شکل $-P(\cdot)$ بوده و $P(\cdot)$ با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$P(\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_{-i}) = \sum_{j=1}^N P_{ij} F(\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_{-i}) + \sum_{j=1}^N P_{ji} F(\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_{-i}) \quad (2)$$

در این رابطه داریم:

$$F(\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_j) = \begin{cases} 1 & : i, j \text{ are in the same channel} \\ 0 & : i, j \text{ are in different channels} \end{cases}$$

g_{ij} نشان دهنده بهره کانال میان فرستنده i ام و گیرنده j ام است. فرض می‌شود که کانال تغییرات زمانی ندارد و مقادیر g_{ij} با داشتن توپولوژی شبکه به صورت یکتا به دست می‌آید.

در رابطه (۲) منظور از \mathbf{s}_{-i} مجموعه استراتژی تمام کاربران بجز کاربر i ام است. $P(\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_{-i})$ مجموع تداخل ایجاد شده توسط کاربر i ام روی بقیه کاربران بعلاوه تداخل ایجاد شده بقیه کاربران روی کاربر i ام را نشان می‌دهد. $-P(\cdot)$ ، یک تابع سود مناسب و معرفی شده از جانب طراح شبکه است که کاربران آن شبکه موظف به انتخاب استراتژی خود بر این اساس هستند. کاربرانی که برخورد همکارانه داشته باشند، این تابع را به عنوان تابع سود خود

ایجاد محیطی که در آن کاربران توانایی برقراری ارتباط به صورت اقتضایی^{۱۴} را با یکدیگر داشته باشند.

در شبکه مورد بررسی، توان ارسالی کاربران بین دو مقدار مینیمم و ماکزیمم محدود می‌شود. همچنین، شبکه دارای تعدادی کانال برای ارسال داده و یک کانال کنترلی مشترک است. از طریق کانال کنترلی کاربران می‌توانند بسته‌های سیگنالینگ خود را ارسال و دیگر کاربران را از موقعیت و شرایط خود باخبر کنند. این کار در شبکه‌های بدون مدیریت مرکزی، برای استفاده بهینه از منابع شبکه و برقراری اتصال مناسب بین کاربران لازم است. کسب اطلاعات کلیه کاربران، همچنین، می‌تواند موجب امکان پذیر شدن مدیریت شبکه از جانب ناظر گردد؛ از جمله برای ارائه شیوه قیمت‌گذاری بهینه، اغلب به اطلاعات جامعی از تمامی کاربران شبکه نیاز است. البته، جمع آوری کلیه اطلاعات کاربران یک شبکه که با یک الگوریتم توزیع شده اداره می‌گردد، دشوار بوده، به پیچیدگی و در نتیجه افزایش هزینه مدیریت شبکه می‌افزاید. این توضیح ضروری است که توزیع شده بودن الگوریتم صرفاً به معنای این است که یک مرکز کنترل و تصمیم‌گیری متمرکز وجود ندارد و به هیچ وجه به معنای بی‌قاعده بودن شبکه نیست، بلکه باید مکانیسمی برای مدیریت شبکه وجود داشته باشد که در غالب پروتکل MAC شبکه پیاده‌سازی می‌گردد. الگوریتم‌های ارائه شده در [۵] و [۶] و قیمت‌گذاری‌های ارائه شده در [۸] و [۱۰] با داشتن اطلاعات محدود محلی از کاربران، که از طریق سیگنالینگ در کانال کنترلی قابل دسترسی است، شبکه را به سمت تعادل‌های بهینه یا نزدیک به بهینه می‌برد. الگوریتم ارائه شده در این مقاله نیز قابلیت پیاده‌سازی به صورت توزیع شده را داراست و تنها به اطلاعات محلی کاربران نیاز دارد که از طریق کانال کنترلی قابل دریافت هستند.

۴- مدل سازی با استفاده از نظریه بازی

فعل و انفعالات میان کاربران شبکه برای انتخاب کانال و توان ارسالی را به صورت دوبازی غیر همکارانه به شکل $G_1 = (N, \mathcal{S}, \{u_i\})$ و $G_2 = (N, \mathcal{S}, \{v_i\})$ تعریف می‌کنیم که در آنها $N = \{1, 2, \dots, K\}$ مجموعه محدودی متشکل از

است. پس از رسیدن به تعادل نش، هیچ کاربری استراتژی خود را تغییر نمی‌دهد. به همین علت، برای مقایسه دو شبکه به مقایسه تعادل‌های نش آنها خواهیم پرداخت. برای این منظور، نخستین گام اطمینان حاصل کردن از همگرایی دو بازی مورد نظر به تعادل نش است. بدیهی است بازی‌ای که به تعادل نش همگرا نشود و دائماً در حال تغییر باشد، اطلاعات معناداری برای مقایسه به دست نمی‌دهد. بازی پتانسیلی دسته‌ای از بازی‌هاست که در اکثر انواع آن همگرایی بازی تضمین شده است [۱۳].

۴-۱- بازی پتانسیلی

یکی از مهمترین چالش‌ها در شبکه رادیوهای شناختگر، ایجاد خصوصیت انطباق پذیری در شبکه‌های شناختگر است. همگرایی شبکه شناختگر به یک نقطه تعادل می‌تواند فراهم آورنده این خصوصیت باشد. شبکه‌ای که به سرعت قابلیت رسیدن به یک تعادل را داراست، می‌تواند خود را به خوبی با تغییراتی که رخ می‌دهد، وفق دهد [۱۴]. بعلاوه، وجود تعادل نش به طراح بازی اجازه پیش بینی حالات بازی و اعمال شیوه‌های بهینه‌سازی برای ارتقای سطح نقاط تعادل را خواهد داد.

بازی‌های پتانسیلی از جمله بازی‌هایی هستند که وجود تعادل نش برای آنها ثابت می‌شود. اگر در یک بازی پتانسیلی کامل یا معمولی با بازیکنان منطقی، در هر مرحله از بازی تنها یک بازیکن اجازه تغییر استراتژی خود را داشته باشد، همگرایی به تعادل نش قطعی است [۱۳]. از مفهوم بازی پتانسیلی در حیطه شبکه‌های شناختگر استفاده فراوانی شده است [۶]. دو نوع مهم بازی‌های پتانسیلی عبارتند از: بازی پتانسیلی کامل^{۱۸} و بازی پتانسیلی معمولی^{۱۹}. بازی اگر تابع $v: S \rightarrow \mathbb{R}$ وجود داشته باشد، به طوری که شرط زیر را برآورده کند:

$$\forall i \in N, \forall s_i \in S_i: u_i(s_i, s_{-i}) - u_i(s_i', s_{-i}) = v(s_i, s_{-i}) - v(s_i', s_{-i}) \quad (4)$$

همچنین PG یک بازی پتانسیلی معمولی خوانده می‌شود؛ اگر

پذیرفته، بر همین اساس بازی می‌کنند. شبکه‌ای که همه کاربران آن از تابع سود $P(\cdot)$ استفاده کنند، در [۵] بررسی شده است. نشان داده شده است که در این حالت بازی حاکم بر شبکه پتانسیلی شده، همگرایی سریع به تعادل نش اتفاق می‌افتد؛ ضمناً در تعادل‌های بررسی شده میزان SIR کاربران شبکه بهبود یافته است. به عبارت دیگر $-P(\cdot)$ یک تابع سود مناسب است که در صورت همکاری کاربران، به نتایج بسیار مناسبی منجر می‌شود.

