





۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات سیستم

سنجش طیف مشارکتی به وسیلهی آشکارساز انرژی بهبود یافته در شبکهی رادیو شناختی

توسط:

حمید حسنی

استاد راهنما:

دکتر محمود احمدیان عطاری

زمستان ۱۳۹۱

## تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه‌ی آقای: حمید حسنی

را با عنوان:

سنجش طیف مشارکتی به‌وسیله‌ی آشکارساز انرژی بهبودیافته در شبکه‌ی رادیو شناختی

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه‌ی کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
	دانشیار	دکتر محمود احمدیان عطاری	۱- استاد راهنما
			۲- استاد مشاور
			۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر مهرداد اردبیلی پور	۴- استاد ممتحن (داخلی)
	استادیار	دکتر سروش اخلاقی	۵- استاد ممتحن (خارجی)
	استادیار	دکتر مهرداد اردبیلی پور	۶- نماینده تحصیلات تکمیلی

## اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه:

سنجش طیف مشارکتی به وسیله‌ی آشکارساز انرژی بهبودیافته در شبکه‌ی رادیو شناختی

استاد راهنما: دکتر محمود احمدیان عطاری

نام دانشجو: حمید حسنی

شماره دانشجویی: ۸۹۰۳۵۶۴

اینجانب حمید حسنی دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق، گرایش مخابرات-سیستم دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید است، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه، گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در این پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ‌جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه، چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

## فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده‌ی آن است. هرگونه کپی برداری به صورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه‌ی دانشکده‌ی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز است.

ضمناً، متن این صفحه نیز باید در نسخه‌ی تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه‌ی حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است و بدون اجازه‌ی کتبی دانشگاه، به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین، استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

تقدیم

بہ پدر و مادر عزیزم و خواہر مہربانم

## تشکر و قدردانی

با حمد و ستایش پروردگار متعال که توفیق اتمام این پایان‌نامه را به بنده اعطا فرمودند. بر خود لازم می‌دانم تا از زحمات استاد گرامی، جناب آقای دکتر محمود احمدیان عطاری، که در طول انجام این پایان‌نامه با راهنمایی‌ها و همکاری‌های همه‌جانبه‌ی خود، گره‌گشای مسیر اینجانب بودند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. از اساتید محترم، جناب آقای دکتر مهرداد اردبیلی‌پور و جناب آقای دکتر سروش اخلاقی که برای داوری این پروژه قبول زحمت فرمودند، نهایت تقدیر و تشکر را دارم. همچنین، از اعضای آزمایشگاه شناسه و رمز (CCL)، به ویژه جناب آقای مهندس یعثوب اقبالی که خالصانه از هیچ‌گونه همکاری و راهنمایی دریغ ننمودند، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

و با سپاس فراوان از موسسه‌ی تحقیقات ارتباطات و فناوری اطلاعات ایران که با قرارداد پژوهشی شماره‌ی ۷۰۲۶/۵۰۰/ت تاریخ ۹۱/۳/۷، این پروژه را پشتیبانی نمودند.

## چکیده

سنجش طیف از اهمیت ویژه‌ای در شبکه‌های رادیو شناختی برخوردار است. در این پایان‌نامه، سنجش طیف مشارکتی در شبکه‌های رادیو شناختی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا، روش‌های رایج در سنجش طیف مختصراً شرح داده می‌شود. آشکارساز انرژی به دلیل عدم نیاز به اطلاعات سیگنال کاربر اولیه و پیاده‌سازی ساده، برای سنجش طیف انتخاب می‌گردد. سپس، برای بهبود عملکرد سنجش طیف، آشکارساز انرژی بهبودیافته مطرح می‌شود. در این روش آشکارسازی، از نرم بهینه‌ی نمونه‌های سیگنال دریافتی به عنوان متغیر تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که استفاده از آشکارساز انرژی بهبودیافته، باعث افزایش احتمال آشکارسازی شبکه‌ی رادیو شناختی و کاهش تداخل با شبکه‌ی اولیه می‌گردد. در ادامه، سنجش طیف مشارکتی متمرکز با استفاده از آشکارساز انرژی بهبودیافته پیشنهاد گردیده و روابط مربوط به ترکیب نرم بهینه، استخراج می‌شود. برای محاسبه‌ی سطح آستانه‌ی مرکز ترکیب در روش‌های ترکیب نرم، تئوری یک روش تقریب تابع توزیع تجمعی برای مجموع چند متغیر تصادفی با توزیع گاما و با پارامترهای مقیاس متفاوت، ارائه و اثبات می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که ترکیب نرم بهینه با استفاده از آشکارساز انرژی بهبودیافته، باعث افزایش عملکرد آشکارسازی در مقایسه با آشکارساز انرژی رایج می‌شود. سپس، به منظور کاهش اثر خطای کانال گزارش در عملکرد شبکه‌ی رادیو شناختی، یک روش برای آشکارسازی مشارکتی بر اساس خوشه‌بندی و با استفاده از آشکارساز انرژی بهبودیافته در کانال رایلی پیشنهاد می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی، نشان دهنده‌ی بهبود عملکرد آشکارسازی در روش پیشنهادی نسبت به روش رایج و برای هر دو نوع آشکارساز انرژی رایج و بهبودیافته، می‌باشد.

