دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی برق-گرایش مخابرات سیستم

عنوان پایان‌نامه:

تخصیص توان بهینه در شبکه‌های رادیویی شناختی مشارکتی مبتنی بر رله

استادان راهنما جناب آقای دکتر حمیدرضا بخشی
سرکار خانم دکتر نرگس زوری

نگارش نرگس زوری

تابستان ۱۳۹۰

	اظهارنامه دانشجو	شماره : تاریخ :

اینجانب نرگس نوری دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی برق گرایش مخابرات سیستم دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد، گواهی می‌دهم که پایان‌نامه تدوین‌شده حاضر با عنوان؛ " تخصیص توان بهینه در شبکه‌های رادیویی شناختی مشارکتی مبتنی بر رله " به راهنمایی استادان محترم جناب آقای دکترحمیدرضا بخشی و سرکار خانم دکتر نرگس نوری، توسط شخص اینجانب انجام و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تأیید است و چنان‌چه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان‌نامه حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدرک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نماید. هم‌چنین اعلام می‌دارد در صورت بهره‌گیری از منابع مختلف شامل؛ گزارش‌های تحقیقاتی، رساله، پایان‌نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منبع مورد استفاده و پدید آورنده آن به‌طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان‌نامه حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارایه نشده است. در تدوین متن پایان‌نامه حاضر، چارچوب (فرمت) مصوب تدوین گزارش‌های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به‌طور کامل مراعات‌شده و نهایتاً این‌که، کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان‌نامه حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: .....

امضاء دانشجو:

تاریخ:

به آنان که جان حرمت بی دریغ پروردگارند:

پدر بزرگوار

و

مادر مهربانم

سپاس از آن اوست

تشکر و قدردانی

پس از حمد و سپاس به درگاه ایزد یکتا، بر خود لازم می‌دانم که از زحمات استادان گرامیم جناب آقای دکتر حمیدرضا بخشی و سرکار خانم دکتر نرگس نوری که در طول این دوره از راهنمایی‌های دلسوزانه و راهگشایشان بهره‌های فراوان برده‌ام، تشکر و قدردانی نمایم.

هم‌چنین از اساتید محترم، جناب آقای دکتر سید محمد رضوی‌زاده و جناب آقای دکتر بابک سیف که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده گرفته و با راهنمایی‌ها و پیشنهادهای ارزنده خود بر غنای آن افزودند، صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

✧✧✧✧✧✧✧✧✧✧

این پایان‌نامه طبق قرارداد پژوهشی شماره ۵۰۰/۱۱۸۳/ت، تحت حمایت و پشتیبانی معنوی و مادی مرکز تحقیقات مخابرات ایران قرار گرفته است. در این‌جا بر خود لازم می‌دانم که از مسئولان این مرکز کمال تشکر را بنمایم.

چکیده

رادیوی شناختی یک رهیافت مؤثر به‌منظور بهبود استفاده از طیف است. این رهیافت براساس تقسیم طیف میان کاربران اولیه و کاربران ثانویه می‌باشد. کاربران اولیه برای استفاده از طیف مورد نظر دارای مجوز بوده و اجازه دسترسی به طیف را در هر زمانی دارا می‌باشند. کاربران ثانویه به صورت دینامیکی و فرصت‌طلبانه به طیف دسترسی دارند با این شرط که موجب تداخل غیرقابل تحمل برکاربران اولیه نگردند. در این پایان‌نامه، یک سیستم مشارکتی شناختی مبتنی بر رله در نظر گرفته شده و روش‌هایی پیشنهاد شده است که شرایط همزیستی برای کاربران اولیه و ثانویه را به‌گونه‌ای فراهم کند که کیفیت سرویس در هر دو شبکه تأمین شود. در روش پیشنهادی اول، به‌منظور تضمین کیفیت مطلوب، آنتن‌های آرایه‌ای در نقاط رله مورد استفاده قرار گرفته و طرح توأم تخصیص توان و شکل-دهی پرتو در این نقاط و در چندین مرحله صورت گرفته است. در روش دوم، برای افزایش احتمال دستیابی به کیفیت سرویس مورد نیاز در ارسال مستقیم، آنتن آرایه‌ای در فرستنده ثانویه به‌کار گرفته شده است؛ و به‌منظور پشتیبانی از لینک مستقیمی که با شکست روبرو گشته و تأمین‌کننده کیفیت سرویس مطلوب نمی‌باشد، رله‌های مجهز به آنتن‌های جهتی تکمیل‌کننده طرح خواهند بود. عملکرد روش‌های پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصل، روش‌های پیشنهادی در زمان شکست لینک مستقیم در تأمین کیفیت سرویس مطلوب، از طریق ایجاد لینک‌های غیرمستقیم با استفاده از رله‌ها پایدار باقی مانده و کیفیت سرویس مطلوب در هر دو شبکه را تضمین کرده‌اند.

