

اشتراک دینامیک در طیف با استفاده از تئوری بازی ها

ترجمه و تنظیم: محمدصادق محمدی

Email: m.s.mohammadi@ece.ut.ac.ir

چکیده - یکی از منابع ذی قیمت در مخابرات طیف فرکانسی است و به منظور استفاده کامل و بهینه از آن، با پیشرفت تکنولوژی های رادیویی ادراک پذیر، اشتراک دینامیک در طیف، رهیافتی نویدبخش برای افزایش بازدهی استفاده از طیف است. اخیرا اشتراک دینامیک در طیف فرکانسی با استفاده از تئوری بازی ها به طور مفصل و به منظور استفاده با بازدهی بالاتر، انعطاف بیشتر و مناسب تر از طیف فرکانسی و به وسیله آنالیز نمودن رفتار هوشمندانه کاربران شبکه که به تجهیزات رادیویی ادراک پذیر مجهز هستند مورد مطالعه قرار گرفته است. این مقاله نیز یک بازنگری بر مبنای تئوری بازی ها بر اشتراک دینامیک در طیف را از دیدگاه های مختلف همچون آنالیز رفتار کاربران شبکه، طراحی گسترده دینامیک به صورت کارا و آنالیز بهیمنگی ارائه می کند.

۱- مقدمه

نظیر سریع الانتقال بودن فرکانس، مدولاسیون وفقی، کنترل توان ارسال، و مکانیابی را فراهم نمایند. پیشرفت تکنولوژی های ادراک پذیر رادیویی، دسترسی فشرده تر و با بازدهی بالاتر به طیف را امکان پذیر می کنند.

بخش کلیدی دسترسی دینامیک به طیف اشتراک دینامیک در طیف است، که مسئولیت تخصیص یا برنامه ریزی مناسب طیف را بین کاربران اولیه و ثانویه به عهده دارد. تاکنون اشتراک دینامیک در طیف عموما به صورت مشابه با مسائل کنترل دسترسی لایه میانی (MAC) در سیستم های بدون سیم فعلی و از منظر تخصیص منابع بدون سیم مد نظر قرار گرفته است. با این وجود، یکی از مهمترین مشخصه های کاربران شبکه که به تجهیزات ادراک پذیر مجهز هستند، هوش درکی آنها است که کاربران شبکه را قادر می سازد جهت استفاده از طیف و پارامتر های مخابراتی، تصمیمات هوشمندانه ای را بر اساس دینامیک طیفی که در اختیار دارند و همچنین تصمیمات کاربران دیگر اتخاذ کنند. بنابراین برای اشتراک دینامیکی طیف طبیعی تر این است که رفتار ها و بر هم کنش های کاربران شبکه (همیارانه، خود محورانه و آسیب رسان)

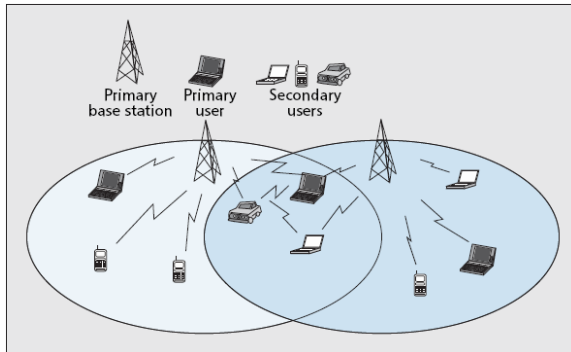
به همراه پیشرفت وسیع صنعت مخابرات سیار در دهه های اخیر، تقاضا برای استفاده از طیف فرکانسی بدون سیم با سرعت زیادی رشد یافته است. اخیرا کمیته های تنظیم کننده مقررات استفاده از طیف نظیر FCC در آمریکا این واقعیت را تایید نموده اند که با در نظر گرفتن این که تقاضا برای طیف ممکن است در طول زمان و موقعیت تغییر یابد، تخصیص ثابت طیف فرکانسی که در حال حاضر انجام می گیرد می تواند شدیداً ناکارا باشد.

برای استفاده کامل از منابع ذی قیمت طیف، با پیشرفت تکنولوژی های رادیویی ادراک پذیر، اشتراک دینامیک در طیف رهیافتی نویدبخش برای افزایش بازدهی استفاده از طیف است که به کاربران بدون سیم غیر ثبت شده (کاربران ثانویه) امکان می دهد به صورت دینامیک به باند های ثبت شده توسط دارندگان طیف (کاربران اولیه) به صورت مذاکره ای یا فرصت طلبانه دسترسی داشته باشند.

تکنولوژی های رادیویی ادراک پذیر دارای این پتانسیل هستند که تجهیزات بدون سیم با قابلیت های متفاوت

را از منظر تئوری بازی ها مطالعه نماییم.

station ها یا سیستم های موجود در شبکه سلولی، به صورت ایستگاه یا DSAN centralized امکان به کار گیری چندین سیستم با طیف یا پوشش دارای همپوشانی را به ما می دهد. بعلاوه، ساختار شبکه های ad hoc نیز در DSAN ها مورد حمایت قرار می گیرند. بنابر این، دسترسی انعطاف پذیر به طیف به وسیله اجازه دادن کاربران ثانویه برای دسترسی به چندین اوپراتور اولیه یا رقابت چندین کاربر ثانویه بر سر طیف فرکانسی موجود، امکان پذیر است.



