

بررسی تخصیص فرکانس با رویکرد تضمین کیفیت سرویس در شبکه های رادیو شناختی

ایمان سالکی

گروه مهندسی کامپیوتر، واحد سپیدان، دانشگاه آزاد اسلامی، سپیدان، ایران

Iman.Saleki@gmail.com

دکتر عرفانه نوروژی

گروه مهندسی کامپیوتر، واحد سپیدان، دانشگاه آزاد اسلامی، سپیدان، ایران

noroozierfaneh@gmail.com

چکیده

تکنولوژی رادیو شناختی^۱ یک تحول بزرگ در شبکه ارتباطات بی سیم ایجاد کرده است. رادیو شناختی بدلیل کمبود منابع طیفی در دسترس و برای افزایش بهره وری هر چه بیشتر طیف مورد استفاده معرفی شده است. دو مسأله اساسی در شبکه های رادیو شناختی وجود دارد. یکی آشکارسازی و استخراج فرصت های طیفی و دیگری اختصاص بهینه منابع موجود به کاربران ثانویه بر اساس سیاست گذاری های انجام شده است. در این میان، فرکانس مهمترین و کلیدی ترین منابع شبکه های رادیو شناختی محسوب می شود. که تخصیص آن به کاربران ثانویه با چالش های مختلفی روبروست. یکی از این چالش ها تخصیص فرکانس^۲ به کاربران ثانویه بر اساس کیفیت سرویس^۳ مورد نظر آن هاست. در این مقاله ابتدا پژوهش های صورت گرفته در این حوزه مورد بررسی قرار می گیرد و سپس نحوه محاسبه تابع برازندگی چند هدفه^۴ برای بهینه سازی این مساله بوسیله دیگر الگوریتم های اکتشافی^۵ بطور کامل شرح داده می شود و در انتها زمینه های تحقیقاتی موجود در آینده در این زمینه پیش روی پژوهش گران قرار داده می شود.

واژگان کلیدی: رادیو شناختی، تخصیص فرکانس، کیفیت سرویس

^۱ Cognitive Radio

^۲ Spectrum Allocation

^۳ Quality of Service (QoS)

^۴ Multi Object Fitness Function

^۵ Heuristic Algorithms

مقدمه

افزایش کاربران و تنوع سرویس های بی سیم سبب افزایش تقاضا برای طیف فرکانسی^۶ شده است. بیشتر طیف فرکانسی در دسترس، به شبکه های بی سیم موجود اختصاص یافته است. لذا تنها بخش کوچکی از طیف فرکانسی می تواند به کاربردهای بی سیم جدید تخصیص یابد و باندهای فرکانسی موجود قادر به پاسخگویی به نیازهای جدید نیستند. بنابراین در حال حاضر کمبود طیف فرکانسی به مسأله ای مهم تبدیل شده است. (عباسی و برنگی، ۱۳۹۰) کمبود منابع طیفی ناشی از سیاستگذاری نامناسب تخصیص طیف، منجر به ارائه روشهای نوینی برای استفاده هرچه بهتر از طیف فرکانسی شده است. رادیوشناختی یکی از راهکارهای ارائه شده برای بهره برداری مطلوب تر از منابع موجود است. با نگاهی به جداول تخصیص فرکانسی می توان فهمید که تقریباً تمام بخش های قابل استفاده این طیف فرکانسی به کاربردهای خاص اختصاص یافته و در ظاهر با نوعی کمیابی پهنای باند مواجه هستیم؛ درحالیکه اگر طیف فرکانسی مورد استفاده را مرور کنیم، متوجه می شویم که برخی از قسمتهای طیف در اغلب اوقات تقریباً بدون استفاده هستند و یا بعضی اوقات و در مکان های خاص استفاده می شوند که در این شرایط استفاده فرصت طلبانه از باندهای فرکانسی خالی ضروری به نظر می رسد. (زارع آغداش، ۱۳۹۲) در واقع لازم است روشهایی برای استفاده کارا و مناسب کاربران بدون مجوز که آنها را کاربران ثانویه^۷ می نامیم از باندهای اختصاص یافته تدوین شود، به نحوی که برای کاربران اصلی دارای مجوز که آنها را کاربران اولیه^۸ می نامیم، تداخل^۹ مخرب ایجاد نشود، یا در اصطلاح همزیستی غیر مخربی بین کاربران اولیه و ثانویه وجود داشته باشد. رادیوهای شناختی به عنوان سیستم های رادیویی که به صورت پیوسته حسگری طیفی^{۱۰} را انجام داده و طیف های بلا استفاده را به صورت پویا شناسایی کرده و سپس از آن حفره ها^{۱۱} استفاده می کنند تعریف شده اند. در شبکه های رادیو شناختی کاربران ثانویه اجازه دارند که از قسمت هایی از باند های رادیویی مجوز دار به صورت فرصت طلبانه استفاده کنند به شرط آنکه از ایجاد تداخل مضر برای کاربران دارای مجوز جلوگیری شود. (صعیدزندی، ۱۳۹۰) استفاده از تکنولوژی رادیو شناختی یکی از مهمترین پیشرفت های تکنیکی در حوزه مخابرات سیار است. رادیو شناختی بدلیل کمبود منابع طیفی در دسترس و برای افزایش بهره وری هر چه بیشتر طیوف مورد استفاده معرفی شد. با توجه به نیاز روز افزون به طیف، استفاده از این تکنولوژی در استاندارد های اخیر یک امر لازم و ضروری می باشد. (احمدپور سامانی، ۱۳۹۱) استفاده از رادیو شناختی برای اولین بار توسط J.Mitolla مطرح گردید و افرادی مانند Akyildiz جایگاه ویژه آنرا در شبکه های نسل آینده مورد بررسی قرار دادند. (تفضلی و برنگی، ۱۳۹۰)