در یک محیط غیرهمکارانه تعدادی از کاربران به علت ترجیحات شخصی، استراتژی خود را بر اساس توابع سود متفاوت انتخاب می‌کنند. این بازیکنان را اصطلاحاً بازیکنان خودخواه می‌نامیم. تابع $SIR(\cdot): S \rightarrow \mathbb{R}$ را که در رابطه (۳) تعریف شده است، می‌توان به عنوان مثالی از تابع سود کاربران خودخواه شبکه در نظر گرفت.

$$SIR_i = \frac{P_i g_i}{\sum_{k=1}^N P_k g_k} \quad (3)$$

صورت کسر در این تابع، خودخواهانه بودن انتخاب استراتژی این کاربران را نشان می‌دهد. در حقیقت، کاربری که $SIR(\cdot)$ را به عنوان تابع سود خود انتخاب می‌کند انتخاب بیشترین توان ارسالی را مناسب می‌بیند؛ اگر چه این امر موجب ایجاد تداخل بیشتر روی دیگر کاربران باشد. فرض کنیم در بازی $G_1 = (N, S, \{u_i\})$ کاربرانی که رویکرد همکارانه دارند، از $u_i(\cdot) = -P(\cdot)$ و کاربران خودخواه از توابع سود شخصی خود استفاده کنند. شبکه مربوط به بازی G_1 را Net-1 می‌نامیم. روشن است که در Net-1 مزایای ذکر شده قبلی وجود نخواهد داشت. یک راه کنترل کیفیت در چنین شبکه‌هایی قیمت‌گذاری است [۸]. با اضافه کردن قیمت‌گذاری مشخصی به Net-1 مدل دیگری را در نظر می‌گیریم و آن را Net-2 می‌نامیم. بازی حاکم بر این شبکه را نشان می‌دهد که در آن کاربران برای انتخاب توابع سود آزادند. در این حالت از جانب ناظر شبکه اجباری در انتخاب تابع سود اعمال نمی‌شود، بلکه از تابع $P(\cdot)$ (که در Net-1 به عنوان تابع سود مطلوب فرض شده بود) با ضریب مناسب به عنوان تابع قیمت‌گذاری استفاده می‌شود.

اساسی‌ترین مفهومی از نظریه بازی که از آن برای تحلیل بازی‌های غیرهمکارانه استفاده می‌شود، تعادل نش^{۱۷}

ایجاد بازی پتانسیلی با استفاده از قیمت گذاری به منظور مدیریت بهینه منابع در شبکه‌های رادیویی شناختگر غیرهمکارانه

که $u_{p_i}(\cdot)$ تابع شخصی سود هر کاربر است؛ در حالتی که کاربر به صورت همکارانه بازی کند $u_{p_i}(\cdot) = 0$ و در غیر این صورت برابر تابع سود شخصی آن کاربر است. قیمت گذاری بدین شکل موجب می‌شود هر کاربر ایجاد تداخل کمتر با دیگر کاربران را به طور غیر مستقیم در ملاحظات خود قرار دهد و در نتیجه، نوعی همکاری بین کاربران القا می‌گردد. می‌توان نشان داد بازی حاکم بر Net-2 یک بازی پتانسیلی معمولی بوده و بنابراین همگرا می‌شود (ضمیمه ۱). بعلاوه شبیه سازی‌ها نشان می‌دهد نقاط تعادل شبکه نیز به نقاط بهینه نزدیک است.

۴-۳- دسترسی به منابع شبکه

الگوریتم دسترسی کاربران به منابع شبکه باید استفاده کارآمد از منابع شبکه و رسیدن به همگرایی را تضمین کند. بدین منظور، مشابه با [۵]، یک کانال کنترلی مشترک میان تمام کاربران در نظر گرفته شده که به آنها اجازه دسترسی به اطلاعاتی از قبیل توان ارسالی و شماره کانال یا کانال‌هایی را که دیگر کاربران در آن به ارسال اطلاعات مشغولند، می‌دهد. وجود اطلاعات کانال کنترلی به یک رادیوی شناختگر اجازه می‌دهد تا بتواند تابع $P(\cdot)$ را در هر حالت از شبکه محاسبه کند.

دسترسی کاربران به منابع شبکه نیز به صورت چند مرحله ای فرض می‌شود؛ بدین معنا که پس از اجرای هر گام از بازی، در صورتی که کاربران شبکه هنوز سودی در تغییر استراتژی خود داشته باشند، بازی ادامه خواهد یافت تا زمانی که به بازی به تعادل برسد. کاربران در مدل پیشنهادی ملزم به انتخاب استراتژی نهایی خود در یک مرحله نیستند و تا زمانی که امکان سود بیشتر وجود دارد، اجازه تغییر استراتژی دارند. نشان داده شده است که تعادل نش در بازی‌های تک مرحله‌ای در مقایسه با بازی چند مرحله ای با توجه به معیارهای مختلف، از بهینگی کمتری برخوردار است [۱۷].

در یک بازی پتانسیلی معمولی، در صورتی که بازیکنان منطقی بوده و در هر مرحله از بازی تنها یک بازیکن اجازه تغییر استراتژی خود را داشته باشد، یک مسیر متناهی

$$\forall i \in N, \forall s \in S_i \\ \text{sign}[u_i(s_i^*, s_{-i}) - u_i(s_i, s_{-i})] = \\ \text{sign}[v(s_i^*, s_{-i}) - v(s_i, s_{-i})] \quad (5)$$

اصطلاحاً تابع $u_i(\cdot)$ تابع پتانسیل بازی خوانده شود. در یک بازی پتانسیلی، هر بازیکن قابلیت تغییر مقدار تابع پتانسیل شبکه را دارد. به علاوه باید دقت کرد که تابع پتانسیل شبکه الزاماً تابع سود جمعی بازیکنان یک بازی را نمایش نمی‌دهد، بلکه اندازه پیشرفت بازی به سمت تعادل نش را آشکار می‌سازد [۱۳].