شکل ۱) نمایش شبکه های با دسترسی دینامیک به طیف

به طور کلی، تئوری بازی بر هم کنش های استراتژیک میان اعضا را به وسیله ساختار های انگیزشی مدل می کند. این تئوری نه تنها مدل های بازی را برای طراحی گسترده کارا ارائه می کند، بلکه شرط تعادل برای مطالعه بهینگی رویداد های بازی برای سناریو های متفاوت بازی (ایستا یا پویا، اطلاعات کامل یا ناقص، غیر همیارانه یا همیارانه) را نیز استخراج می کند. این مدل های بازی و ملاک تعادل به طور مفصل در سناریو های اشتراک دینامیک طیف برای دستیابی به راه حل های مناسب و کارا برای معماری های مختلف شبکه (centralized/distributed)، رفتار های مختلف تخصیص طیف (cooperative/non-cooperative) ، یا تکنیک های مختلف دسترسی به طیف (overlay/underlay) مورد مطالعه قرار گرفته اند. در این مقاله، مروری جامع بر اشتراک دینامیک در طیف با استفاده از تئوری بازی ها را از جنبه های متعددی چون آنالیز رفتار کاربران شبکه، طراحی گسترده دینامیک با بازدهی بالا، و آنالیز بهینگی ارائه می کنیم.

۲- مدل سیستم

- کاربران شبکه به تجهیزات رادیویی ادراک پذیر (cognitive radio devices) مجهزند که آنها را به تکنیک های مختلف دسترسی دینامیک به طیف نظیر سنجش طیف، مدیریت طیف، handoff، و اشتراک در طیف مجهز می کند.
- معماری ذخیره نمودن طیف جهت جمع نمودن بخش بدون استفاده یا دست نخورده از طیف که دارای license می باشد مورد استفاده قرار می گیرد که آن را به وسیله OFDM به کانال های فرکانسی متعامد تقسیم می کند. برای جلوگیری از تداخل با مخابرات مربوط به کاربران اولیه، به کمک تکنیک های OFDM امکان قرار دادن صفر در کانال هایی که کاربران اولیه اشغال می کنند وجود دارد.
- با در نظر گرفتن کاربرد های متفاوت DSAN ها همچون کاربرد های نظامی، اورژانس، یا کاربردهای غیر نظامی، انواع متفاوتی از کاربران در شبکه های بدون سیم به طور همزمان وجود دارند که شامل کاربران همیار، خود محور و آسیب رسان می شوند. کاربران همیار، بدون قید و شرط برای رسیدن به یک

شبکه های با دسترسی دینامیک به طیف (DSAN) که به نام شبکه های نسل آینده (xG) نیز معروف هستند، قابلیت استفاده با بازدهی بالا را برای کاربران شبکه از طریق تکنیک های دسترسی دینامیک به طیف و معماری های نا همگون (heterogeneous) فراهم می سازند. به ویژه کاربران ثانویه می توانند بدون این که باعث به هم خوردن کانال شوند و یا باعث اثرات نا مطلوب شوند به منابع طیف کاربران اولیه به صورت مذاکره ای یا فرصت طلبانه دسترسی داشته باشند. خصوصیات اصلی که DSAN ها را تعریف می کند و برای اشتراک دینامیکی در طیف مورد نظر قرار می گیرند به صورت زیر هستند:

- همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می شود، سناریویی از DSAN ها را با کاربران اولیه و ثانویه متعدد در نظر بگیرید. بر خلاف تخصیص عرفی طیف در میان base

تئوری بازی کشمکش و همیاری میان تصمیم گیرنده های منطقی را مورد مطالعه قرار می دهد که به طور طبیعی یک معادل عالی برای مسائل اشتراک دینامیک در طیف است.

اهمیت مطالعه اشتراک دینامیک طیف در یک چارچوب بر مبنای تئوری بازی ها، دارای چندین لایه است. اول این که با مدل کردن اشتراک دینامیک کاربران شبکه در طیف (کاربران اولیه و ثانویه) به عنوان بازی، رفتار و عملکرد کاربران شبکه در یک ساختار مدون بازی قابل بررسی است، که به وسیله آن دستاوردهای تئوریک در تئوری بازی ها می توانند به طور کامل مورد استفاده قرار بگیرند. دوم، تئوری بازی ها ما را به ملاک های بهینگی مختلفی برای مساله اشتراک دینامیک طیف مجهز می کند. به ویژه، بهینه سازی استفاده از طیف در DSAN ها به طور کلی یک مساله بهینه سازی چند هدفی است که بررسی و حل نمودن آن بسیار مشکل است. تئوری بازی ها ملاک های تعادل صریح و روشنی برای ما مهیا می کند که بتوانیم بهینگی بازی را در تحت تنظیمات مختلف بازی (سناریو های شبکه در بحث ما) بسنجیم. سوم، تئوری بازی غیر همیارانه، یکی از مهمترین تئوری های بازی، ما را قادر می سازد که رهیافت های گسترده کارآمدی را برای اشتراک دینامیک طیف و تنها با داشتن اطلاعات موضعی، استخراج نماییم. چنین رهیافت هایی هنگامی که کنترل مرکز گرا امکان پذیر نیست و یا رهیافت های خود سامان انعطاف پذیر مورد نیاز هستند، بسیار مطلوب هستند.