بیان مساله

تخصیص منابع در شبکه های رادیوشناختی یکی از مهمترین راهکارها، جهت کنترل تداخل، افزایش بهره وری شبکه و فراهم کردن کیفیت درخواستی کاربران است. منابع یک شبکه مخابراتی بی سیم، شامل توان ارسالی کاربران، باند فرکانسی، و کدهای ارسال است. در این میان، توان و فرکانس مهمترین و کلیدی ترین پارامترهای تخصیص منابع شبکه های رادیویی، جهت استفاده بهینه از منابع شبکه محسوب می شوند. (پارسایی فرد، ۱۳۹۱) لازم بذکر است که انتخاب مناسب کانال فرکانسی که بتواند کیفیت خدمات لازم را برای مشتریان فراهم آورد، از چالش های اساسی محسوب می شود. از طرف دیگر مسئله تخصیص فرکانس به کاربران ثانویه یک مسئله NP-complete است. در این مسئله باید بتوان به بهترین حالت ممکن فرکانس های جستجو شده را به کاربران ثانویه بر اساس کیفیت سرویس مورد نیاز آن ها اختصاص داد. به همین دلیل استفاده

^۶ Spectrum

^۷ Secondary Users

^۸ Primary Users

^۹ Interference

^{۱۰} Spectrum Sensing

^{۱۱} Spectrum Hole

از روش هایی که بتوانند در زمان محدود به جواب بهینه برسند، اهمیت فراوانی دارند. فرض می کنیم که کاربر ثانویه کیفیت سرویس مورد نیاز خود را برای یک کاربرد خاص مشخص می نماید و آن را به شبکه رادیو شناختی انتقال می دهد. شبکه رادیو شناختی اطلاعات (طیف فرکانسی موجود) را در مورد کل محیط رادیویی دریافت کرده است. این اطلاعات دریافت شده، مجموعه ای از راه حل های موجود برای تخصیص فرکانس به کاربر ثانویه را ارائه می دهد. نیازهای کیفیت سرویس نرم افزار های کاربردی کاربر ثانویه با راه حل های موجود در مجموعه مقایسه می شوند و بهترین راه حل ممکن اتخاذ می شود.

پیشینه تحقیق

در پژوهش دیگری (Kaur et al, 2012) با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرسوم (CGA)^{۱۲} و الگوریتم ژنتیک تطبیق پذیر (AGA)^{۱۳} با شرایط و فرضیات یکسان و مقایسه نتایج حاصل از هر دو الگوریتم، کیفیت سرویس مطلوب کاربران را با در نظر گرفتن هر یک از چهار حالت: ۱. توان مصرفی^{۱۴} کم ۲. بازدهی^{۱۵} بالا ۳. قابلیت اعتماد^{۱۶} بالا ۴. توان عملیاتی^{۱۷} بالا، بهینه نموده و طبق نتایج حاصله در تمامی حالت ها AGA سریعتر به راه حل بهینه همگرا می شود و و راه حل های بهینه تری نسبت به CGA انتخاب می کند. در پژوهش (Kaur and Rattan, 2013) پژوهشگر الگوریتم SA^{۱۸} را به عنوان یک تکنیک جستجوی پایه برای بهینه سازی مساله در سیستم شبکه رادیو شناختی، پیشنهاد می دهد. بو سیله این الگوریتم پارامترهای انتقال مختلفی از سیستم شبکه رادیو شناختی بمنظور دستیابی به اهداف مختلف بهینه سازی می شوند. در پژوهش دیگری (Vinutha and Sutha, 2014) از الگوریتم SA به همراه یک تابع چند هدفه جهت بهینه سازی شبکه رادیو شناختی بمنظور محقق ساختن نیازهای کیفیت سرویس کاربران رادیو شناختی شامل کمترین توان مصرفی، بیشترین توان عملیاتی و کمترین نرخ خطا استفاده می نماید. در پژوهش (Patil et al, 2015) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با در نظر گرفتن مساله بهینه سازی چند هدفه، برای رسیدن به حداکثر مقدار سرعت داده برای هر حامل، به حداکثر رساندن توان عملیاتی شبکه، به حداکثر رساندن تعداد کاربران راضی از کیفیت سرویس مورد تقاضای آن ها و تعیین بهترین کانال در دسترس، یک الگوریتم جدید پیشنهاد گردیده است.

تخصیص فرکانس یک مساله NP-complete

کیفیت سرویس در یک نرم افزار کاربردی شبکه ای می تواند به صورت زیر تعریف شود :

مجموعه ای از خصوصیات کمی و کیفی مورد نیاز در سیستم های ارتباطی برای به دست آوردن نتایج مطلوب در آن نرم افزار . (Jegade et al, 2013) می توان پنج پارامتر را برای کیفیت سرویس فرکانس رادیویی در نظر گرفت که عبارتند از: سرعت انتقال داده^{۱۹}، قدرت سیگنال^{۲۰}، نرخ خطای بیتی^{۲۱}، فرکانس عملیاتی^{۲۲} و تکنیک مدولاسیون^{۲۳}.