نشان داده شده است که بازی‌های تخصیص توان در شبکه از طریق تابع سود $SIR(\cdot)$ حداقل یک بازی پتانسیلی معمولی خواهند بود [۱۴] و [۱۵]. همچنین، در [۵] نشان داده شده است که بازی کاهش تداخل جمعی بر مبنای تابع سود $-P(\cdot)$ یک بازی پتانسیلی کامل است. در این بازی تابع پتانسیل به شکل زیر به دست آمده است.

$$v(s) = -0.5 \sum_{i=1}^K P(s_i, s_{-i}) \quad (6)$$

این نکته قابل توجه است که بازی ای که در آن کاربران ترکیبی از دو تابع سود $-P(\cdot)$ و $SIR(\cdot)$ را استفاده می‌کنند (همانند G_2) الزاماً حتی پتانسیلی معمولی هم نیست [۱۴].

۴-۲- قیمت گذاری

وجود کاربران خودخواه در یک شبکه غیرهمکارانه بازدهی شبکه را کاهش خواهد داد؛ مگر اینکه کاربران به نحوی محدود و یا مجبور به همکاری شوند. از قیمت گذاری می‌توان به عنوان یک اهرم برای ترغیب بازیکنان به همکاری و تضمین رسیدن به تعادل و ارتقای بهینگی نقطه تعادل شبکه استفاده کرد [۸] و [۱۰]. شبکه‌های Net-1 و Net-2 شبکه‌های غیرهمکارانه هستند. در Net-2 از تابع $\alpha P(\cdot)$ به عنوان تابع قیمت گذاری استفاده می‌شود (α یک ضریب ثابت بزرگتر از صفر است). بدین ترتیب، تابع $u_{p_i}(\cdot)$ به عنوان تابع سود بازیکن i ام در G_2 به شکل زیر خواهد بود.

$$u_{p_i}(s_i, s_{-i}) = -\alpha P(s_i, s_{-i}) + u_{p_i}(s_i, s_{-i}) \quad (7)$$

خواهد بود. در چنین وضعیتی، این سؤال پیش خواهد آمد که کدام یک از این تعادل‌ها نسبت به بقیه برتری دارد و یا از رخ دادن کدام یک از تعادل‌ها باید به نحوی اجتناب نمود. معیارهای مختلفی برای بررسی بهینگی نقطه تعادل موجود است. در شبکه های رادیویی شناختگر معیارهایی چون ظرفیت شبکه [۶]، نسبت سیگنال به تداخل کاربران شبکه [۵]، نرخ مجموع شبکه در نقطه تعادل [۸-۹] و سرعت همگرایی شبکه [۵] و [۶] و [۸] برای بررسی کارآمد بودن شبکه مورد توجه قرار گرفته اند. برخی دیگر از این معیارها را نظریه بازی در اختیار ما قرار می دهد؛ از جمله می توان به مجموع توابع سود بازیکنان یک بازی [۱۰]، مجموع وزن دار توابع سود بازیکنان [۸] و بهینگی پرتو [۵] و [۸] و [۱۰] اشاره کرد.

تعریف بهینگی پرتو

$S \rightarrow \mathbb{R}$ را تابع سود بازیکن i ام $(i \in N = \{1, 2, \dots, K\})$ و مجموعه $S^* \subseteq S$ را به عنوان مجموعه نقاط تعادل نش یک بازی در نظر بگیرید. تعادل $s^* \in S^*$ یک تعادل بهینه پرتو نامیده می شود؛ اگر نتوان تعادل دیگری مثل s را یافت به طوری که $\forall i \in N: u_i(s) > u_i(s^*)$ به عبارت دیگر تعادل بهینه پرتو آن تعادلی است که در بازی، تعادلی دیگر وجود نداشته باشد که در آن همه بازیکنان بازی سود بیشتری کسب کنند. مرز بهینگی پرتو در تعادل های یک بازی عبارت است از مجموعه تمام $s^* \in S^*$ که تعادل بهینه پرتو هستند.

در بازی هایی که تعدادی تعادل بهینه پرتو وجود دارد و تعدادی دیگر از تعادل های نش بازی بهینه پرتو نیستند، طراح بازی تلاش خواهد کرد با استفاده از ابزارهایی؛ از جمله قیمت گذاری، بازی های تکراری و ... هر چه بیشتر بازی را به سمت تعادل های بهینه پرتو سوق دهد. قرار داشتن تعادل های یک بازی در مرز بهینگی پرتو، نشان دهنده کارآمد بودن قواعد حاکم بر بازی است.

۵- نتایج شبیه سازی

۵-۱- ارزیابی اثر قیمت گذاری بر کیفیت

در این قسمت رفتار دو شبکه Net-1 و Net-2 با

پیشرفت^{۲۰} وجود دارد [۱۸]. در حقیقت، طبق روابط (۴) و (۵) تغییر استراتژی بیش از یک بازیکن در یک گام بازی ممکن است موجب افت تابع پتانسیل و در نتیجه دور شدن از همگرایی گردد. بنابراین، لازم است در هر گام بازی تنها یک کاربر اجازه تغییر استراتژی خود را داشته باشد. دو نوع الگوریتم دسترسی قطعی و تصادفی به کانال کنترلی در [۵] و [۶] استفاده شده است. در روش راند-رابین^{۲۱} با ایجاد یک صف دایروی، در هر مرحله تنها یک کاربر اجازه تغییر استراتژی خود را پیدا می کند. این روش قطعی بوده و فقط در حالتی که مدیریت متمرکز در شبکه موجود باشد، قابل پیاده سازی است. در روش دیگر هر کاربر شبکه با انجام یک آزمایش برنولی با احتمال $\frac{1}{K}$ اجازه تغییر استراتژی خود را خواهد یافت (K تعداد کاربران شبکه است). این شیوه که غیر همزمان^{۲۲} نامیده شده است، برای مدیریت توزیع شده مناسبتر است [۶]. به کارگیری این شیوه اگر چه به نسبت روش راند-رابین همگرایی شبکه را کند می کند، ولی احتمال تغییر استراتژی چند کاربر به طور همزمان را به طور قابل توجهی کاهش می دهد.