کلید واژه‌ها:

شبکه رادیویی شناختی، ارتباطات مشارکتی، رله‌کردن، تخصیص توان، شکل‌دهی پرتو، ارسال‌های جهتی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- پیش‌گفتار ۱

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- هدف از انجام تحقیق ۲
۱-۳- ساختار پایان‌نامه ۲

فصل دوم- سیستم‌های رادیویی شناختی ۴

۲-۱- مقدمه ۴
۲-۲- مفاهیم و اصول اولیه رادیوی شناختی ۶
۲-۲-۱- فناوری‌های به‌اشتراک‌گذاری طیف ۸
۲-۲-۱-۱- رهیافت ارسال زمینه‌ای سیگنال‌ها ۸
۲-۲-۱-۲- رهیافت روی‌هم‌گذاری سیگنال‌ها ۹
۲-۳- مروری بر سیستم‌های رادیویی شناختی ۱۱
۲-۳-۱- سیر تکاملی ۱۱
۲-۳-۲- تعریف رادیوی شناختی ۱۳
۲-۳-۳- مشخصه‌های اصلی سیستم‌های رادیویی شناختی ۱۴
۲-۳-۴- چالش‌های موجود در سیستم‌های رادیویی شناختی ۱۵
۲-۴- چارچوب مدیریت طیف ۱۶
۲-۴-۱- چالش‌های موجود در مدیریت طیف ۱۶
۲-۴-۲- مقابله با چالش‌های موجود در مدیریت طیف ۱۷
۲-۴-۲-۱- حسگری طیفی ۱۷
۲-۴-۲-۲- تحلیل و تصمیم‌گیری طیفی ۲۰
۲-۴-۲-۳- تقسیم طیفی ۲۰
۲-۴-۲-۴- پویایی طیفی ۲۲
۲-۴-۳- استاندارد IEEE 802.22 ..... ۲۳
۲-۵- جمع‌بندی ۲۵

فصل سوم- کنترل و تخصیص توان در سیستم‌های رادیویی شناختی ۲۶

۳-۱- مقدمه ۲۶
۳-۲- مشارکت در سیستم‌های رادیویی شناختی ۲۷

۳-۳- سیستم‌های رادیویی شناختی مبتنی بر رله ۲۸
۳-۴- کنترل و تخصیص توان در سیستم‌های رادیویی شناختی مبتنی بر رله ۴۴
۳-۵- نتیجه‌گیری ۵۷

فصل چهارم- طرح توأم تخصیص توان و شکل‌دهی پرتو پیشنهادی با رله‌کردن چندپرشی ۵۸

۴-۱- مقدمه ۵۸
۴-۲- طرح توأم تخصیص توان و شکل‌دهی پرتو پیشنهادی ۶۰
۴-۲-۱- مدل سیستم ۶۰
۴-۲-۲- فرمول‌بندی مسأله ۶۷
۴-۳- الگوریتم ژنتیک ۶۹
۴-۳-۱- استفاده از الگوریتم ژنتیک در طرح پیشنهادی ۷۶
۴-۴- نتایج عددی عملکرد ۷۸
۴-۵- نتیجه‌گیری ۸۲

فصل پنجم- ایده استفاده از رله‌های جهتی در شبکه‌های رادیویی شناختی مشارکتی ۸۳

۵-۱- مقدمه ۸۳
۵-۲- طرح کنترل و تخصیص توان پیشنهادی همراه با شکل‌دهی پرتو و استفاده از رله‌های جهتی ۸۵
۵-۲-۱- مدل سیستم ۸۵
۵-۲-۲- فرمول‌بندی مسأله ۸۶
۵-۲-۳- استفاده از الگوریتم ژنتیک در طرح پیشنهادی ۹۶
۵-۲-۴- نتایج عددی عملکرد ۹۸
۵-۳- نتیجه‌گیری ۱۰۳