۳-۲- مدل های بازی

به طور کلی، یک بازی به شکل استراتژیک دارای سه جزء است: مجموعه بازیگران، فضای استراتژی برای هر بازیگر، و تابع پرداخت بازده، که عملکرد هر بازیگر را می سنجد. به طور مشابه، رفتار های هوشمندانه شبکه های ادراک پذیر در DSAN ها می تواند به صورت یک بازی اشتراک دینامیک طیف (DSSG) مدل شود. بازیگران در DSSG همگی کاربران شبکه هستند، که شامل کاربران اولیه و ثانویه می شوند. فضای استراتژی هر کاربر شامل عملکرد های مختلف

هدف مشترک با دیگران همکاری می کنند؛ کاربران خود محور در جهت بیشینه نمودن حقوق خود عمل می کنند؛ کاربران آسیب رسان تلاش می کنند تا حدی که می توانند باعث آسیب رساندن به شبکه شوند.

- امکان اداره به صورت مرکزی و همبسته وجود ندارد. ممکن است یک نقطه مدیریت برای رسیدگی به اطلاعات مربوط به فعالیت های آبونمان طیف وجود داشته باشد. کانال های کنترل نیز برای تبادل اطلاعات اشتراک طیف فرض می شوند.
- مشخصات منابع طیف ممکن است در طول فرکانس، زمان، و موقعیت و به دلیل تحرک کاربر، تغییرات کانال، و یا نوسانات ترافیک کانال تغییر کند.

۳-۲- مدل های تئوری بازی برای اشتراک دینامیک در طیف

در این قسمت، در ابتدا اهمیت و انگیزه استفاده از رهیافت تئوری بازی برای اشتراک دینامیک در طیف مطرح شده است. سپس مدل های بازی برای اشتراک دینامیک طیف و برای سناریو های گوناگون شبکه مورد بحث قرار می گیرد.

۳-۱- انگیزه استفاده از تئوری بازی برای اشتراک دینامیک طیف

عدم توازن میان تقاضای رو به رشد برای طیف بدون سیم و منابع محدود رادیویی، چالشی زود هنگام را در اشتراک موثر طیف پیش رو قرار می دهد. برای داشتن اشتراک دینامیک و با بازدهی بالا در طیف، مشکلات متعددی را باید حل نمود: طبیعت نامطمئن و انتشاری کانال های بدون سیم، تحرک کاربران و توپولوژی دینامیک، زیرساخت های گوناگون شبکه، و از همه مهمتر، رفتار کاربران شبکه. به طور دقیق تر، کاربران شبکه می توانند همیار، خودمحور، و یا آسیب رسان باشند. رهیافت های کنونی اشتراک طیف تنها حالت های شبکه همیارانه، ایستاد و centralized را مد نظر قرار می دهند. قبل از دستیابی به اشتراک دینامیک کارای طیف، رفتار و برهم کنش های هوشمندانه کاربران شبکه باید به درستی بررسی شود.

مربوط به اشتراک دینامیک است. به ویژه، برای کاربران ثانویه، فضای استراتژی شامل این که از کدام کانال ثبت شده استفاده کنند یا چه پارامترهای انتقال (توان انتقالی یا دوره زمانی) به کار برند، قیمتی که حاضرند برای در اختیار گرفتن کانال های خاص از کاربران اولیه بپردازند و غیره می شود. بعلاوه، تابع پرداخت بازده در یک DSSG می تواند با توجه به طبیعت کاربران شبکه تغییر کند. به طور دقیق تر، تابع پرداخت بازده برای یک گروه از کاربران همیار، نشانگر هدف مشترک آن ها در مخابره است؛ تابع بازده کاربران خود محور بیانگر منافع فردی آن هاست؛ تابع بازده کاربران آسیب رسان بیانگر صدمه آن ها برای DSAN است.

با در نظر گرفتن امکان اداره به صورت مرکزی و همبسته می توانیم DSSG های غیر همیار و همیار داشته باشیم. در DSSG های غیر همیارانه، بدون کنترل مرکزی، کاربران خودمحور شبکه با دیگران همکاری نمی کنند و بنابر این هر گونه همکاری بین آن ها باید خود انگیزی باشد [1]. بنابراین مطالعه اشتراک دینامیک طیف در DSSG های غیر همیارانه بر روی طراحی بازی های گسترده و انگیزش همیارانه متمرکز می شود [1]. باید توجه نمود که تعادل Nash مفهوم مهمی برای سنجش رویداد های یک بازی غیر همیارانه است که به صورت مجموعه ای از استراتژی ها است که هر یک متعلق به یک بازیگر می باشد و در آن هیچ بازیگر خود محور انگیزه ای برای تغییر یکجانبه عملکرد خود ندارد. برای سنجش بهتر کارایی رویداد های بازی، بهینگی Pareto به گونه ای تعریف می شود [1]. یک رویداد بازی بهینه Pareto است اگر هیچ رویداد دیگری که همه بازیگران را در وضع بهتر قرار می دهد وجود نداشته باشد و حداقل یک بازیگر را یقیناً در وضع بهتر قرار دهد.