۴-۴- پروتکل MAC

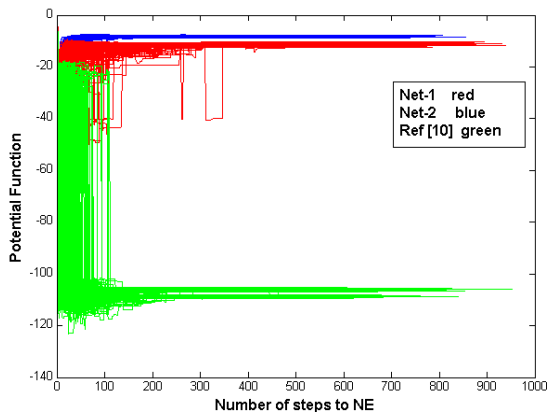
پروتکل مورد استفاده MAC همان پروتکل ارائه شده در [۵] است. برای مدیریت شبکه، جدول حالتی شامل اطلاعات توان و کانال انتخابی هر زوج فرستنده-گیرنده و بهره های کانال تشکیل می شود که همه کاربران از طریق کانال کنترلی به این جدول دسترسی دارند. هر فرستنده، با انجام آزمایش برنولی و در صورت موفق بودن آزمایش با استفاده از این جدول، به محاسبه تابع سود خود به ازای تمامی استراتژی های ممکن پرداخته، بهترین استراتژی را انتخاب می کند. پس از انتخاب استراتژی، جدول مربوط توسط کاربر برنده به روز می شود. برنده شدن در آزمایش برنولی و تغییر در جدول حالت از طریق سیگنالینگ مناسب به اطلاع سایر کاربران خواهد رسید.

۴-۵- بهینگی پرتو

در بازی هایی که تعداد بازیکنان آنها زیاد بوده، دامنه انتخاب آنها در استراتژی وسیع است، تعداد نقاط تعادل زیاد

ایجاد بازی پتانسیلی با استفاده از قیمت گذاری به منظور مدیریت بهینه منابع در شبکه‌های رادیویی شناختگر غیرهمکارانه

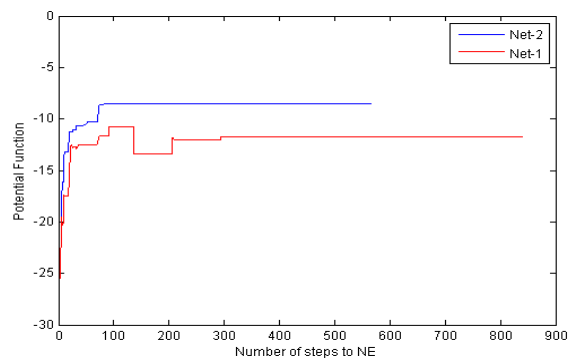
کاربران شبکه است. در یک بازی پتانسیلی، اندازه تابع پتانسیل به طور مداوم افزایش می‌یابد. بر همین اساس، شکل (۱) نه تنها پتانسیلی نبودن G_1 را نشان می‌دهد، بلکه نمایانگر بهبود مجموع تداخل کاربران در Net-2 نیز هست. شکل (۲) رفتار دو شبکه Net-1 و Net-2 را در ۲۰۰ مرتبه شبیه سازی که در آنها ترتیب برندگان آزمایش‌های برنولی، به طور تصادفی تغییر می‌کنند، نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نوسان‌های Net-1 در مقایسه با Net-2 قبل از همگرایی و در حالت گذرا بسیار زیاد بوده و بعلاوه دیده می‌شود که اندازه تابع پتانسیل Net-2 در اکثر نقاط بیشتر از Net-1 است و همگرایی نیز در Net-2 سریعتر رخ می‌دهد. برای مقایسه تاثیر تابع قیمت گذاری، روش قیمت گذاری معرفی شده در [۱۰] نیز استفاده شده و نتایج به طور همزمان در شکل (۲) نشان داده شده است. از مقایسه نتایج مربوط می‌توان به این نکته اشاره نمود که هر چند به طور کلی قیمت گذاری ابزاری برای کنترل رفتار کاربران است، ولی این بدان معنی نیست که هرگونه قیمت گذاری عملکرد مناسبی داشته باشد. نتایج به دست آمده نمایانگر کارآمد بودن روش قیمت گذاری پیشنهادی است.



شکل (۲): بررسی همگرایی و مجموع تداخل شبکه در ۲۰۰ مرحله با تغییر تصادفی ترتیب کاربران پیروز شده در آزمایش برنولی

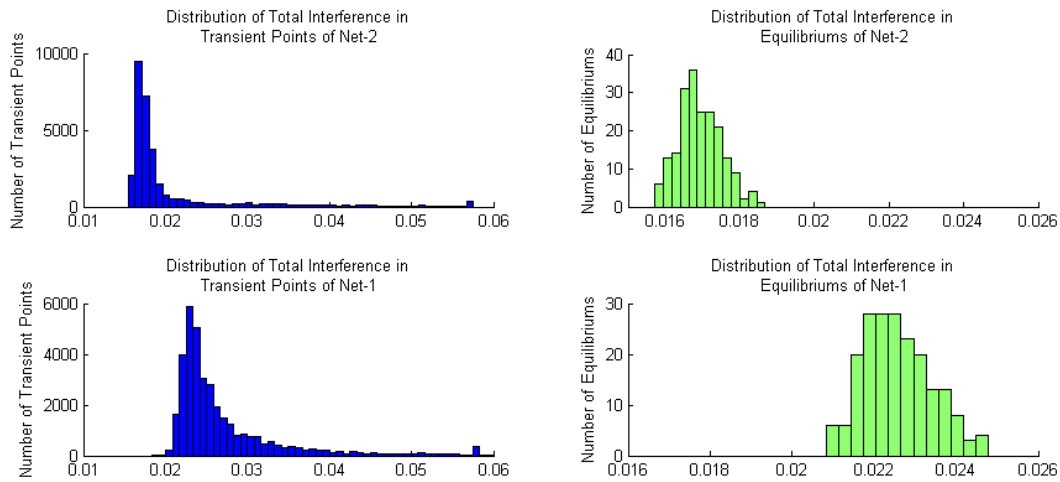
استفاده از شبیه سازی رایانه‌ای بررسی می‌شود. به علت وجود کاربران خودخواه، Net-1 در بعضی حالات اصلاً همگرا نمی‌شود. برای امکان پذیر شدن مقایسه، حالاتی از Net-1 در نظر گرفته شده‌اند که در آنها همگرایی رخ داده است. تعداد کاربران با رفتار غیرهمکارانه در هر دو بازی G_1 و G_2 یکسان و برابر ۵۰ درصد کل کاربران در نظر گرفته شده است. در G_2 تابع $SIR(\cdot)$ را به عنوان تابع سود کاربران خودخواه در نظر گرفته‌ایم تا نمایانگر رفتار غیرهمکارانه آنها در بازی باشد. ساختار شبکه در بخش ۳ توضیح داده شد. در شبیه سازی $d = 400m$ ، $M = 4$ و $K = 30$ فرض شده است. مقدار d_{max} نیز برابر 50m در نظر گرفته شده است. S_{max} و S_{min} به ترتیب مقادیر 1 و 2 هستند. برای تعیین نوبت تغییر استراتژی، کاربران از آزمایش برنولی مشابه آنچه در بخش ۴-۳ گفته شد استفاده می‌کنند.