فصل ششم- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۰۴

۶-۱- جمع‌بندی ۱۰۴
۶-۲- نتیجه‌گیری ۱۰۵
۶-۳- پیشنهادها ۱۰۶

فرهنگ واژگان فارسی به انگلیسی ۱۰۸

فرهنگ واژگان انگلیسی به فارسی ۱۱۰

مراجع ۱۱۲

چکیده لاتین ۱۱۸

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: استفاده از فرکانس‌های مختلف در طول زمان ۵

شکل ۲-۲: نحوه توزیع توان در فرکانس‌های مختلف ۶

شکل ۲-۳: حفره‌های طیفی در باندهای فرکانسی و زمان‌های مختلف ۸

شکل ۲-۴: فناوری‌های به‌اشتراک‌گذاری طیف ۱۰

شکل ۲-۵: چرخه عملکرد هوشمندانه در یک رادیوی شناختی ۱۲

شکل ۲-۶: ساختار فیزیکی رادیوی شناختی ۱۵

شکل ۲-۷: پویایی طیفی جهت ارسال سیگنال ۲۲

شکل ۲-۸: نواحی تحت پوشش استاندارد IEEE 802.22 ..... ۲۴

شکل ۳-۱: ناحیه تداخل حاصل از ارسال مستقیم و ارسال از طریق رله در شبکه‌های رادیویی شناختی ۲۹

شکل ۳-۲: مشارکت در شبکه‌های رادیویی شناختی ۳۳

شکل ۳-۳: توان ارسالی و حداکثر ضریب گذردهی در شبکه ثانویه ۳۴

شکل ۳-۴: میانگین و واریانس هر پرش در شبکه رادیویی شناختی در قطاعی از دایره به‌اندازه $\left(\psi = \frac{\pi}{3}\right) \frac{\pi}{3}$ ۳۷

شکل ۳-۵: مقایسه رله کردن چندپرشی با و بدون همزمانی در یک شبکه رادیویی شناختی ۳۹

شکل ۳-۶: مدل سیستم بر اساس دسته‌بندی نقاط در شبکه شناختی ۴۱

شکل ۳-۷: احتمال قطع ارتباط بر حسب نسبت سیگنال به نویز تحت سه سناریوی، دسترسی طیفی کامل، غیرکامل و غیرکامل اما با مشارکت میان دسته‌ها ۴۲

شکل ۳-۸: مقایسه احتمال قطع ارتباط میان محدودیت بیشینه و میانگین توان تداخل ۴۳

شکل ۳-۹: کانال انتشار با رله چندآنتنه ۴۶

شکل ۳-۱۰: سبک و سنگین کردن میزان توان مصرفی میان ایستگاه پایه و رله ۴۷

شکل ۳-۱۱: مقایسه حداقل توان‌های کلی مصرفی کانال انتشار چندین ورودی-تک خروجی در حالات با و بدون رله چند آنتنه (نسبت سیگنال به مجموع تداخل و نویز (10dB)) ۴۹

شکل ۳-۱۲: میانگین احتمال قطع ارتباط بر حسب فاصله میان شبکه اولیه و ثانویه ۵۱

شکل ۳-۱۳: مدل سیستم رادیویی شناختی مشارکتی مبتنی بر رله ۵۴

شکل ۳-۱۴: مقایسه SINR در گیرنده ثانویه در حالت مشارکتی و غیرمشارکتی بر حسب حداکثر توان ارسالی فرستنده ثانویه ۵۶

شکل ۳-۱۵: SINR بر حسب قید توان تداخل در حالت مشارکتی ۵۶

شکل ۴-۱: مدل سیستم ۶۰

شکل ۴-۲: توان ارسالی رله‌ها ۷۹

شکل ۴-۳: مقایسه مجموع توان ارسالی رله‌ها، به‌ازای تعداد آنتن‌های مختلف ۸۰

شکل ۴-۴: SINR در گیرنده ثانویه، به‌ازای تعداد آنتن‌های مختلف ۸۱

شکل ۴-۵: میزان تداخل ایجادشده در گیرنده اولیه، به‌ازای تعداد آنتن‌های مختلف ۸۲

شکل ۵-۱: مدل سیستم ۸۶

شکل ۵-۲: پیکربندی سیستم موردنظر ۹۸

شکل ۵-۳: SINR در گیرنده‌های ثانویه در پایان ارسال مستقیم، به‌ازای تعداد آنتن‌های مختلف ۱۰۰