¹² Conventional Genetic Algorithm

¹³ Adaptive Genetic Algorithm

¹⁴ Power Consumption

¹⁵ Efficiency

¹⁶ Reliability

¹⁷ Throughput

¹⁸ Simulated Annealing

¹⁹ Data Rate

²⁰ Signal Power

²¹ Bit Error Rate

²² Operating Frequency

²³ Modulation Technique

فرض می کنیم که کاربر ثانویه کیفیت سرویس مورد نیاز خود را برای یک کاربرد خاص مشخص می نماید و آن را به شبکه رادیو شناختی انتقال می دهد. شبکه رادیو شناختی اطلاعات (طیف فرکانسی موجود) را در مورد کل محیط رادیویی دریافت کرده است. این اطلاعات دریافت شده، مجموعه ای از راه حل های موجود برای تخصیص فرکانس به کاربر ثانویه را ارائه می دهد. نیازهای کیفیت سرویس نرم افزارهای کاربردی کاربر ثانویه با راه حل های موجود در مجموعه مقایسه می شوند و بهترین راه حل ممکن اتخاذ می شود. مساله ای که وجود دارد عبارتست از تخصیص فرکانس به کاربران ثانویه رادیو شناختی بطوری که کیفیت سرویس مورد نیاز کاربران ثانویه به طور بهینه و در کمترین زمان ممکن تأمین شود. این موضوع ثابت شده است که مساله یافتن تخصیص فرکانس بهینه به کاربران رادیو شناختی با رویکرد تضمین کیفیت سرویس، NP-complete است. روش های اکتشافی می تواند برای حل مشکلات NP-complete استفاده شود زیرا آنها با سرعت کافی یک راه حل خوب برای مشکل پیدا می کنند. در میان تکنیک های هوش مصنوعی ارائه شده در زمینه شبکه های رادیو شناختی، سیستم های خبره^{۲۴}، شبکه های عصبی مصنوعی^{۲۵}، منطق فازی^{۲۶} و الگوریتم های اکتشافی وجود دارند. تمامی این روش های تصمیم گیری، انواع مختلف استدلال را برای رسیدن به راه حل مطلوب اتخاذ می کنند. اما هر کدام محدودیت های شدیدی دارند که ارزش عملیاتی آنها را در زمان واقعی در شبکه های رادیویی شناختی کاهش می دهد. سیستم های خبره، به دلیل نیاز به دانش کامل در مورد محیط، محدود هستند. منطق فازی اجازه می دهد که راه حل های تقریبی از ورودی های نامعتبر یافت شوند، که اجازه نمی دهد سیستم رفتار بهینه داشته باشد. شبکه های عصبی در این زمینه بیشتر قابل استفاده هستند اما محاسبات آنها پیچیده می باشد. الگوریتم های اکتشافی فرا ابتکاری^{۲۷} به خاطر سرعت بالا در پوشش فضای زیادی از پیکربندی ممکن شناخته شده اند، در نتیجه مناسب ترین راه حل را کشف می کنند. (El Morabit et al, 2015)

بررسی پژوهش های صورت گرفته

با بررسی پژوهش های صورت گرفته در حوزه تضمین کیفیت سرویس و بهینه سازی آن به دو دسته از پژوهش ها برخورد می کنیم. در یک دسته از پژوهش ها از قبیل (Kaur et al, 2012)، (Vinutha and Sutha, 2014) و (Patil et al, 2015) نرم افزار کاربر ثانویه مقدار دقیق پارامترهای کیفیت سرویس مورد نیاز خود را مشخص نمی کند بلکه از میان سه الی پنج حالت مطلوب موجود یکی را انتخاب می نماید و فرآیند تصمیم گیری بر اساس حالت انتخابی کاربر ثانویه اجرا می گردد به گونه ای که آن حالت مورد نظر تحقق یابد. این حالت ها عبارتند از: ۱. کمترین توان مصرفی ۲. کمترین نرخ خطا ۳. بیشترین بازدهی ۴. کمترین تداخل رادیویی ۵. بیشترین استفاده موثر از طیف فرکانسی. این دسته از پژوهش ها در حوزه مطالعاتی این پژوهش قرار نمی گیرند. در دسته دیگر از این پژوهش ها فرض بر این است که مقدار هر یک از پارامترهای کیفیت سرویس مورد نیاز نرم افزار مورد استفاده کاربر ثانویه در شبکه رادیو شناختی دقیقاً بطور جداگانه تعیین می گردد و سپس فرآیند تصمیم گیری صورت می گیرد به گونه ای که مقادیر پارامترهای راه حل انتخاب شده با مقادیر مورد نیاز کاربر کمترین اختلاف را داشته باشند. این دسته از پژوهش ها دقیقاً مورد مطالعه ما در این پژوهش می باشند و در ادامه مروری مختصر بر آن ها خواهیم داشت.

در پژوهشی با استفاده از الگوریتم ژنتیک رایج (TGA)^{۲۸} تخصیص فرکانس به کاربران ثانویه بر اساس کیفیت سرویس مورد تقاضای آن ها بوسیله نرم افزار Matlab شبیه سازی و نتایج حاصل بصورت نمودار مطابق شکل ۱، ارائه شده است. در این پژوهش از پنج پارامتر کیفیت سرویس (نرخ داده، قدرت سیگنال، فرکانس عملیاتی، نرخ خطا و تکنیک مدولاسیون) در شبیه سازی استفاده شده و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم ژنتیک ۱۰۰ درصد به جواب نمی رسد اما مطمئناً در بهترین زمان ممکن یک راه حل بهینه را ارائه می دهد. (Siddique and Azam, 2010)