**کلید واژه:** آشکارساز انرژی بهبودیافته، سنجش طیف مشارکتی، سنجش طیف مشارکتی بر اساس خوشه‌بندی، شبکه‌ی رادیو شناختی.



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
د	فهرست شکل‌ها
و	فهرست علائم و نشانه‌ها
۱	فصل ۱- مقدمه
۱	۱-۱- رادیو شناختی
۴	۲-۱- ساختار فیزیکی رادیو شناختی
۶	۳-۱- ساختار شبکه‌ی رادیو شناختی
۶	۱-۳-۱- شبکه‌های اولیه
۷	۲-۳-۱- شبکه‌های رادیو شناختی
۸	۴-۱- عملیات اصلی در شبکه‌های رادیو شناختی
۸	۱-۴-۱- سنجش طیف
۸	۲-۴-۱- مدیریت طیف
۸	۳-۴-۱- تحرک پذیری طیف
۹	۴-۴-۱- تسهیم طیف
۹	۵-۱- اهداف پایان‌نامه
۹	۶-۱- ساختار پایان‌نامه
۱۱	فصل ۲- سنجش طیف
۱۱	۱-۲- فضای طیف چند بعدی
۱۱	۱-۱-۲- بعد کد
۱۱	۲-۱-۲- بعد زاویه
۱۲	۲-۲- روش‌های سنجش طیف
۱۲	۱-۲-۲- آشکارسازی فرستنده‌ی اولیه
۱۳	۱-۱-۲-۲- آشکارساز فیلتر منطبق
۱۳	۲-۱-۲-۲- آشکارساز انرژی
۱۴	۳-۱-۲-۲- آشکارساز خاصیت ایستادن دوره‌ای
۱۴	۲-۲-۲- آشکارسازی مشارکتی
۱۶	۱-۲-۲-۲- سنجش طیف مشارکتی متمرکز

۱۷	۲-۲-۲-۲ - سنجش طیف مشارکتی توزیع شده.....
۱۷	۳-۲-۲-۲ - تصمیم‌گیری در سنجش طیف مشارکتی.....
۱۸	۴-۲-۲-۲ - سنجش طیف مشارکتی بر اساس خوشه‌بندی.....
۱۹	۳-۲-۲ - آشکارسازی بر اساس دمای تداخل.....
۲۰	۳-۲ - سنجش طیف باندپهن.....
۲۰	۴-۲ - نتیجه‌گیری.....
۲۱	<b>فصل ۳ - آشکارساز انرژی بهبودیافته.....</b>
۲۱	۱-۳ - مقدمه.....
۲۱	۲-۳ - روابط ریاضی.....
۲۶	۳-۳ - نتایج شبیه‌سازی.....
۳۱	۴-۳ - نتیجه‌گیری.....
۳۲	<b>فصل ۴ - ترکیب نرم در سنجش طیف مشارکتی به‌وسیله‌ی آشکارساز انرژی بهبودیافته....</b>
۳۲	۱-۴ - مقدمه.....
۳۲	۲-۴ - مدل سیستم.....
۳۶	۳-۴ - ترکیب نرم بهینه.....
۳۸	۴-۴ - روش‌های رایج در ترکیب نرم و سخت.....
۳۸	۱-۴-۴ - ترکیب با تقویت یکسان.....
۳۹	۲-۴-۴ - ترکیب با بیشینه نسبت.....
۴۱	۳-۴-۴ - ترکیب سخت.....
۴۳	۵-۴ - تقریب تابع توزیع تجمعی مجموع چند متغیر تصادفی با توزیع گاما.....
۴۴	۱-۵-۴ - تئوری تقریب.....
۵۱	۲-۵-۴ - ارائه‌ی الگوریتم.....
۵۳	۶-۴ - سطح آستانه.....
۵۴	۷-۴ - احتمال آشکارسازی.....
۵۶	۸-۴ - نتایج شبیه‌سازی.....
۶۴	۹-۴ - نتیجه‌گیری.....
۶۶	<b>فصل ۵ - آشکارسازی مشارکتی بر اساس خوشه‌بندی در شبکه‌های رادیو شناختی.....</b>
۶۶	۱-۵ - مقدمه.....
۶۶	۲-۵ - مدل سیستم.....