شکل ۵-۴: تداخل ایجادشده در گیرنده‌های اولیه در پایان ارسال مستقیم ، به‌ازای تعداد آنتن‌های مختلف ۱۰۱

شکل ۵-۵: SINR در گیرنده‌های ثانویه در پایان ارسال غیرمستقیم ۱۰۲

شکل ۵-۶: میزان تداخل ایجادشده در گیرنده‌های اولیه در پایان ارسال غیرمستقیم ۱۰۳

فهرست مخففها

AF: Amplify and Forward

AWGN: Additive White Guassian Noise

CF: Compress and Forward

CR: Cognitive Radio

DF: Decode and Forward

DPC: Dirty Paper Coding

FCC: Federal Communications Commission

FDD: Frequency Division Duplex

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

MAC: Medium Access Control

MIMO: Multiple Input Multiple Output

MISO: Multiple Input Single Output

MMSE: Minimum Mean Squared Error

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PU: Primary User

QoS: Quality of Service

RF: Radio Frequency

SDMA: Space Division Multiple Access

SDR: Software Defined Radio

SINR: Signal to Interference plus Noise Ratio

SNR: Signal to Noise Ratio

SU: Secondary User

TDD: Time Division Duplex

UHF: Ultra High Frequency

UWB: Ultra Wide Band

VHF: Very High Frequency

WRAN: Wireless Regional Area Network

فصل اول: پیش‌گفتار

۱-۱- مقدمه

طیف رادیویی یکی از منابع طبیعی با ارزش است که سیاست‌های تخصیص طیف به‌صورت ثابت و افزایش خدمات بی‌سیم در سال‌های اخیر، مسأله دستیابی به آن در بسیاری از باندها را تبدیل به موضوع بسیار پرمعنی‌تری از کمیابی فیزیکی طیف کرده است. گزارش‌های «کمیته ارتباطات فدرال»[1] شاهدی بر این ادعا هستند و نشان می‌دهند که کمیابی طیف نتیجه استفاده سنگین از طیف نبوده بلکه این امر ناشی از تخصیص فرکانس ایستا می‌باشد و از این‌رو بررسی روشی برای استفاده هرچه بهتر از منابع طیفی ضروری به‌نظر می‌رسد [۷-۱]. «رادیوی شناختی»[2] ایده‌ای امیدبخش برای غلبه بر مشکل کمیابی طیف است که مخابرات بی‌سیم امروزه با آن روبرو است. در این روش، با ایجاد امکان دستیابی «فرصت

[1] Federal Communications Commission (FCC)
[2] Cognitive Radio (CR)

طلبانه»[1] برای کاربران شناختی، که هم‌چنین «کاربران ثانویه»[2] نامیده می‌شوند، به طیفی که به‌صورت اصلی به شبکه اولیه اختصاص یافته است، کارایی طیفی بسیار بالاتری برای ارتباطات بی‌سیم فراهم می‌گردد [۸].

۱-۲- هدف از انجام تحقیق

در سناریوی استفاده فرصت‌طلبانه از طیف، تداخل ایجادشده توسط کاربران ثانویه در کاربران اولیه باید زیر «حدآستانه»[3] نگه داشته شود، در حالی‌که برای تضمین «کیفیت سرویس»[4] در شبکه ثانویه تلاش می‌گردد. به‌طور کلی، برای کاربران شناختی و «کاربران اولیه»[5] مشکل است که در یک ناحیه جغرافیایی، زمان و باند فرکانسی یکسان کار کنند. از این‌رو، تضمین کیفیت مطلوب در هر دو شبکه اولیه و ثانویه همواره از جمله چالش‌های موجود در پیاده‌سازی عملی شبکه‌های رادیویی شناختی بوده است. اما این امر می‌تواند با به‌کارگیری برخی روش‌ها از قبیل ارتباطات مشارکتی و ارسال‌های جهتی به نحو مطلوبی تحقق بخشیده شود. هدف از انجام تحقیق پیش رو، ارائه روش‌هایی است که علاوه بر تضمین کیفیت سرویس در شبکه اولیه که برای استفاده از طیف مجاز می‌باشد، شرایطی را فراهم کند که کاربران ثانویه نیز به کیفیت مطلوب دست‌یافته و همزیستی میان دو شبکه خللی در ارتباطات موجود در هیچ یک از شبکه‌ها ایجاد نکند.