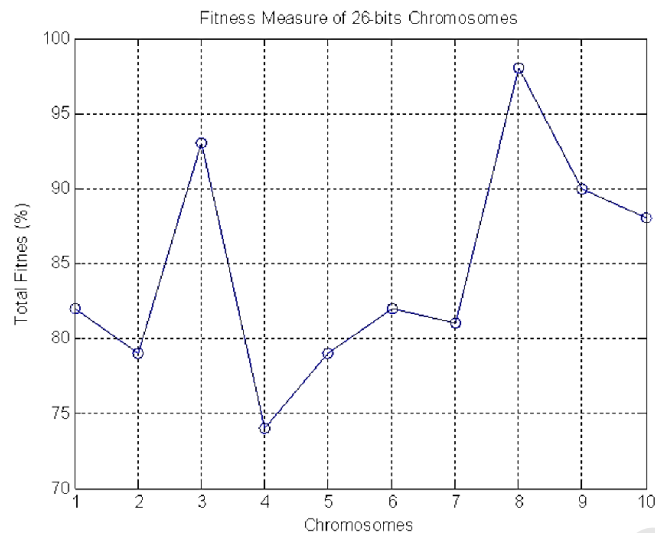
²⁴ Expert Systems

²⁵ Artificial Neural Networks

²⁶ fuzzy logic

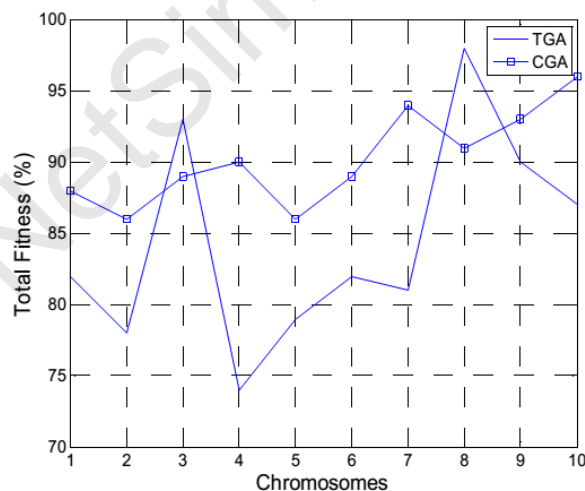
²⁷ Meta-Heuristic

²⁸ Traditional Genetic Algorithms

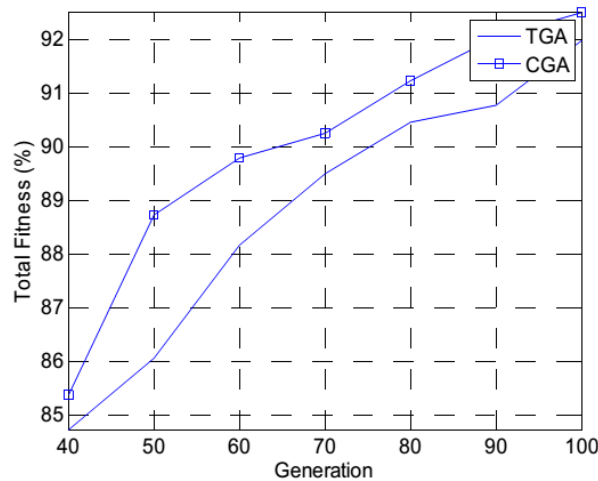


شکل ۱- اندازه تابع برازندگی کل مربوط به کروموزم های حاصل شده

در پژوهشی دیگر با استفاده از الگوریتم ژنتیک بی نظمی (CGA)^{۲۹} سعی بر یافتن بهترین فرکانس قابل تخصیص به کاربران با تضمین کیفیت سرویس مورد درخواست آن ها نموده است. در این مساله تمامی شرایط و مفروضات و پارامترهای کیفیت سرویس مساله را دقیق مانند پژوهش (Siddique and Azam, 2010) در نظر گرفته و نتایج حاصل از شبیه سازی را با هم مقایسه نموده است. مطابق شکل های ۲ و ۳، نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که نتایج حاصل از الگوریتم CGA بهتر و پایدارتر از نتایج حاصل از الگوریتم TGA می باشد. (Jegade et al, 2013)