شکل (۱) نتیجه شبیه سازی Net-1 و Net-2 را در شرایط کاملاً یکسان نمایش می‌دهد. هر منحنی در این شکل قرینه مجموع تداخل کل کاربران شبکه یا همان مقدار ذکر شده در رابطه (۶) را در طی گام‌های بازی‌های G_1 و G_2 نشان می‌دهد. در ضمیمه ۱ نشان داده شده که این تابع، با لحاظ ضریب مناسب، تابع پتانسیل بازی G_2 نیز هست.



شکل (۱): روند تغییر تابع پتانسیل در Net-1 و Net-2

همان طور که از رابطه (۶) مشخص است، اندازه تابع پتانسیل بازی در هر گام متناسب با قرینه مجموع تداخل کل



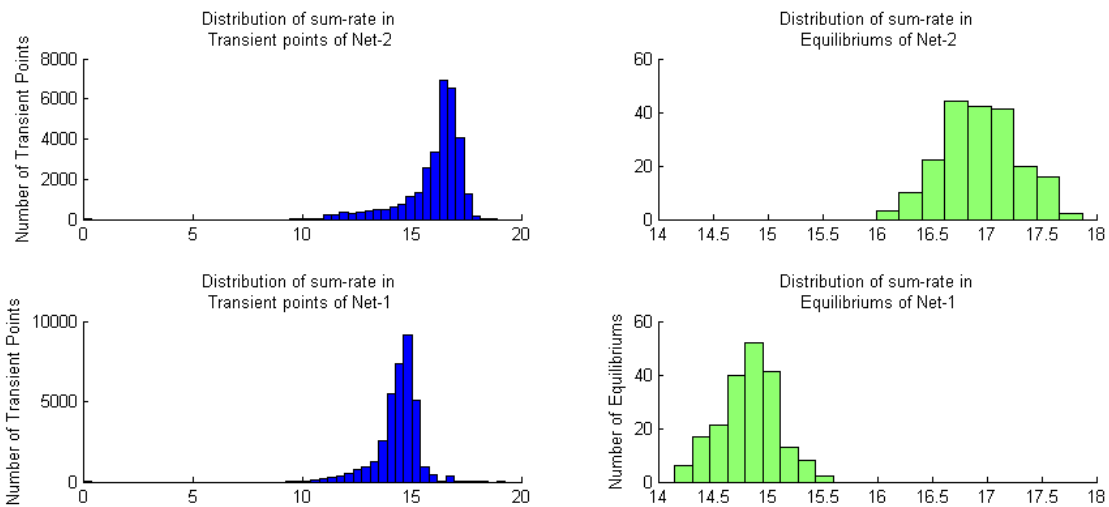
شکل (۳): مقایسه نمودارهای توزیع مجموع تداخل کاربران دو شبکه Net-2 و Net-1 در حالات گذرا و ماندگار در ۲۰۰ مرحله شبیه سازی با تغییر ترتیب تصمیم گیری کاربران

تداخل کاربران در دو شبکه، در حالات گذرا و در نقاط تعادل.

شکل (۴) توزیع متغیر نرخ مجموع را در همان چهار حالت بررسی شده در شکل (۳) نمایش می‌دهد. نرخ مجموع توسط رابطه (۸) تعریف می‌شود و به عنوان میزانی برای بازدهی یک شبکه به کار می‌رود [۱۳].

$$\text{Sum - Rate} = \sum_{i=1}^K \log_2 \left(\frac{P_i G_{ii}}{\sum_{k=1}^N P_k G_{ki}} \right) \quad (8)$$

در حالت‌هایی که تغییرات در توپولوژی شبکه یا تغییر تعداد کاربران فعال آن با فرکانس زیاد رخ دهد، عملکرد ضعیف Net-1 در حالات گذرا و همگرایی کم‌سرعت آن بیشتر نمایان می‌شود. در چنین حالتی، کاربران زمان قابل توجهی را در حالات گذرا سپری می‌کنند و بر همین اساس، اهمیت عملکرد شبکه در حالات گذرا چندین برابر خواهد شد. نمودارهای شکل (۳) برای بیان بهتر اطلاعات موجود در شکل (۲) آورده شده‌اند. در شکل (۳) توزیع مجموع تداخل کاربران شبکه در هر گام در چهار حالت به نمایش در آمده است. این چهار حالت عبارتند از: توزیع مجموع



شکل (۴): مقایسه نمودارهای نرخ مجموع کاربران دو شبکه در حالات گذرا و تعادل در ۲۰۰ مرحله شبیه سازی با تغییر ترتیب تصمیم گیری کاربران

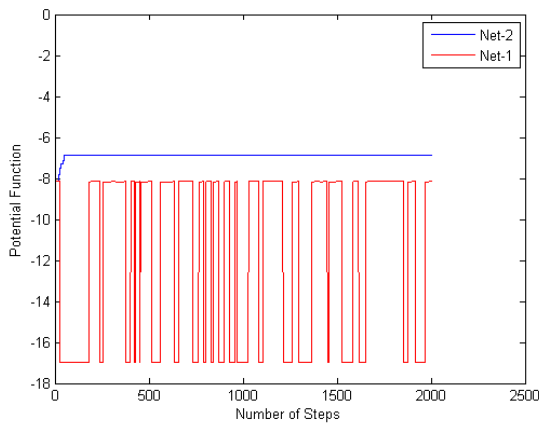
ایجاد بازی پتانسیلی با استفاده از قیمت گذاری به منظور مدیریت بهینه منابع در شبکه های رادیویی شناختگر غیرهمکارانه

جدول (۱): بررسی پارامترهای تمرکز و پراکندگی توزیع مجموع تداخل و نرخ مجموع کاربران شبکه در حالات گذرا و تعادل در ۲۰۰

مرحله شبیه سازی با تغییر ترتیب تصمیم گیری کاربران

		Net-2		Net-1	
		Transient Points	Equilibrium Points	Transient Points	Equilibrium Points
Total Interference	Mean	0.0208	0.0169	0.0271	0.0226
	Median	0.0176	0.0169	0.0245	0.0225
	Mode	0.0172	0.0168	0.0233	0.0221
	Range	0.0421	0.0030	0.0416	0.0040
	Variance	7×10^{-5}	3×10^{-7}	5×10^{-5}	6×10^{-7}
Sum-Rate	Mean	16.04	16.43	14.35	14.82
	Median	16.44	16.44	14.53	14.85
	Mode	16.64	16.83	15.03	14.96
	Range	9.13	1.88	9.65	1.44
	Variance	1.77	0.1214	0.88	0.07

اساس مشاهده می گردد که Net-2 نسبت به Net-1 در حالات گذرا و نقاط تعادل به طور میانگین حدود ۲۰٪ مجموع تداخل کمتری دارد؛ ضمن اینکه پراکندگی توزیع مجموع تداخل هم در Net-2 به نسبت Net-1 کمتر و مناسبتر است. به همین ترتیب، مشاهده می شود که Net-2 با معیار نرخ مجموع هم در حدود ۱۰-۷٪ عملکرد مناسبتری نسبت به Net-1 از خود نشان می دهد.