۱-۳- ساختار پایان‌نامه

فعالیت‌های انجام‌شده در این پایان‌نامه در شش فصل تنظیم شده است. در فصل دوم، تاریخچه، مفاهیم، اصول اولیه و چالش‌های پیش‌روی شبکه‌های رادیویی شناختی ارائه شده است. در فصل سوم به مروری بر روش‌های موجود کنترل و

[1] Opportunistic
[2] Secondary Users (SUs)
[3] Threshold
[4] Quality of Service (QoS)
[5] Primary Users (PUs)

تخصیص توان در شبکه‌های رادیویی شناختی به‌منظور مقابله با چالش اصلی این شبکه‌ها، که اطمینان یافتن از کیفیت سرویس برای کاربرهای اولیه بوده هنگامی‌که برای حداکثر کردن کیفیت سرویس در کاربران ثانویه تلاش می‌گردد، پرداخته شده است. دو فصل بعدی پایان‌نامه شامل روش‌های پیشنهادی برای کنترل و تخصیص توان در شبکه‌های رادیویی شناختی مشارکتی مبتنی بر رله می‌باشند؛ که در روش اول، طرح توأم تخصیص توان و شکل‌دهی پرتو در نقاط رله و در چندین مرحله به‌کار گرفته شده است؛ و در روش دوم، به‌منظور افزایش احتمال دستیابی به کیفیت سرویس مطلوب در کاربران ثانویه از طریق لینک‌های مستقیم، فرستنده ثانویه مجهز به آنتن آرایه‌ای گشته و پشتیبانی لینک‌های مستقیم در زمان شکست، توسط رله‌های مجهز به آنتن‌های جهتی صورت گرفته است. در نهایت، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهایی برای ادامه کار در فصل ششم بیان گردیده است.