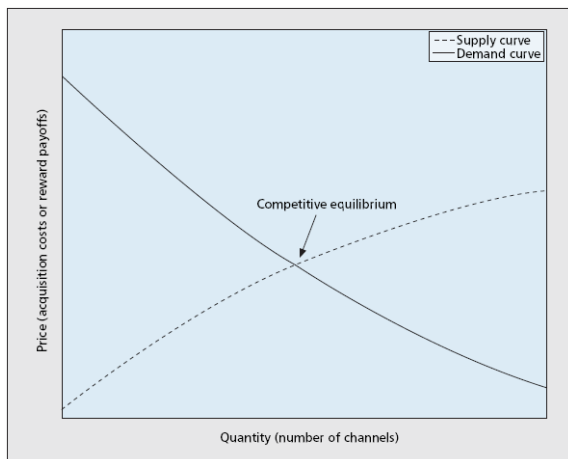
در DSSG همیارانه، کاربران قادرند اشتراکات طیف قابل اجرا را از طریق کنترل های مرکزی انجام دهند. بنابراین، برای DSSG های همیارانه، منافع در میزان خوب بودن رویداد اشتراک طیف وضع می شود؛ به عبارت بهتر، چگونگی تعریف و انتخاب ملاک بهینگی

در سناریو های همیارانه مد نظر است. این نکته قابل ذکر است که روش چانه زنی Nash (NBS) نقش مهمی در بازی های همیارانه بازی می کند، که یک راه حل بهینه Pareto برای تعاملات چانه زنی مدل بازی و بر مبنای شش اصل شهودی است. به طور دقیق تر، NBS منابع باقی مانده طیف را در میان کاربران با نرخی برابر با نرخی که بازده می تواند بعد از تخصیص مینیمم منابع هر کاربر منتقل شود، تقسیم می کند. NBS می تواند به صورت مجموع اضافات تخصیص منابع برای هر کاربر باشد که اگر هیچ مینیمم منبعی از قبل در نظر گرفته نشده باشد، به عنوان ملاک برابری متناسب-خطی شناخته می شود [2].

با در نظر گرفتن این که اشتراک دینامیک طیف در DSAN یک فرایند دینامیک است، چگونگی برهم کنش میان کاربران بر مبنای دینامیک طیف که در طول زمان تغییر می کند باید بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد. بنابراین برای بهتر مدل نمودن اشتراک دینامیک طیف، مدل های دینامیک بازی مورد توجه قرار گرفته اند تا به کمک آن ها بتوان DSSG ایستان را به صورت چند مرحله ای مطالعه نمود یا افزون بر آن، اگر عملکرد کاربران به صورت متوالی باشد، DSSG را به صورت جامع و عام بیان نمود. در DSSG دینامیک، اگر اطلاعات کامل در دسترس باشد (یعنی مجموعه استراتژی ها و بازده ها برای هر کاربر به صورت دانش مشترک در نظر گرفته شود)، یک تعادل کامل از جزء-بازی (SPE)، میتواند برای مطالعه رویداد های بازی مورد استفاده قرار گیرد [1]. SPE تعادلی است که در آن استراتژی های کاربران در هر جزء-بازی یک تعادل Nash از بازی اصلی برقرار می کنند. اگر اطلاعات کامل در دسترس نباشد، در این شرایط تعادل ترتیبی را می توان معادلی برای SPE دانست. این تعادل اطمینان می دهد که هر انحرافی از تعادل، بی بهره است.

اگر اشتراک دینامیک طیف به صورت مذاکره ای یا مدت دار را در نظر بگیریم، کاربران اولیه تلاش می کنند منابع طیف بلا استفاده خود را برای کسب سود را به کاربران ثانویه بفروشند، در حالی که کاربران ثانویه

نمود. در DSSG، تابع عرضه را می توان به فرم نسبت میان هزینه های کسب کاربران اولیه و تعداد کانال ها در نظر گرفت؛ تابع تقاضا را نیز می توان به صورت نسبت میان بازده های ورودی کاربران ثانویه و تعداد کانال ها تعریف نمود. ما توابع عرضه و تقاضا را در شکل ۲ نشان داده ایم. توجه کنید اثبات شده است که CE نیز در سناریوهای حراج دوطرفه ساکن، بهینه Pareto است.