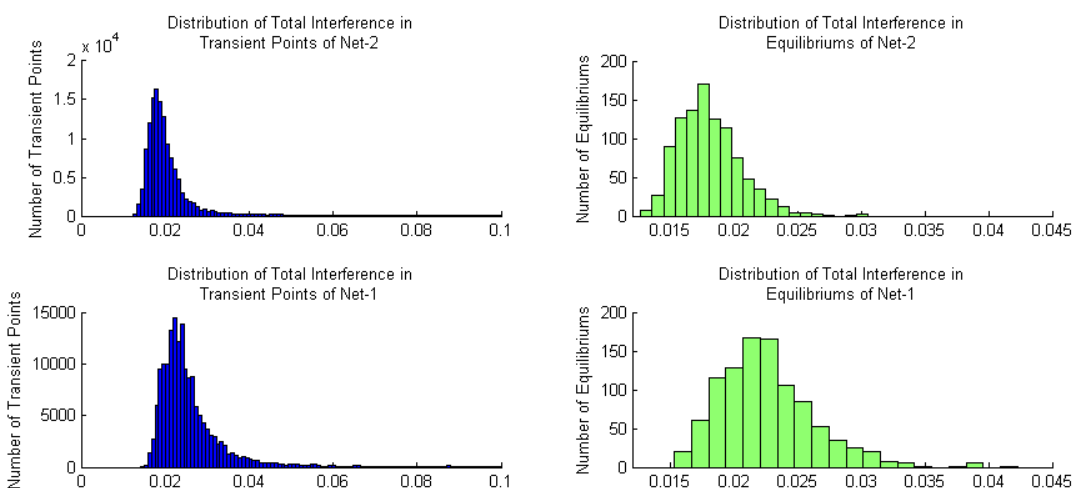
شکل (۵): تغییرات تابع پتانسیل در دو شبکه Net-1 و Net-2

2 و نمایش عدم پایداری Net-2

جدول (۱) نیز به توضیح عددی این شکل ها کمک می کند. با توجه به شکل ۳ و جدول ۱ می توان دید که Net-2 به طور میانگین چه در نقاط تعادل و چه در نقاط گذرا به لحاظ پارامتر مجموع تداخل عملکردی حدود ۳۰-۲۵٪ بهتر از Net-1 دارد. همچنین، با در نظر گرفتن نرخ مجموع به عنوان معیار بهینگی، Net-2 به طور میانگین چه در نقاط تعادل و چه در نقاط گذرای شبکه حدوداً ۱۳٪ عملکرد مناسبتری نسبت به Net-1 دارد؛ اگر چه واریانس این متغیر که به نوعی نمایانگر میزان پراکندگی در حالات مختلف مقایسه شده این متغیر در شبکه است، در Net-2 بیشتر از Net-1 است.

برای بررسی پایداری شبکه های Net-1 و Net-2 نسبت به تغییر مکان کاربران، این دو شبکه را در 1000 توپولوژی مختلف شبیه سازی کردیم. شبیه سازی ها نشان می دهند که از هر 1000 توپولوژی Net-1 در ۱ تا ۳ حالت از توپولوژی ها ناپایدار شده، به نقطه تعادل نمی رسد. عملکرد Net-2 و Net-1 در یکی از این توپولوژی ها را در شکل (۵) نمایش داده ایم.

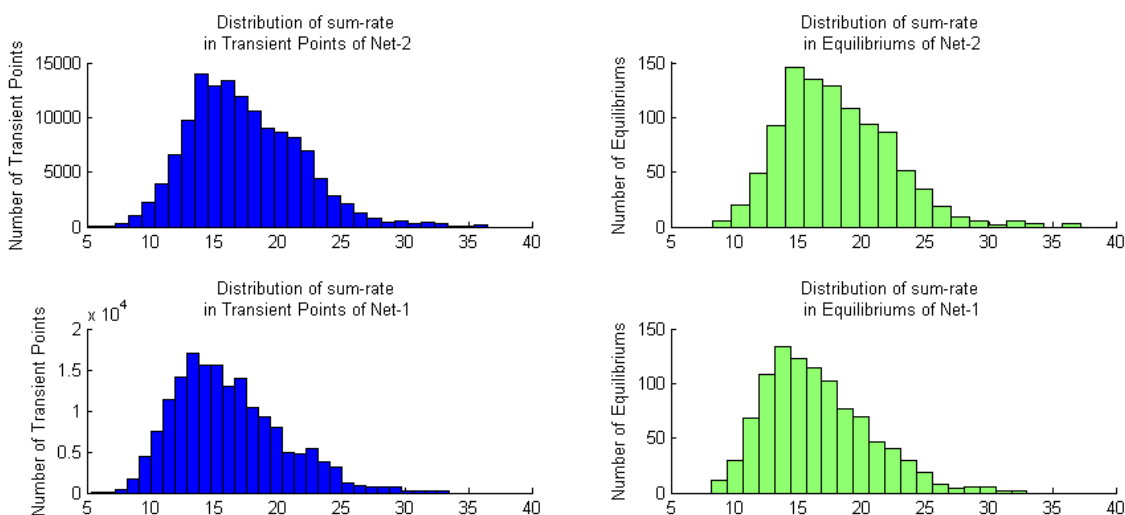
شکل های (۶ و ۷) هم همانند شکل های (۳ و ۴) توزیع دو متغیر مجموع تداخل و نرخ مجموع را در چهار حالت مختلف مقایسه می کنند. جدول (۲) نیز برای ارائه اطلاعات عددی دقیق در شکل (۶ و ۷) فراهم شده است. براین



شکل (۶): مقایسه نمودارهای توزیع مجموع تداخل کاربران دو شبکه Net-1 و Net-2 در حالات گذرا و ماندگار در ۱۰۰۰ مرحله شبیه سازی با تغییر توپولوژی جغرافیایی شبکه

Net-2 را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که با افزایش میزان همکاری کاربران، میزان عدالت حاکم بر شبکه افزایش می‌یابد؛ اگرچه در بازه ۲۵٪-۷۵٪ همکاری، میزان واریانس SIR کاربران شبکه، تا حد زیادی کنترل شده است که نشان دهنده کارآمد بودن قیمت‌گذاری حاکم بر شبکه به منظور القای همکاری بین کاربران است.