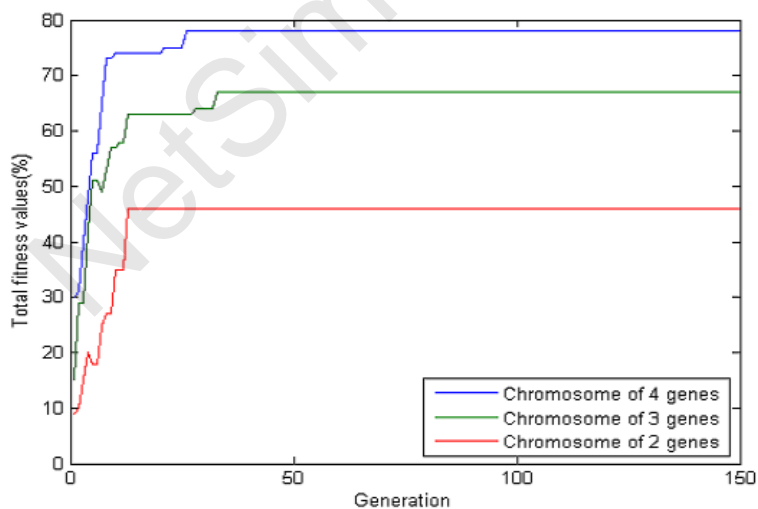


شکل ۲- اندازه تابع برازندگی کل مربوط به کروموزم های حاصل شده

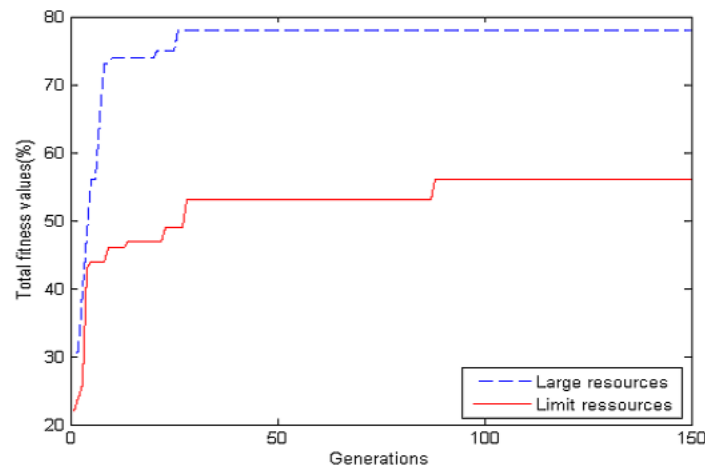


شکل ۳- اندازه تابع برازندگی بر اساس مراحل تولید نسل

در پژوهشی دیگر با در نظر گرفتن ۴ پارامتر کیفیت سرویس (قدرت، باند فرکانسی، نرخ خطا و مدولاسیون) و با استفاده از الگوریتم ژنتیک سعی بر یافتن بهترین فرکانس قابل تخصیص به کاربران بر اساس کیفیت سرویس مورد تقاضای آن ها دارد. همچنین تاثیر دو عامل: ۱. اندازه منابع طیف فرکانسی موجود که در الگوریتم ژنتیک به عنوان اندازه جمعیت تعریف میشود و ۲. تعداد ژن های کروموزوم تعریف شده در تخصیص فرکانس. را در نتایج حاصل از شبیه سازی مورد بررسی قرار می دهد. نتایج حاصل نشان می دهد که مطابق شکل ۴، با افزایش تعداد ژن های کروموزوم (پارامتر های کیفیت سرویس) و همچنین مطابق شکل ۵، با افزایش اندازه منابع طیف فرکانسی همگرایی سریعتر و جواب حاصله بهینه تر می گردد و تخصیص فرکانس را بهبود می دهد. (El Morabit et al, 2015)



شکل ۴- تابع برازندگی کل بر اساس تعداد ژن های کروموزوم



شکل ۵- تابع برازندگی کل بر اساس سایز منابع

محاسبه تابع برازندگی چند هدفه

از بررسی پژوهش‌های صورت گرفته مشخص است که جهت بهینه‌سازی این مساله تاکنون از الگوریتم ژنتیک^{۳۰} کلاسیک و یا الگوریتم‌های ژنتیک توسعه یافته استفاده شده و محققان نتایج حاصل از هر یک از روش‌ها را با یکدیگر مقایسه نموده‌اند. همچنین واضح هست با یک مساله بهینه‌سازی چند هدفه روبرو هستیم، چرا که برای حل این مساله باید با جستجو در فضای مساله راه حلی یافت شود که بتواند همگی پنج پارامتر مورد تقاضای کاربر ثانویه را در کمترین زمان ممکن محقق نماید. در تمامی پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه، روشی تقریباً مشابه برای محاسبه تابع برازندگی چند هدفه جهت بهینه‌سازی این مساله بوسیله الگوریتم ژنتیک استفاده شده است و مسلماً این روش را می‌توان در استفاده از دیگر الگوریتم‌های اکتشافی جهت بهینه‌سازی این مساله، بکار گرفت. لذا با توجه به اهمیت نحوه محاسبه تابع برازندگی چند هدفه و بمنظور سهولت پژوهشگران در استفاده از دیگر الگوریتم‌های اکتشافی جهت بهینه‌سازی این مساله در ادامه نحوه محاسبه تابع برازندگی بطور کامل شرح داده می‌شود. فرض ما بر این است که محیط رادیویی حس شده و اطلاعات طیف فرکانسی مطلوب کاربر ثانویه دریافت گردیده است، در این زمان شبکه رادیو شناختی باید در مورد انطباق اطلاعات طیف فرکانسی دریافت شده با شرایط مطلوب کاربر ثانویه تصمیم‌گیری نماید. لازم بذکر است که اطلاعات طیف فرکانسی مورد تقاضای کاربر ثانویه در واقع نیازهای کیفیت سرویس نرم افزار مورد استفاده کاربر در لایه کاربردی شبکه می‌باشد و اطلاعات حس شده از محیط رادیویی یک مجموعه از راه‌حل‌های ممکن را برای تخصیص طیف فرکانسی به کاربر ثانویه ایجاد می‌کند. در این جا تنها پنج پارامتر مهم از پارامترهای کیفیت سرویس فرکانس رادیویی را در نظر می‌گیریم. این پارامترها عبارتند از: نرخ داده، قدرت سیگنال، نرخ خطا، فرکانس عملیاتی و تکنیک مدولاسیون.

کدگذاری ده دهی^{۳۱}

در ادامه محدوده هریک از ۵ پارامتر کیفیت سرویس ذکر شده را مقداری مفروض در نظر گرفته و بر اساس سایز سطح تقسیم بندی محدوده‌ها، هر سطح محدوده را با یک کد ده دهی نمایش می‌دهیم. بنابراین زمانی که کاربر ثانویه بخواهد

³⁰ Genetic Algorithms

³¹ Decimal Encoding

تقاضای کیفیت سرویس مطلوب خود را ارسال کند کافیسست که کد دهی مطابق با سطح مورد نظر خود را برای هر پارامتر مشخص نماید.

نرخ داده

نرخ داده یا سرعت داده عبارتست از نرخ بیت های انتقال یافته در واحد زمان که با واحد بیت بر ثانیه^{۳۲} نشان داده می شود. فرض می کنیم نرخ داده در محدوده ۰ تا ۲ Mbps و هر سطح برابر با ۱۲۵ Kbps در نظر گرفته شود. بنابراین مطابق جدول ۱، ۱۶ عدد جهت نمایش این پارامتر به صورت کد دهی مورد نیاز است.