شکل ۲) نمایش نسبت عرضه و تقاضای طیف

۴- اشتراک موثر دینامیک طیف به صورت

گسترده

برداشتن مقررات از روی طیف فرکانسی بدون سیم، چنین منبع با ارزشی را به یک کالا تبدیل می کند که می تواند به صورت دینامیک در بین کاربران شبکه مبادله شود. اگر نبود کنترل مرکزی و خود محوری کاربران را در نظر بگیریم، اشتراک گسترده دینامیک طیف باید با مطالعه رفتار هوشمندانه کاربران شبکه و از منظر تئوری بازی ها بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

۴-۱- چانه زنی موضعی

در مرجع [4] یک رهیافت موضعی برای مساله اشتراک گسترده دینامیکی طیف به صورت عاری از تداخل و سازگار با تغییرات توپولوژی شبکه پیشنهاد شده است که برای سناریو های متفاوت شامل دو استراتژی چانه زنی می شود: چانه زنی یک-به-یک برای تبادل بهینه کانال ها میان دو کاربر همسایه پیشنهاد شده؛ چانه زنی یک-خریدار-چندین-فروشنده نیز برای یک کاربر

سعی می کنند اجازه استفاده از طیف را از کاربران اولیه و برای رسیدن به مقاصد مخابراتی خود که برایشان بازده ورودی در پی دارد کسب کنند. با توجه به این که کاربران ممکن است خود محور باشند و مادامی که مکانیزم های صحیح برای حصول اطمینان برای عدم صدمه دیدن منافع آن ها اعمال نشود، اطلاعات شخصی خود را برای دیگران نمایان نمی کنند؛ بر هم کنش های بین کاربران در این سناریو ها را می توان به صورت یک بازی غیر همیارانه با چندین بازیگر و با اطلاعات غیر کامل مدل نمود که عموماً مطالعه آن از آنجا که بازیگران از پروفایل استراتژی یکدیگر بی اطلاعند، دشوار است. با این وجود، بر مبنای حالات مختلف DSSG، تئوری معروف حراج، یکی از مهمترین کاربردهای تئوری بازی ها، برای فرموله نمودن و تحلیل بر هم کنش ها قابل اجراست.

در بازی های حراج، بر طبق مجموعه ای صریح از قوانین، دارنده (حراجگر)، تخصیص منابع و قیمت ها را بر مبنای مبالغ پیشنهادی از طرف اعضا (پیشنهاد دهندگان) معین می کند. در DSSG، کاربران اولیه را می توان به صورت دارندگانی که می خواهند کانال های بلا استفاده خود را به کاربران ثانویه بفروشند در نظر گرفت. کاربران ثانویه نیز پیشنهاد دهندگانی هستند که با یکدیگر برای خرید اجازه استفاده از کانال های کاربران اولیه رقابت می کنند. بعلاوه، امکان وجود چندین خریدار و فروشنده در آن واحد نیز وجود دارد که بیانگر سناریوی حراج دوطرفه است. بدین معنی که نه تنها کاربران ثانویه بلکه حتی کاربران اولیه نیز باید بر ای انجام معاملات سود آور که به وسیله برانگیختن رغبت آن ها برای دریافت سود و در قالب پیشنهاد و قیمت گیری میسر می شود، با یکدیگر رقابت کنند.

در سناریو های حراج دوطرفه DSSG، تعادل رقابتی (CE) پیش بینی شناخته شده ای برای رویداد ها است و بیانگر قیمتی است که در آن تعداد فروشندگان مایل به فروش برابر تعداد خریداران مایل به خرید است [3]. از سوی دیگر، CE را همچنین می توان به عنوان جایی که عرضه و تقاضا یکسان می شوند تفسیر

خریدار پیشنهاد شده که بتواند کانال هایی از طیف فرکانسی را از همسایگان متعدد بر مبنای استراتژی های کمبود عرضه فراهم نماید.

۴-۲- مدل بازی تکرار شونده برای اشتراک طیف

در مرجع [5] نویسندگان، مساله اشتراک دینامیک طیف فرکانسی را در میان چندین کاربر ثانویه برای سیستم های بدون سیم با قید تداخل و در قالب یک بازی غیر همیارانه مورد مطالعه قرار داده اند. مطالعه آنه بر روی قواعد بازی خود انگیزی و در نتیجه بازدهی بازی است که به صورت کل throughput بدست آمده از منابع موجود در طیف فرکانسی اندازه گیری می شود. از آنجا که فرمولاسیو ایستان بازی به خاطر خود محور بودن کاربران به یک تعادل Nash ناکارا منتهی می شود، یک مدل بازی تکرار شونده برای مطالعه بر هم کنش های موجود برای اشتراک طیف در یک سناریوی بلند مدت پیشنهاد شده است. به طور کلی، بازی های تکرار شونده را می توان جزئی از خانواده بازی های دینامیک دانست؛ در این سناریو ها یک بازی ایستان به طور مشابه چندین مرتبه انجام می شود.

بازده کل در یک بازی تکرار شونده به صورت مجموع نرمالیزه شده بازده ها در مرحله از بازی است.