۷۱	..... ۳-۵- روش سطح آستانه‌ی یکسان
۷۲	..... ۱-۳-۵ ترکیب سخت
۷۳	..... ۲-۳-۵ ترکیب نرم
۷۴	..... ۴-۵- روش احتمال هشدار خطای یکسان
۷۴	..... ۱-۴-۵ ترکیب سخت
۷۵	..... ۲-۴-۵ ترکیب نرم
۷۶	..... ۵-۵- کران پایین احتمال هشدار خطای شبکه
۷۶	..... ۶-۵- نتایج شبیه‌سازی
۸۲	..... ۷-۵- نتیجه‌گیری
۸۳	..... فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۳	..... ۱-۶- مروری بر نتایج به‌دست آمده در این پایان‌نامه
۸۴	..... ۲-۶- پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده
۸۵	..... فهرست مراجع
۸۸	..... واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۹۰	..... واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱	شکل ۱-۱: میزان استفاده از طیف در محدوده‌ی ۰ تا ۶ GHz در مرکز شهر برکلی [۳].
۲	شکل ۲-۱: میزان استفاده از طیف در محدوده‌ی ۰ تا ۲/۵ GHz و در یک بازه‌ی زمانی مشخص در مرکز شهر برکلی [۳].
۴	شکل ۳-۱: مفهوم دسترسی فرصت‌طلبانه به طیف [۸].
۵	شکل ۴-۱: فرستنده-گیرنده‌ی رادیو شناختی [۱۰].
۵	شکل ۵-۱: ساختار بخش <i>RF front – end</i> رادیو شناختی [۱۰].
۶	شکل ۶-۱: ساختار شبکه‌ی رادیو شناختی [۸].
۱۲	شکل ۱-۲: تقسیم‌بندی روش‌های سنجش طیف.
۱۵	شکل ۲-۲: عدم آشکارسازی فرستنده‌ی اولیه به دلیل نبود اطلاعات کافی از گیرنده‌ی اولیه [۱].
۱۵	شکل ۳-۲: عدم آشکارسازی فرستنده‌ی اولیه به دلیل پدیده‌ی سایه [۱].
۱۶	شکل ۴-۲: سنجش طیف مشارکتی متمرکز [۱۱].
۱۷	شکل ۵-۲: سنجش طیف مشارکتی توزیع‌شده [۱۱].
۱۹	شکل ۶-۲: سنجش طیف مشارکتی بر اساس خوشه‌بندی [۲۵].
۲۰	شکل ۷-۲: مدل تداخل دمایی [۵].
۲۶	شکل ۱-۳: منحنی‌های تابع توزیع تجمعی $T$ تحت فرض $\mathcal{H}_0$ و $\gamma = 0 \text{ dB}$ .
۲۷	شکل ۲-۳: منحنی‌های تابع توزیع تجمعی $T$ تحت فرض $\mathcal{H}_1$ و $N = 10$ .
۲۸	شکل ۳-۳: منحنی‌های $p$ بهینه که به ازای $P_{FA}$ ثابت، احتمال آشکارسازی را بیشینه می‌کنند.
۲۹	شکل ۴-۳: مقادیر بهینه‌ی $p$ بر حسب $\gamma$ ، به ازای $P_D$ ، $P_{FA}$ و $N$ مشخص.
۳۰	شکل ۵-۳: منحنی مشخصه‌ی عملیاتی گیرنده برای آشکارساز رایج و بهبودیافته برای $N = 10$ .
۳۳	شکل ۱-۴: شبکه‌ی رادیو شناختی با یک کاربر اولیه و $M$ کاربر رادیو شناختی.
۵۲	شکل ۲-۴: منحنی تابع توزیع تجمعی روش کانولوشن و تقریب، به ازای $d = [0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4]$ .
۵۳	شکل ۳-۴: نمودارهای $G_Y(x)$ و $H_Z(x)$ به ازای $d = [0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4]$ .
۵۷	شکل ۴-۴: منحنی‌های احتمال آشکارسازی روش <i>OC</i> در کانال رایلی، به ازای $P_{FA} = 10^{-3}$ و $M = 4$ .
۵۷	$N = 6$ .
۵۷	شکل ۵-۴: منحنی‌های احتمال آشکارسازی روش <i>MRC</i> در کانال رایلی، به ازای $P_{FA} = 10^{-3}$ و $M = 4$ .
۵۷	و $N = 6$ .