جدول ۱ - فرم دهی پارامتر نرخ داده

کد دهی	۰	۱	۲	.....	۷	۸	.....	۱۳	۱۴	۱۵
نرخ داده	۱۲۵ تا ۰ Kbps	۲۵۰ تا ۱۲۶ Kbps	۳۷۵ تا ۲۵۱ Kbps	.....	۱,۰۰۰ تا ۰,۸۷۶ Mbps	۱,۱۲۵ تا ۱,۰۰۱ Mbps	.....	۱,۷۵۰ تا ۱,۶۲۶ Mbps	۱,۸۷۵ تا ۱,۷۵۱ Mbps	۲,۰۰۰ تا ۱,۸۷۶ Mbps

قدرت سیگنال

قدرت یا توان سیگنال، یک پارامتر رادیویی خیلی مهم در ارتباطات می باشد. در ارتباطات پر ارزش مقدار مشخصی از آن برای کاربردهای خاص مورد نیاز است، بطوری که قدرت سیگنال خیلی زیاد و یا کمتر از میزان مورد نیاز ممکن است ارتباط را تحت تاثیر قرار دهد. مقدار مشخص قدرت سیگنال امکان ارتباط بدون خطا و موفقیت با احتمال بالایی را فراهم می کند. همچنین تعداد خطاها با افزایش قدرت سیگنال می تواند کاهش می یابد. محدوده قدرت سیگنال را مقداری از -۳۱dBm تا ۳۱dBm و جهت کد نمودن به طیف دهی، هر سطح را برابر با ۱dBm در نظر می گیریم. در این صورت عدد ۰ نشان دهنده محدوده -۳۱dBm تا -۳۰dBm می باشد. مطابق جدول ۲، زیر ۶۳ عدد جهت نمایش این پارامتر مورد نیاز می باشد.

جدول ۲ - فرم دهی پارامتر قدرت سیگنال

کد دهی	۰	۱	۲	۳	.....	۳۱	.....	۶۱	۶۲
قدرت سیگنال (dBm)	-۳۱	-۳۰	-۲۹	-۲۸	.....	۰	.....	۳۰	۳۱

³² Bits per Seconds

نرخ خطا

نرخ خطای بیتی عبارتست از تعداد بیت های ارسال شده توسط فرستنده که توسط گیرنده در یک محدوده زمانی مشخص دریافت نشده است. نرخ خطا به نوع نرم افزاری که کاربر استفاده می کند بستگی دارد. در واقع هر نرم افزار کاربردی به نرخ خطای ویژه ای نیازمند است، به عنوان مثال نرم افزار های پخش ویدیو می توانند نرخ خطای بالایی را تحمل کنند اما در مورد پهنای باند نمی توانند هیچ گونه کاهشی را پذیرا باشند و از طرف دیگر نرم افزار های پخش صوت مبتنی بر IP^{۳۳} به پهنای باند بالایی نیاز نداشته اما بسیار به خطا حساس بوده و نرخ خطا را نمی توانند بپذیرند. نرخ خطای شبکه های بی سیم بیشتر از شبکه های سیمی می باشد و لازم است که این خطاها بوسیله تکنیک ها و فرآیندهایی چون افزایش قدرت سیگنال کاهش داده شوند. محدوده نرخ خطا را از 10^{-16} تا 10^{-1} و سایز هر سطح را برابر با 10^{-1} در نظر می گیریم، بنابراین طبق جدول ۳، برای نمایش این پارامتر با کد دهی ۱۶ عدد مورد نیاز است.

جدول ۳ - فرم دهی پارامتر نرخ خطا

کد دهی	۰	۱	۲	۳	.....	.....	.....	۱۴	۱۵
نرخ خطا (BER)	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	.....	.....	.....	10^{-15}	10^{-16}

فرکانس عملیاتی

هر نرم افزار برای ایجاد ارتباط از یک فرکانس خاص جهت ارسال و دریافت اطلاعات استفاده می کند. محدوده فرکانس عملیاتی را از ۰ تا ۲۰ MHz در نظر می گیریم. تعداد کاربرانی که همزمان می توانند با این باند فرکانسی ارتباط برقرار کنند با تعریف سایز هر سطح مشخص می گردد. برای این منظور سایز هر سطح برابر با ۴۰ KHz در نظر گرفته شده است که ۵۰۰ باند فرکانسی را فراهم می کند، یعنی ۵۰۰ عدد کاربر همزمان می توانند از این باند فرکانسی استفاده نمایند. بنابراین طبق جدول ۴، عدد جهت نمایش این پارامتر با کد دهی مورد نیاز است.

جدول ۴ - فرم دهی پارامتر باند فرکانسی

کد دهی	۰	۱	۲	۳	.....	.....	۲۴۹	۴۹۷	۴۹۸	۴۹۹
باند فرکانسی	۴۰ تا ۸۰ KHz	۸۰ تا ۱۶۰ KHz	۱۶۰ تا ۲۴۰ KHz	۲۴۰ تا ۳۲۰ KHz	.....	.....	۱۰ تا ۹۹۶۱ MHz	۱۹۹۲۰ تا ۱۹۹۸۸۱ MHz	۱۹۹۹۶۰ تا ۱۹۹۹۹۹۱ MHz	۲۰ تا ۱۹۹۹۹۹۹۱ MHz

³³ Voice over IP (VoIP)

تکنیک مدولاسیون

در ارتباطات راه دور مدولاسیون ارتباطات متنوعی از دو شکل موج متفاوت را تعریف می کند، بنابراین تکنیک مدولاسیون برای ارتباط در هر نرم افزاری مورد نیاز است. برای مدولاسیون تمامی ۸ تکنیک موجود را در نظر می گیریم، بنابراین برای نمایش کد ده دهی این پارامتر مطابق جدول ۵، ۸ عدد مورد نیاز می باشد.

جدول ۵ - فرم ده دهی پارامتر تکنیک مدولاسیون

کد ده دهی	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
تکنیک مدولاسیون	BPSK	QPSK	GMSK	16QAM	DPSK	MSK	OFDM	OOK

ساختار راه حل مساله

جدول ۶، ساختار مربوط به هر یک از راه حل های موجود برای مساله مورد نظر را نمایش می دهد. زمانی که کاربر ثانویه بخواهد تقاضای کیفیت سرویس مطلوب خود را ارسال کند کافیهست که کد دهدهی مطابق با سطح مورد نظر خود برای هر پارامتر را در قالب این ساختار ارسال کند.