۴-۳- بازی اشتراک طیف بر مبنای حراج

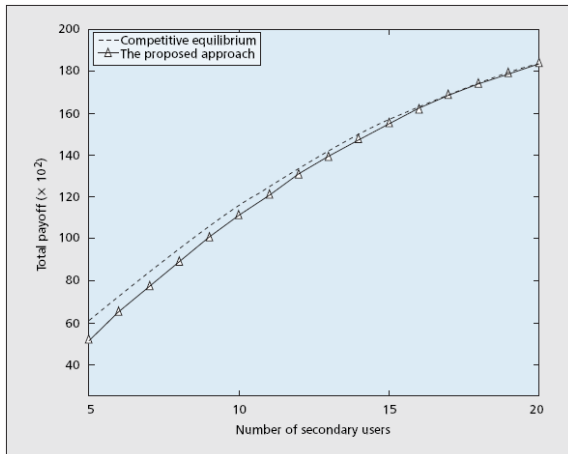
اگر رابطه داد و ستد میان کاربران اولیه و ثانویه را در نظر بگیریم، مکانیزم حراج را می توان به صورت یک راه حل طبیعی برای به اشتراک گذاری گسترده دینامیک طیف به صورت مذاکره ای دانست. در مرجع [6] رهیافتی بر مبنای تئوری حراج برای این منظور مطرح شده است که در آن تعداد زیادی از کاربران ثانویه، کانال هایی را از یک کاربر اولیه یا دارنده طیف فرکانسی از طریق یک پروسه حراج می خرند. برای چنین سناریو هایی، از Vickrey-Clarke-Groves (VCG) [3] به عنوان یک جواب بهینه یاد می شود که به دلیل قیود تداخل، نیاز به اطلاعات زیاد و بار محاسباتی بالا برای مسائل اشتراک طیف مناسب نیست. در [6] همچنین دو مکانیزم حراج با در نظر

گرفتن سنجه های بازده متفاوت پیشنهاد شده است: یکی از آن ها دریافت هزینه از کاربران ثانویه بر اساس SINR دریافتی هر یک از آن ها و دیگری در یافت هزینه از کاربران ثانویه بر اساس توان دریافتی هر یک است.

۴-۴- قیمت گذاری به کمک باور عمومی

اگر سناریو های عمومی DSAN را در نظر بگیریم که در آن ها کاربران متعدد اولیه و ثانویه با هم وجود دارند، اشتراک دینامیک طیف خیلی پیچیده تر می شود و اگر ملاک تئوریک مناسبی وجود نداشته باشد، سنجش رویداد های DSSG امری دشوار می شود. همان گونه که در قسمت قبلی ذکر شد، چنین سناریو هایی را می توان به کمک یک تعادل رغابتی مدل نمود. با این وجود، در شرایطی که همچون بازار بورس نیویورک (NYSE) کنترل قوی مرکزی وجود دارد، معمولاً یک مکانیزم حراج دوطرفه اجرا می شود. در Dsan هایی که کنترل مرکزی وجود ندارد، با تغییر وضعیت طیف و کاربران خود محور، پیاده سازی قیمت گذاری دو طرفه از طریق مکانیزم های حراج دوطرفه به کاری دشوار تبدیل می شود. در [7] جهت به اشتراک گذاری منابع طیف به صورت موثر، قیمت گذاری به کمک باور عمومی برای حالتی که چندین کاربر اولیه و ثانویه وجود دارند پیشنهاد شده است.

برای دستیابی به قیمت گذاری موثر در DSSG با اطلاعات غیر کامل در مرجع [7] معیار های سنجش باور عمومی پیشنهاد شده است که به کمک آن ها می توان استراتژی های ممکن کاربران دیگر در آینده را بر اساس پیشینه بازی پیش بینی نمود و از آن برای کمک نمودن به تصمیم گیری کاربران استفاده نمود. اگر فرض کنیم چندین کاربر با اطلاعات خصوصی در DSSG موجود باشند، و قیمت های پیشنهاد/پرسش مستقیماً روی رویداد های بازی تاثیر گذار باشند، بهتر این است که به جای اینکه برای هر یک از کاربران دیگر یک باور خاص تعریف شود، یک تابع باور بر مبنای قیمت های پیشنهاد/پرسش قابل مشاهده برای هر کاربر تعریف شود. در نتیجه، باور های کاربران اولیه/ثانویه به صورت نرخ پذیرفته شدن



شکل ۳) مقایسه بازده کل روش باور عمومی و تعادل رقابتی

آن تخصیص کانال برای نقاط دسترسی (APs) در شبکه های WiFi بررسی شده. در این سناریو، قیمت آنارسی بیانگر نسبت میان تعداد کانال های AP تخصیص یافته در بدترین تعادل Nash به تعداد بهینه AP های پوشش داده شده در صورتی که تخصیص توسط کنترل مرکزی انجام شده باشد است. همچنین مرز های تئوریک برای قیمت آنارسی در سناریو هایی با تعداد کاربر خریدار و فروشنده متفاوت به دست آمده است. یک یافته جالب توجه در این رابطه نیز این حقیقت است که در DSSG های عام، بدون اعمال قیود خاص نظیر توزیع کاربران، قیمت آنارسی نامحدود است.

۵-۲- برنامه ریزی دینامیک برای DSSG

اگر خاصیت دینامیک طیف را در طول زمان، فضا و فرکانس در نظر بگیریم، تحلیل بهینگی نیز باید به یک روش دینامیک مانند برنامه ریزی دینامیک انجام شود. در مرجع [7] با در نظر گرفتن این که هر کاربر ثانویه، یک بودجه کلی برای اجازه نمودن طیف در اختیار دارد، به اشتراک گذاری بهینه طیف نیز باید به وسیله رهیافت های دینامیک حل شود. استراتژی های بهینه متوالی برای هر کاربر تنها با در نظر گرفتن وضعیت های اشتراک طیف مانند تعداد کانال هایی که باید در هر مرحله اختصاص داده شوند، یا باقیمانده بودجه مالی در هر مرحله از اشتراک طیف کاربران ثانویه حاصل می شود. معادله Bellman [10] که در مرجع [7] به منظور توصیف بازده پیش بینی شده هر کاربر

پیشنهاد/پرسش آن ها در سطوح مختلف قیمت تعریف می شود. با این حال، در DSSG تنها تعداد اندکی از بازیگران در زمان های خاص در روند اشتراک طیف شرکت می کنند. به طور مستقیم نمی توان باور ها را در کلیه سطوح قیمت به دست آورد، بنابر این اطلاعات پیشین پیشنهاد/پرسش را باید برای تولید مقادیر تجربی باور ممزوج نمود.