مقایسه عملکرد شبکه برای بررسی اثر تعداد کاربران با عملکرد خودخواهانه نیز لازم به نظر می‌رسد. پارامتری که برای مقایسه مناسب انتخاب شده واریانس SIR است که می‌تواند به عنوان معیاری برای بررسی عدالت^{۳۳} حاکم بر شبکه مطرح گردد. مشابه این کار در [۵] هم انجام شده است. شکل (۸) تاثیر درصد کاربران همکاری کننده (نسبت به کل کاربران) بر میزان واریانس SIR کاربران مختلف در



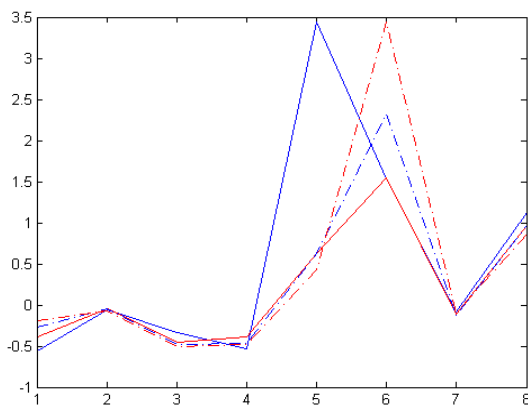
شکل (۷): مقایسه نمودارهای توزیع نرخ مجموع کاربران دو شبکه Net-1 و Net-2 در حالات گذرا و ماندگار در ۱۰۰۰ مرحله شبیه سازی با تغییر توپولوژی جغرافیایی شبکه

ایجاد بازی پتانسیلی با استفاده از قیمت گذاری به منظور مدیریت بهینه منابع در شبکه‌های رادیویی شناختگر غیرهمکارانه

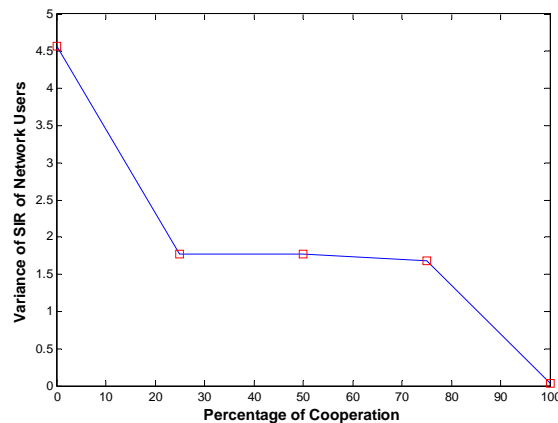
جدول (۲): بررسی پارامترهای تمرکز و پراکندگی توزیع مجموع تداخل و نرخ مجموع کاربران شبکه در حالات گذرا و تعادل در

۱۰۰۰ مرحله شبیه سازی با تغییر ترتیب تصمیم گیری کاربران

		Net-2		Net-1	
		Transient Points	Equilibrium Points	Transient Points	Equilibrium Points
Total Interference	Mean	0.0204	0.0180	0.0264	0.0226
	Median	0.0140	0.0177	0.0240	0.0221
	Mode	0.0184	0.0175	0.0227	0.0220
	Range	0.087	0.0179	0.0859	0.0270
	Variance	6×10^{-5}	6×10^{-6}	9×10^{-5}	1.4×10^{-5}
Sum-Rate	Mean	17.39	18.05	16.17	16.53
	Median	16.81	17.38	15.53	15.87
	Mode	14.53	15.5	13.38	14.39
	Range	31.38	28.92	28.08	24.84
	Variance	19.33	18.87	18.87	17.45



شکل (۹): مقایسه تابع سود ۸ کاربر شبکه در ۴ تعادل



شکل (۸): تاثیر درصد کاربران همکاری کننده بر واریانس

SIR کاربران در Net-2

۵-۲- ارزیابی بهینگی

بررسی وجود بهینگی پرتو در این مقاله به وسیله شبیه سازی انجام گرفته است. شبیه سازی Net-2 با ۸ عدد کاربر (۸ جفت گیرنده و فرستنده) که اجازه استفاده از سه کانال برای ایجاد ارتباط خود داشتند، نشان می‌دهد که بعد از ۱۰۰۰ بار اجرای شبکه در یک توپولوژی خاص، شبکه به چهار تعادل نش همگرا می‌شود. تابع سود کاربران شبکه در این نقاط تعادل در شکل ۸ در کنار هم قرار گرفته و مقایسه شده‌اند. همان‌گونه که دیده می‌شود، منحنی تابع سود مربوط به هیچ یک از تعادل‌ها همواره زیر دیگری قرار ندارد. به عبارت دیگر، این نقاط تعادل همه در مرز بهینگی پرتو قرار دارند. این موضوع بهینه بودن شیوه پیشنهاد شده مدیریت یک شبکه شناختگر با مشخصات مورد نظر را نشان می‌دهد.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، یک شیوه جدید قیمت گذاری در شبکه‌های رادیویی شناختگر با الگوریتم دسترسی توزیع یافته ارائه شد. شیوه مطرح شده همگرایی سریع شبکه به تعادل نش را تضمین می‌کند، شیوه قیمت گذاری، رفتار کاربران این شبکه را کنترل می‌کند. چنین امری موجب بهبود قابل توجه بازدهی شبکه در تقاطع تعادل شده و استفاده کارآمدتری از منابع شبکه را به همراه خواهد داشت. نتایج شبیه سازی‌های انجام شده نشان می‌دهد که مجموع تداخل شبکه به خوبی کنترل شده و نرخ مجموع افزایش می‌یابد. همچنین، نقاط تعادل شبکه پیشنهادی، با توجه به معیار بهینگی پرتو، بهینه خواهند بود.

تقدیر و تشکر

در نتیجه، بازی G^1 به همراه قیمت‌گذاری پیشنهادی، یک بازی پتانسیلی معمولی خواهد بود.

مؤلفان بر خود لازم می‌بینند از همکاری آقای مهندس سید ایمان موسوی در طول آماده‌سازی مقاله صمیمانه تشکر نمایند.