فصل دوم: سیستم‌های رادیویی شناختی

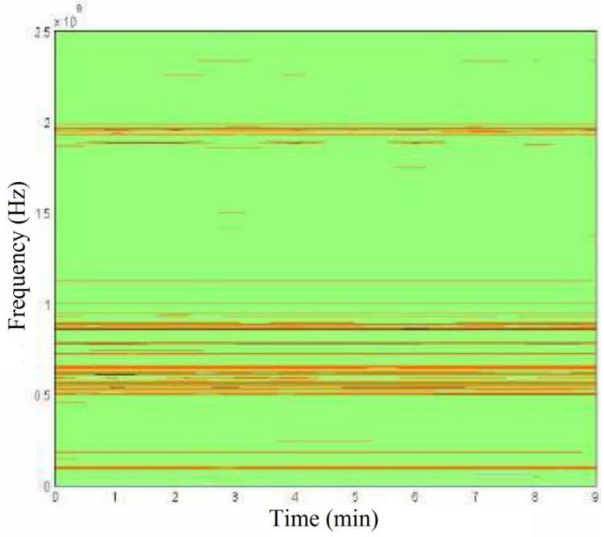
۲-۱- مقدمه

مقبولیت گسترده تبادل اطلاعات به‌صورت بی‌سیم و داشتن دسترسی همیشگی به سرویس‌های پرسرعت موجب افزایش تقاضا برای سیستم‌های مخابراتی با نرخ ارسال داده بالا شده است. این افزایش تقاضا و به‌دنبال آن افزایش تعداد کاربران چنین سرویس‌هایی، دسترسی به پهنای باند بیشتری را طلب می‌کند. روش‌های موجود سعی می‌کنند بهره‌وری طیفی را در یک پهنای باند خاص، که برای استفاده کاربر مورد نظر به‌صورت ثابتی تخصیص یافته است، حداکثر نمایند و به این ترتیب از پهنای باند موجود برای ارسال نرخ‌های داده بالاتر و ارائه خدمات بهتر به کاربران استفاده نمایند. به این ترتیب ممکن است که حتی با روش‌های جدید ارسال، سیستم‌های آتی نتوانند پاسخگوی این خیل عظیم متقاضیان استفاده از سیستم‌های بی‌سیم با نرخ داده بالا باشند. تنها روش ممکن برای رسیدن به نرخ‌های ارسال بالاتر، استفاده از پهنای باندهای فرکانسی بیشتر می‌باشد. با توجه به اینکه طیف فرکانسی یک منبع طبیعی محدود است، استفاده از آن برای گیرنده‌ها و فرستنده‌های سیستم‌های مخابراتی در هر کشور از طریق اختصاص منابع فرکانسی توسط سازمان‌ها و مراجع

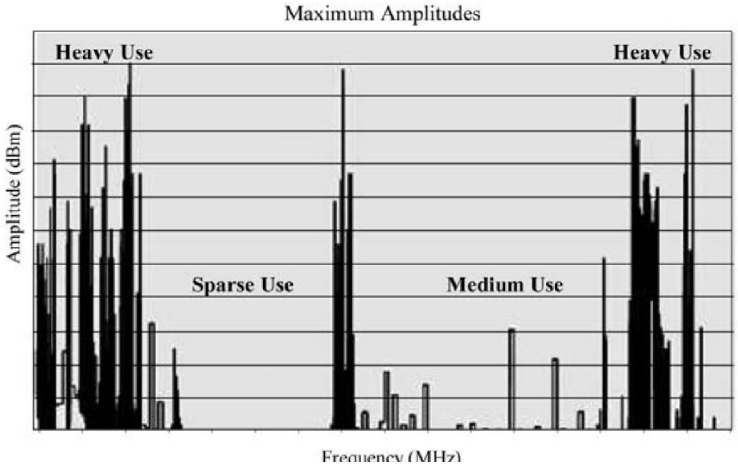
مرتبط با امر تخصیص فرکانسی آن کشور، صورت می‌گیرد. به این ترتیب دسترسی به پهنای باند فرکانسی گسترده و در نتیجه نرخ‌های ارسال بالا به‌سادگی امکان‌پذیر نخواهد بود.

اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط گروهی از محققان و هم‌چنین گزارش‌های منتشرشده از کمیته ارتباطات فدرال، [۱]، نشان می‌دهند که طیف فرکانسی به‌صورت بهینه مورد استفاده قرار نگرفته است و بخش‌های بدون استفاده مانده طیف فرکانسی در زمان‌ها و مکان‌های مختلف شاهدی بر این مدعا می‌باشد [۵-۲]. نحوه استفاده از منابع فرکانسی در طول زمان و هم‌چنین توزیع توان در فرکانس‌های مختلف به‌ترتیب در شکل‌های ۲-۱ و ۲-۲ نشان داده شده است. اندازه‌گیری‌های مشابه برای قسمت‌های مختلف طیف رادیویی حتی در مناطق پر ترافیک شهری، ما را متوجه نتایج زیر می‌نماید [۴]:

- برخی از باندهای فرکانسی در اغلب اوقات بدون استفاده هستند.
- برخی دیگر از باندهای فرکانسی تنها در پاره‌ای از اوقات و مکان‌ها استفاده می‌شوند.
- بقیه باندها در بیشتر مواقع و به‌شدت مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۲-۱: استفاده از فرکانس‌های مختلف در طول زمان [۴]



شکل ۲-۲: نحوه توزیع توان در فرکانس‌های مختلف [۴]

در واقع با بررسی مشاهدات مختلف صورت‌گرفته و نگاهی به جداول تخصیص فرکانس به‌خوبی می‌توان دریافت که به طور میانگین تنها حدود ۳۰٪ طیف فرکانسی تخصیص‌یافته به کاربردهای مختلف به‌طور کامل در تمامی زمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در سایر زمان‌ها استفاده بهینه‌ای از این منابع صورت نمی‌گیرد [۱]. در حقیقت، این نتایج بیانگر آن است که کمبود طیف فرکانسی، که سیستم‌های مخابراتی نوین با آن روبرو هستند، نتیجه استفاده زیاد از طیف نیست، بلکه این سیاست‌های نادرست تخصیص فرکانس است که منجر به عدم استفاده بهینه از طیف فرکانسی شده است. به همین دلیل، ارائه مکانیزمی به‌منظور استفاده هر چه بهتر از منابع فرکانسی و استفاده اشتراکی از این منابع مورد توجه قرار گرفته است. استفاده بهینه از طیف فرکانسی به‌وسیله روش‌های پویای مدیریت طیف تحقق می‌یابد.