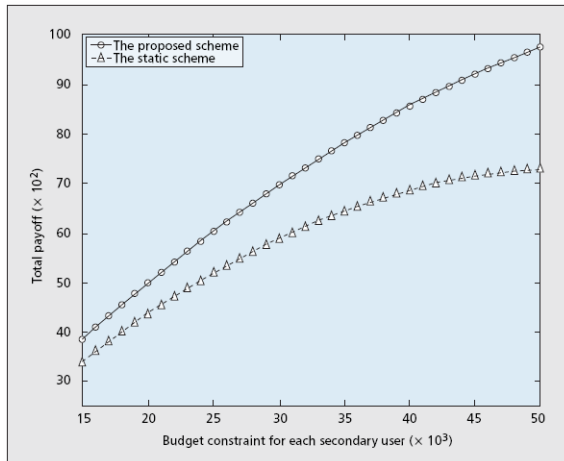
۵- آنالیز بهینگی از منظر تئوری بازی

یکی از جنبه های مهم اشتراک دینامیک طیف، چگونگی تحلیل بهینگی رویداد های بازی است. دشواری ذاتی آنالیز بهینگی از این حقیقت ناشی می شود که کاربران متعدد (اولیه یا ثانویه) با هم در DSAN وجود دارند؛ این به معنی یک سناریوی دشوار بهینه سازی چند هدفی است. یک روش حل چنین مساله ای، تولید یک معیار بهینه سرتاسری، همچون معیار max-min یا بیشینه نمودن بازده کل با در نظر گرفتن هدف کلیه کاربران است. با این وجود، اشتراک طیف مورد نظر ما، به جای تمرکز یافتن روی تنها یک جنبه، باید هم کارآمد و هم بی عیب باشد. افزون بر آن، در DSSG های غیر همیارانه، کاربران از ملاک سرتاسری پیروی نمی کنند و در صدد بیشینه نمودن بازده های خود عمل می کنند.

۵-۱- قیمت آنارسی

در DSSG های غیر همیارانه که کنترل مرکزی وجود ندارد، برهم کنش میان کاربران خود محور ممکن است به تعادل Nash منتهی شود که در این مورد کارایی ندارد. برای مطالعه بهینگی رویداد های بازی غیر همیارانه، قیمت آنارسی یک معیار پر اهمیت است که به صورت نسبت بدترین تعادل Nash ممکن و یک پاسخ بهینه عمومی که تنها اگر کنترل مرکزی وجود داشته باشد حاصل می شود، بیان می شود. بنابر این، مطالعه حدود قیمت آنارسی برای درک پیامد های تعادل Nash در DSSG های غیر همیارانه از اهمیت زیادی برخوردار است.

در مرجع [8] قیمت آنارسی برای بازی های غیر همیارانه اشتراک طیف مورد مطالعه قرار گرفته که در



شکل ۴) مقایسه بازده کل روش برنامه ریزی دینامیک با روش ایستان

در نظر گرفته می شود. توجه شود که $J=5$ و $\lambda=10^3$ مرحله اشتراک طیف در اینجا شبیه سازی شده است. فرض می کنیم هر کاربر اولیه چهار کانال بلا استفاده در اختیار دارد و عامل تخفیف بازی تکراری برابر 0.95 است.

در شکل ۳ کل بازده برای تمام کاربران که به کمک روش قیمت گذاری بر مبنای باور عمومی بدست آمده با کران تئوریک بدست آمده با CE برای تعداد متفاوت کاربران ثانویه مقایسه شده است. این شکل نشان می دهد که تلف روش مطرح شده نسبت به پاسخ بهینه تئوریک بسیار کم است. افزون بر آن، وقتی تعداد کاربران ثانویه افزایش می یابد، کارایی روش پیشنهادی به حد CE می رسد.

در مرحله بعد روش برنامه ریزی دینامیک را برای اشتراک طیف و در حالتی که هر کاربر ثانویه با قید بودجه مالی خود مقید شده باشد در نظر می گیریم. برای مقایسه، یک روش ایستان را تعریف می کنیم که در آن کاربران ثانویه، برای مشترک شدن در طیف تصمیماتشان را به طور مستقل از محدوده کل بودجه ای که در اختیار است می گیرند. فرض کنید که قیود بودجه برای کاربران ثانویه یکسان باشد. در شکل ۴ مقایسه ای بین کل بازده روش برنامه ریزی دینامیک با بازده کل در روش ایستان برای قید های متفاوت بودجه انجام گرفته است. می توان ملاحظه نمود که روش پیشنهادی در مقایسه با روش ایستان به دلیل