مراجع

- [1] J. Yang, "Spatial Channel Characterization for Cognitive Radios," MS, EECS Department, University of California, Berkeley, January 2005.
- [2] J. Mitola "Cognitive Radio, Model-based Competence for Software Radios," Licentiate Thesis (Stockholm: KTH) September 1999.
- [3] A. Attar, O. Holland, M.R. Nakhai, "Interference-Limited Resource Allocation for Cognitive Radio in Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Networks", IET, Communications, Vol.2, Issue.6, pp.806-814, Jul 2008.
- [4] W. Lehr, J. Crowcroft, "Managing Shared Access to a Spectrum Commons", 2005 New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005 1st Symp.
- [5] N. Nie, C. Comaniciu, "Adaptive channel allocation spectrum etiquette for cognitive radio networks", Mobile Networks and Applications, pp. 779-797, 2006.
- [6] M. Canales, J.R. Gallego, "Potential Game for joint Channel and Power Allocation in Cognitive Radio Networks", IET Electronics Letters, Vol.46, Issue.24, pp.1632-1634, 2010
- [7] J. Mwangoka, K. Letaief, Z. Cao, "Joint power control and spectrum allocation for cognitive radio networks via pricing", Physical Communication Vol.2, Issue 2, pp.103-115, 2009.
- [8] F. Wang, M. Krunz, S. Cui, "Price-Based Spectrum Management in Cognitive Radio Networks", IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, Vol.2, Issue.1, pp.74-87, Feb 2008
- [9] B. Kollimarala, Q. Cheng, "Adaptive Pricing for Efficient Spectrum Sharing in MIMO Systems", 2010 IEEE 71st Conference on Vehicular Technology (VTC 2010-Spring),.
- [10] C.U. Saraydar, N.B. Mandayam, "Efficient Power Control via Pricing in Wireless Data Networks", IEEE Transactions on Communications, Vol. 50, Issue 2, pp. 291-303, Feb 2002.
- [11] B. Wang, Y. Wu, K.J. Ray Liu, "Game Theory for Cognitive Radio Networks and Distributed Radio Resource Management Algorithms", Blacksburg, VA, Sep 2006.

ضمیمه ۱

فرض می‌کنیم $G = (N, S, \{u_i\})$ یک بازی پتانسیلی

کامل باشد که تابع پتانسیل آن به شکل $Pot(\cdot) : S \rightarrow \mathbb{R}$ تعریف شده است. بنابراین:

$$\forall i \in N, \forall s \in S: \\ u_i(s_i^*, s_{-i}) - u_i(s_i, s_{-i}) = \\ Pot(s_i^*, s_{-i}) - Pot(s_i, s_{-i})$$

اکنون بازی $G^1 = (N, S, \{u_p\})$ با کاربران خودخواه را

در نظر می‌گیریم. با اعمال $-\alpha u_i(\cdot)$ ، به عنوان تابع

قیمت‌گذاری در بازی G^1 ، می‌توان تابع سود جدید در بازی

G^1 را به صورت زیر نشان داد:

$$u_i(s_i, s_{-i}) = \alpha u_i(s_i, s_{-i}) + u_{p_i}(s_i, s_{-i})$$

با در نظر گرفتن رابطه کلی زیر

$$|a| > |b| \rightarrow \text{Sign}(a + b) = \text{Sign}(a)$$

و با قراردادن $a = \alpha u_i(s_i^*, s_{-i}) - \alpha u_i(s_i, s_{-i})$ و

$b = u_{p_i}(s_i^*, s_{-i}) - u_{p_i}(s_i, s_{-i})$ و فرض α مثبت به

اندازه کافی بزرگ، به طوری که همواره $|a| > |b|$ باشد،

می‌توان نوشت:

$$\forall i \in N, \forall s \in S$$

$$\text{sign}(u_i(s_i^*, s_{-i}) - u_i(s_i, s_{-i})) = \text{sign}(a + b) =$$

$$\text{sign}(a) = \text{sign}(\alpha u_i(s_i^*, s_{-i}) - \alpha u_i(s_i, s_{-i})) =$$

$$\text{sign}(a) \text{sign}(u_i(s_i^*, s_{-i}) - u_i(s_i, s_{-i})) =$$

$$\text{sign}(Pot(s_i^*, s_{-i}) - Pot(s_i, s_{-i}))$$

ایجاد بازی پتانسیلی با استفاده از قیمت‌گذاری به منظور مدیریت بهینه منابع در شبکه‌های رادیویی شناختگر غیرهمکارانه

- [12] E. Hossain and D. Niyato and Z. Han, “dynamic spectrum access and management in cognitive radio networks”, pp. 237-24, CAMBRIDGE University press, 2009.
- [13] J. O. Neel, “Analysis and Design of Cognitive Radio Networks and Distributed Radio Resource Management Algorithms”, PhD thesis, Blacksburg, VA, Sep 2006.
- [14] J. O. Neel, J. H. Reed, R. P. Gills, “Convergence of Cognitive Radio Networks”, Wireless Communications and Networking Conference, 2004 IEEE.
- [15] J. Neel, J. Reed, R. Gilles, “The Role of Game Theory in the Analysis of Software Radio Networks, in: SDR Forum Technical Conference, Nov 2002.
- [16] J. Neel, R. Gilles, J. Reed, “Properties of Ordinal Potential Games”, MPRG Technical Document 86753, Jul 2003.
- [17] L. Gropop, D. Tse, “Spectrum Sharing Between Wireless Networks”, IEEE/ACM Trans on Networking, Vol.18, Issue 5, pp. 1401-1412, Oct 2010
- [18] D. Monderer, L. Shapley, “Potential Games”, Elsevier Games and Economic Behavior, Vol. 14, Issue 1, pp.124-143, 1996.

زیر نویس

-
- ¹.Cooperative
 - ².Non-cooperative
 - ³.Cognitive Radios (CR)
 - ⁴.Mitola
 - ⁵.Distributed
 - ⁶.CR dedicated net
 - ⁷.Medium Access Control
 - ⁸ Request To Send
 - ⁹ Clear To Send
 - ¹⁰.Pareto efficiency
 - ¹¹.Sum-Rate
 - ¹².Centralized
 - ¹³.Signaling packets
 - ¹⁴Ad-hoc
 - ¹⁵.Rational player
 - ¹⁶ Utility Function
 - ¹⁷.Nash Equilibrium
 - ¹⁸.Exact Potential
 - ¹⁹.Ordinal Potential
 - ²⁰.Finite Improvement Path (FIP)
 - ²¹.Round-robin
 - ²².Asynchronous
 - ²³ Fairness