جدول ۶ - ساختار راه حل مساله

ردیف	پارامتر	کد ده دهی
۱	نرخ داده	۰ تا ۱۵
۲	قدرت سیگنال	۰ تا ۶۲
۳	نرخ خطا	۰ تا ۱۵
۴	فرکانس عملیاتی	۰ تا ۴۹۹
۵	تکنیک مدولاسیون	۰ تا ۸

اندازه تابع برازندگی (FM)^{۳۴}

تا این مرحله یک ساختار راه حل برای مساله معرفی گردید، تابع برازندگی برای هر راه حل قابل محاسبه بوده و مشخص می کند که تا چه میزان یک راه حل می تواند ما را به جواب بهینه نزدیک تر و یا از آن دورتر نماید، تابع برازندگی حاوی یک مقدار عددی است که هر چه مقدار آن بیشتر باشد به این معنی است که راه حل مربوطه ما را به جواب بهینه نزدیک تر می نماید.

³⁴ Fitness Measure

وزن پارامتر

روش مورد استفاده در محاسبه تابع برازندگی چند هدفه، ترکیب اهداف با استفاده از روش مجموع وزن پارامترهای راه حل مورد بررسی، به یک تابع چند هدفه می باشد. وزن هر پارامتر نشان دهنده میزان هزینه آن پارامتر در ساختار راه حل مساله می باشد. در این روش وزن هر پارامتر برابر با حداقل تعداد بیت های لازم برای تبدیل محدوده دهی پارامتر به دودویی^{۳۵} در نظر گرفته است. در صورتی که وزن هر پارامتر را به درصد نشان دهیم، مجموع وزن همه پارامتر های راه حل برابر ۱۰۰ درصد می گردد.

برای هر پارامتر در ساختار راه حل معرفی شده، علاوه بر وزن پارامتر یک مقدار عددی صحیح در محدوده کد دهی تعریف شده برای آن پارامتر وجود دارد که به آن نقطه برازندگی (FP)^{۳۶} می گویند. به عنوان مثال در مورد پارامتر فرکانس عملیاتی، نقطه برازندگی می تواند برابر هر مقداری در رنج ۰ تا ۴۹۹ باشد و این مقدار صرفا بستگی به انتخاب پژوهشگر دارد. در پژوهش (Siddique and Azam, 2010) این مقادیر مطابق جدول ۷، انتخاب گردیده است.

جدول ۷ - مقدار دهی نقطه برازندگی پارامتر های راه حل

نقطه برازندگی	پارامتر	مقدار نقطه برازندگی
FP1	نرخ داده	۶
FP2	قدرت سیگنال	۲۰
FP3	نرخ خطا	۷
FP4	فرکانس عملیاتی	۲۰۰
FP5	تکنیک مدولاسیون	۱

در مورد فرکانس عملیاتی با محدوده ۰ تا ۴۹۹، مقدار نقطه برازندگی مقدار ۲۰۰ تعریف شده است که نشان می دهد که الگوریتم جستجو برای یافتن مقدار بهینه پارامتر فرکانس عملیاتی، تا محدوده ۲۰۰ عدد بالاتر و پایین تر از مقدار مورد تقاضای کاربر ثانویه را جستجو می نماید. به عنوان مثال اگر پهنای باند فرکانسی مورد تقاضای کاربر ثانویه مقدار ۳۰۰ باشد، الگوریتم جستجو ۳۰۰ را به عنوان یک نقطه مرکزی در نظر گرفته و راه حل هایی با ۲۰۰ مقدار بالاتر و پایین تر از این مقدار را به عنوان فضای جستجو در نظر می گیرد، بنابراین در این مثال فضای جستجو راه حل هایی با مقدار ۱۰۱ تا ۴۹۹ برای فرکانس عملیاتی می باشد. همانطور که مشاهده می کنید مقادیر نقطه برازندگی در جدول ۷، برابر با تقریباً نصف محدوده کد دهی پارامتر انتخاب شده است تا تقریباً تمامی محدوده کد دهی پارامتر مورد نظر را پوشش داده و شانس انتخاب راه حل با مقدار های بهینه را افزایش دهد. در مرحله بعد قدر مطلق اختلاف مقدار پارامتر مورد تقاضای کاربر با مقدار پارامتر راه حل انتخاب شده طبق فرمول ۱، محاسبه می گردد.

فرمول ۱:

$$Absolute\ Difference(ABS) = |(Solution's\ Parameter - Applicaton's\ Parameter)|$$

³⁵ Binary

³⁶ Fitness Point

سپس مقدار قدر مطلق (ABS) با مقدار نقطه برازندگی (FP) پارامتر مقایسه می شود و با در نظر گرفتن PW به عنوان وزن پارامتر، مقدار تابع برازندگی پارامتر (FM) طبق فرمول ۲، محاسبه می گردد:

فرمول ۲:

$$\text{Fitness Measure of the Parameter} = \begin{cases} [(PW \times ABS) \div FP] & \text{if } FP > ABS \\ PW & \text{if } FP \leq ABS \end{cases}$$

این بدان معناست که اگر تفاوت میان مقدار پارامتر مورد تقاضای کاربر با پارامتر راه حل مورد بررسی کمتر از سایز FP باشد، بنابراین پارامتر راه حل مورد بررسی داخل فضای جستجو قرار می گیرد، پس به میزان نزدیک بودن مقدار پارامتر راه حل مورد بررسی با پارامتر مورد تقاضای کاربر، مقدار وزن پارامتر مورد بررسی کاهش می یابد و در مقدار تابع برازندگی پارامتر قرار می گیرد و به نوعی مطلوبیت پارامتر را در راه حل مورد بررسی افزایش می دهد، در غیر اینصورت پارامتر راه حل مورد بررسی داخل فضای جستجو قرار نمی گیرد و مقدار تابع برازندگی پارامتر برابر با وزن پارامتر می گردد. در پژوهشی در محاسبه تابع برازندگی پارامتر، مقدار FP برابر با مقدار پارامتر مورد تقاضای کاربر در نظر گرفته شده است. (El Morabit et al, 2015)