ثانویه به کار گرفته شده که از جمع نمودن دو جمله به دست می آید: قسمتی که با معلوم فرض نمودن وضعیت های فعلی اشتراک طیف نشانگر بازده فعلی هر یک است؛ و قسمتی که با معلوم فرض نمودن وضعیت های به روز شده اشتراک طیف نشانگر بازده هر یک در آینده است. بر اساس اصل بهینگی در برنامه ریزی دینامیک [10]، پاسخ Bellman ارائه شده را می توان به عنوان پاسخ بهینه کلی مساله بهینه سازی فوق دانست. افزون بر این ها، تا هنگامی که تابع بازده پیش بینی شده کراندار باشد، الگوریتم تکرار اندازه [10] را می توان مستقیماً برای حل معادله اشتراک طیف Bellman به کار گرفت.

۶- نتایج عددی

در این قسمت یک سناریوی کلی با چندین کاربر اولیه و ثانویه در شبکه های بدون سیم همچون شکل ۱ را در نظر می گیریم، و کارایی الگوریتم قیمت گذاری به کمک باور عمومی [7] را ارزیابی می کنیم. با فرض یک شبکه بدون سیم با پوشش $100m \times 100m$ ، تعداد J کاربر اولیه را به طور تصادفی در این سطح قرار می دهیم. فرض می کنیم موقعیت کاربران اولیه ثابت باشد و کانال های بلا استفاده آن ها برای کاربران اولیه ای که تا فاصله 50m قرار دارند فراهم باشد. سپس به طور تصادفی K کاربر ثانویه در شبکه را در شبکه قرار می دهیم که فرض می کنیم دستگاه های سیار باشند. تحرک کاربران ثانویه به کمک مدل ساده شده جهت نمای تصادفی مدل می شود [7]. بازده کاربران اولیه به صورت مبلغی که توسط کاربران ثانویه برای کانال های بلا استفاده آن ها می پردازند منهای هزینه اکتساب آن کانال ها به دست می آید. بازده کاربران ثانویه نیز به صورت اجرت استفاده از کانال های بلا استفاده کاربران اولیه منهای مبلغ متناظر پرداختی به کاربران اولیه است. بدون از دست دادن کلیت، فرض می کنیم قیمت کلیه کانال های موجود در مخزن طیف به طور یکنواخت در بازه [10,30] توزیع شده باشد و بازده اجرت در اختیار گیری هر کانال به طور یکنواخت در بازه [20,40] باشد. اگر کانالی برای بعضی از کاربران اولیه موجود نباشد، بازده اجرت آن ۰

بهره گیری از دایورسیتی زمانی در به کار گیری از منابع طیف به کمک برنامه ریزی دینامیک، استفاده موثر تری از طیف انجام می دهد.

۷- جمع بندی

برای استفاده مفید تر و مناسب تر از طیف، پیش بینی شده که نسل آینده شبکه های بدون سیم از تکنیک های اشتراک طیف با انعطاف بیشتر استفاده کنند. با مطالعه رفتار هوشمندانه کاربران ادراک پذیر، به اشتراک گذاری دینامیک طیف فرکانسی به کمک تئوری بازی ها برای پیشرفت روش های موثر اشتراک طیف در سناریو های مختلف روشی پر اهمیت است. با این وجود برای اطمینان از مشترک نمودن کارآمد و بی عیب طیف در شبکه های نسل بعد، لازم است تحقیقات بیشتری در راستای بهره گیری از تئوری بازی ها انجام گیرد.

۸- مراجع

- [1] G. Owen, Game Theory, Academic Press, 1995.
- [2] Z. Han, Z. Ji, and K. J. Ray Liu, "Fair Multiuser Channel Allocation for OFDMA Networks Using Nash Bargaining and Coalitions," IEEE Trans. Commun., vol. 53, Aug. 2005, pp. 1366-75.
- [3] V. Krishna, Auction Theory, Academic Press, 2002.
- [4] L. Cao and H. Zheng, "Distributed Spectrum Allocation via Local Bargaining," Proc. IEEE SECON '05, 2005.
- [5] R. Etkin, A. Parekh, and D. Tse, "Spectrum Sharing for Unlicensed Bands," Proc. IEEE DySPAN '05, 2005.
- [6] J. Huang, R. Berry, and M. L. Honig, "Auction-based Spectrum Sharing," ACM/Springer Mobile Networks and Apps., 2006, pp. 405-18.
- [7] Z. Ji and K. J. R. Liu, "Belief-Assisted Pricing for Dynamic Spectrum Allocation in Wireless Networks with Selfish Users," Proc. IEEE SECON '06, Sept. 2006.
- [8] M. H. Halldorson et al., "On Spectrum Sharing Games," Proc. ACM PODC, 2004.
- [9] Z. Ji and K. J. R. Liu, "Collusion-Resistant Dynamic Spectrum Allocation for Wireless Networks via Pricing," Proc. IEEE DySPAN '07, 2007.
- [10] D. Bertsekas, Dynamic Programming and Optimal Control, 2nd ed., vols. 1, 2, Athena Scientific, Belmont MA, 2001

۹- منبع:

IEEE Communications magazine – May 2007 (Cognitive Radios for Dynamic Spectrum Acces)