۲-۲- مفاهیم و اصول اولیه رادیوی شناختی

وجود حفره‌های طیفی مختلف در باند فرکانسی و هم‌چنین در نظر گرفتن نیاز فراوان به پهنای باندهای بیشتر لزوم بررسی روشی برای استفاده هرچه بهتر از منابع طیفی را ضروری می‌سازد. راه‌حل این مسأله ایجاد مکانیزمی است که طی

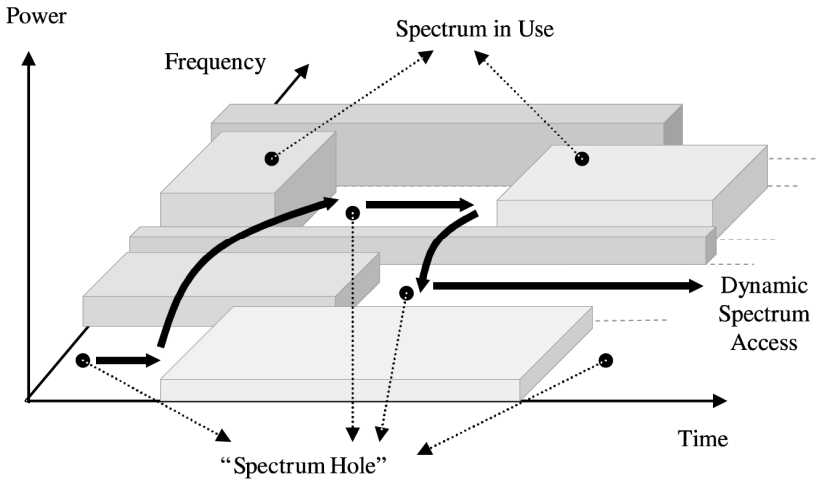
آن کاربران بتوانند به‌صورت فرصت‌طلبانه از باند استفاده کرده و کمترین تداخل را برای دیگر کاربران ایجاد کنند. بدین‌ترتیب مشکل کمبود منابع فرکانسی با تخصیص مجدد این منابع برای کاربردهای مختلف تا حدودی حل می‌شود. استفاده از سیستم‌های «اشتراک طیفی پویا»[1] رهیافتی امیدبخش است که در سال‌های اخیر بدین منظور مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است [۶، ۷].

در رابطه با سیستم‌های اشتراکی طیفی دو نوع کاربر تعریف شده است. دسته اول کاربرانی هستند که از طریق سازمان‌های تخصیص فرکانسی، حق استفاده از قسمت خاصی از طیف فرکانسی را دارند- که آن‌ها را کاربران اولیه می‌نامیم – به‌عبارت دیگر کاربران اولیه بالاترین اولویت را برای استفاده از بخشی از طیف فرکانسی که مجاز به فعالیت در آن هستند، داشته و در واقع مالکان اصلی آن بخش از طیف فرکانسی محسوب می‌شوند. در این راستا و با توجه به عدم استفاده بهینه از منابع فرکانسی موجود مفهوم جدیدی به نام حفره‌های فرکانسی مطرح شده است که به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

" یک حفره طیفی یک باند فرکانسی است که از ابتدا به یک کاربر اولیه تخصیص یافته است، اما در زمان خاص و یک منطقه جغرافیایی ویژه، کاربر اولیه این باند را مورد استفاده قرار نمی‌دهد. " [۸-۱۱]

بخش‌هایی از طیف که در زمان و یا فرکانس‌های مختلف مورد استفاده قرار نگرفته‌اند و از آن‌ها به‌عنوان حفره‌های طیفی یاد شد در شکل ۲-۳ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌گردد، تعداد و پهنای باند حفره‌های طیفی در طول زمان در حال تغییر است و چگالی توان قسمت‌هایی از طیف فرکانسی نیز که توسط کاربران اولیه استفاده می‌شود، تغییر می‌کند.