اندازه تابع برازندگی کل راه حل

برای این منظور ابتدا طبق فرمول ۳، مقادیر تابع برازندگی همگی پارامتر ها با هم جمع می گردد:

فرمول ۳:

$$SUM = FM_{DG} + FM_{PG} + FM_{EG} + FM_{FG} + FM_{MG}$$

که FM_{DG} عبارتست از تابع برازندگی پارامتر نرخ داده، FM_{PG} عبارتست از تابع برازندگی پارامتر قدرت سیگنال، FM_{EG} عبارتست از تابع برازندگی پارامتر نرخ خطا، FM_{FG} عبارتست از تابع برازندگی پارامتر فرکانس عملیاتی و FM_{MG} عبارتست از تابع برازندگی پارامتر تکنیک مدولاسیون.

مشخص است که در بدترین حالت، زمانی که هیچ یک از پارامترهای راه حل مورد بررسی در محدوده فضای جستجوی مساله قرار نمی گیرند، مقدار تابع برازندگی هر پارامتر برابر با وزن آن پارامتر شده و مجموع آن ها برابر با مقدار ۱۰۰ می گردد. از آنجا که با مطلوب تر بودن راه حل، تابع برازندگی کل راه حل باید افزایش پیدا نماید و با توجه به این که حداکثر مقدار این جمع برابر با ۱۰۰ می باشد، بنابراین تابع برازندگی کل راه حل مورد بررسی از فرمول ۴، محاسبه می گردد:

فرمول ۴:

$$\text{Total Fitness Measure Solution} = 100 - SUM$$

بحث و نتیجه گیری

طی مطالعات انجام شده در مورد موضوع مورد مطالعه تنها سه پژوهش مرتبط یافت شد که در آن ها پژوهشگران جهت بهینه سازی مساله تخصیص فرکانس از الگوریتم ژنتیک کلاسیک و یا الگوریتم های ژنتیک توسعه یافته استفاده نموده و نتایج حاصل از هر یک از روش ها را با یکدیگر مقایسه نموده اند. در ادامه با توجه به اهمیت نحوه محاسبه تابع برازندگی چند هدفه و بمنظور سهولت پژوهشگران در استفاده از دیگر الگوریتم های اکتشافی جهت بهینه سازی این مساله، روش محاسبه تابع برازندگی چند هدفه که در پژوهش های بررسی شده بکار گرفته شده است بطور کامل شرح داده شد.

بنابراین مشخص است که در این موضوع زمینه فعالیت وسیعی جهت تحقیقات آتی بصورت توسعه الگوریتم های استفاده شده و یا استفاده از دیگر الگوریتم های اکتشافی و روش های بهینه سازی دیگری چون شبکه های عصبی، سیستم های خبره و مقایسه نتایج حاصل با روش های پیشین وجود خواهد داشت. انجام پژوهش هایی جهت رسیدن به همگرایی سریعتر و مقادیر بهینه تر در مسله مورد مطالعه، مسلماً در افزایش کارایی و کاربرد شبکه های رادیو شناختی بسیار موثر خواهد بود.

منابع

- احمدپور سامانی، م. (۱۳۹۱). کنترل سرعت ارسال داده و فرم دهی پرتو برای دستیابی پویا به طیف در شبکه های رادیو شناختی. پایان نامه، دانشگاه بیرجند، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.
- پارسایی فرد، س. (۱۳۹۱). تخصیص توزیعی منابع به صورت مقاوم و کارآمد در شبکه های رادیویی هوشمند. دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر. دانشکده تربیت مدرس.
- تفضلی، ص. و برنگی، ر. (۱۳۹۰). دگرسپاری رادیو شناختی در شبکه های بی سیم سلولی. مجموعه سمینار های کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت (ص. ۱۰۵-۱۱۷). دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت.
- زارع آغداش، ص. (۱۳۹۲، شهریور). بهبود سنجش طیف در شبکه های رادیو شناختی. ششمین اجلاس جنگ الکترونیک / ایران.
- صعیدزندی، م. (۱۳۹۰). حسگری طیفی مشارکتی در چند باند در شبکه های رادیو شناختی. پایان نامه، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده برق و کامپیوتر.
- عباسی، پ. و برنگی، ر. (۱۳۹۰). معماری شبکه های رادیوی شناختی سلولی. مجموعه سمینار های کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت (ص. ۹۷-۱۰۵). دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت.

El Morabit, Y. , Mrabti, F. and Abarkan, E. (2015). Spectrum allocation using genetic algorithm in cognitive radio networks. (90-93). Agadir: IEEE.

Jegade, O. , Ferens, K. and Kinsner, W. (2013). A Chaotic Genetic Algorithm for Radio Spectrum Allocation . Canada: Dept. of Electrical and Computer Engineering.

Kaur, K. and Rattan, M. (2013). Optimization of cognitive radio system using simulated annealing, Wirel. Pers. Commun. 71 (2) 1283–1296.

Kaur, M. , Uddin, M. and Verma, H. (2012). Optimization of QoS Parameters in Cognitive Radio using Adaptive Genetic Algorithm. International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN), (4)2.

Patil, D. , Wankhede, V. and Wadhai, V. (2015). Genetic Algorithm Based QoS Aware Adaptive Subcarrier Allocation in Cognitive Radio Networks. *Wireless Engineering and Technology*, 6, 87-97.

Siddique, T. and Azam, A. (2010). "Spectrum optimization in cognitive radio newtworks using genetic algorithm," Blekinge Institute of Technology, Sweden: Academic.

Vinutha, P. and Sutha, J. (2014). QOS parameter optimization for cognitive radio networks, *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Technol. (IJARCST)* 2 (1) 204–208.

NetSimulate.net