[1] Dynamic Spectrum Sharing



شکل ۲-۳: حفره‌های طیفی در باندهای فرکانسی و زمان‌های مختلف [۱۲]

مشکل عدم بهره‌وری بهینه از طیف فرکانسی و کمبود ظاهری آن را می‌توان به‌طور قابل توجهی از طریق معرفی دسته دوم کاربران که کاربران ثانویه نام دارند حل نمود. این کاربران از نظر استفاده از باند فرکانسی از اولویت پایین‌تری نسبت به کاربران اولیه برخوردارند و برای ارسال سیگنال خود از حفره‌های موجود در طیف بهره می‌جویند. در حقیقت در صورت وجود حفره‌های طیفی، این کاربران برای ارتباط خود از روش‌های مختلف به‌اشتراک‌گذاری طیفی بهره می‌گیرند که این روش‌ها در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۲-۱- فناوری‌های به‌اشتراک‌گذاری طیف

۲-۲-۱-۱- رهیافت ارسال زمینه‌ای سیگنال‌ها

در رهیافت اول که به‌اشتراک‌گذاری طیفی به روش «ارسال زمینه‌ای»[1] سیگنال نام دارد، فرض بر این است که با وجود حضور کاربران اولیه در باندهای فرکانسی، کاربران ثانویه علاقمند به استفاده از باند فرکانسی می‌باشند. از این رو، کاربران

[1] Underlay

ثانویه باید به‌نحوی به ارسال داده خود بپردازند که تداخلی را برای کاربران اولیه ایجاد نکنند. به‌عبارت دیگر سیگنال کاربر ثانویه همانند یک نویز برای کاربران اولیه عمل نماید. بنابراین مادامی‌که با ارسال سیگنال ثانویه، مقدار سطح نویز در گیرنده کاربر اولیه از حد مجاز فراتر نرود، کاربران ثانویه می‌توانند به فعالیت خود در باند فرکانسی مورد نظر ادامه دهند. مقدار سطح مجاز نویز در گیرنده کاربر اولیه باید تا حدی کم باشد که کاربر اولیه برای عملکرد صحیح خود دچار مشکل نگردد. از جمله سیستم‌هایی که می‌توان آن‌ها را در زمره این دسته از روش‌های اشتراکی در نظر گرفت، سیستم‌های «فراپهن باند»[1] می‌باشند که امروزه برای کاربردهای با برد کم مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این سیستم‌ها حداکثر توان ارسالی مجاز کاربر در باندهای مختلف فرکانسی از طریق مراجع بین‌المللی مخابرات، مشخص شده است. در این راستا، برای تداخل در یک منطقه جغرافیایی خاص در فرکانس‌های مختلف توسط مراجعی نظیر [۱۲، ۱۳]، میزانی تحت عنوان «دمای تداخل»[2] مطرح شده است.

همان‌طور که اشاره گردید، در این روش سیگنال کاربر ثانویه باید به صورت نویز برای کاربر اولیه ظاهر شود، از این‌رو در این نوع از سیستم‌های رادیویی نیاز است که از روش‌های گسترده‌سازی طیفی استفاده گردد. بنابراین کاربران ثانویه با استفاده از روش‌های گوناگون، سیگنال خود را طوری ارسال می‌نمایند که این سیگنال در حوزه فرکانس گسترده شده و برای کاربر اولیه به صورت نویز عمل نماید. اما نکته قابل توجه در این روش آن است که به دلیل محدودیت‌های تداخلی، سیستم‌هایی با ارسال زمینه‌ای فقط مجاز به ارتباط با برد کوتاه می‌باشند.

۲-۲-۱-۲- رهیافت روی‌هم‌گذاری سیگنال‌ها

در رهیافت «روی‌هم‌گذاری»[3]، کاربر ثانویه تنها پس از اطمینان از عدم فعالیت کاربر اولیه می تواند ارسال خود را در باند فرکانسی اختصاص‌یافته به آن کاربر انجام دهد. در حقیقت، در این روش کاربر ثانویه به قسمتی از طیف دسترسی می‌یابد

[1] Ultra Wide Band (UWB)
[2] Interference temperature
[3] Overlay