- شکل ۴-۶: منحنی‌های احتمال آشکارسازی روش **EGC** در کانال رایلی، به‌ازای  $M = 4$ ,  $P_{FA} = 10^{-3}$  و  $N = 6$  ..... ۵۸
- شکل ۴-۷: منحنی‌های احتمال آشکارسازی روش **OR** در کانال رایلی، به‌ازای  $M = 4$ ,  $P_{FA} = 10^{-3}$  و  $N = 6$  ..... ۵۸
- شکل ۴-۸: منحنی‌های احتمال آشکارسازی روش‌های ترکیب نرم و سخت در کانال رایلی، به‌ازای  $p = 2$ ,  $M = 4$ ,  $P_{FA} = 10^{-3}$  و  $N = 6$  ..... ۵۹
- شکل ۴-۹: منحنی‌های احتمال آشکارسازی روش‌های ترکیب نرم و سخت در کانال رایلی، به‌ازای  $p = 4$ ,  $M = 4$ ,  $P_{FA} = 10^{-3}$  و  $N = 6$  ..... ۶۰
- شکل ۴-۱۰: منحنی‌های احتمال آشکارسازی روش‌های ترکیب نرم و سخت در کانال رایلی، به‌ازای  $p = 4$ ,  $M = 8$ ,  $P_{FA} = 10^{-3}$  و  $N = 6$  ..... ۶۱
- شکل ۴-۱۱: منحنی‌های احتمال آشکارسازی روش‌های ترکیب نرم و سخت در کانال ناکاگامی با  $m_{Nak} = 2$ ، به‌ازای  $p = 4$ ,  $M = 4$ ,  $P_{FA} = 10^{-3}$  و  $N = 6$  ..... ۶۲
- شکل ۴-۱۲: منحنی‌های احتمال آشکارسازی روش‌های ترکیب نرم و سخت در کانال رایلی، به‌ازای  $p = 4$ ,  $M = 4$ ,  $P_{FA} = 10^{-2}$  و  $N = 6$  ..... ۶۳
- شکل ۴-۱۳: منحنی‌های احتمال آشکارسازی روش‌های ترکیب نرم و سخت در کانال رایلی، به‌ازای  $p = 4$ ,  $M = 4$ ,  $P_{FA} = 10^{-4}$  و  $N = 6$  ..... ۶۴
- شکل ۵-۱: مدل سنجش طیف مشارکتی متمرکز بر اساس خوشه‌بندی. .... ۶۷
- شکل ۵-۲: نرخ خطای بیت برای تعداد کاربران رادیو شناختی مختلف،  $M_i = 1, 2, 4, 8$  ..... ۷۱
- شکل ۵-۳: منحنی‌های **ROC** روش‌های **ET** و **EP** برای آشکارساز انرژی رایج. .... ۷۷
- شکل ۵-۴: منحنی‌های **ROC** روش **ET** برای آشکارساز انرژی بهبودیافته، با ترکیب نرم. .... ۷۸
- شکل ۵-۵: منحنی‌های **ROC** روش **ET** برای آشکارساز انرژی بهبودیافته، با ترکیب سخت. .... ۷۸
- شکل ۵-۶: منحنی‌های **ROC** روش **EP** با آشکارساز انرژی بهبودیافته، با ترکیب نرم. .... ۷۹
- شکل ۵-۷: منحنی‌های **ROC** روش **EP** با آشکارساز انرژی بهبودیافته، با ترکیب سخت. .... ۷۹
- شکل ۵-۸: منحنی‌های **ROC** روش‌های **ET** و **EP** برای آشکارساز انرژی بهبودیافته با  $p = 4$  ..... ۸۰
- شکل ۵-۹: کران پایین احتمال هشدار خطای شبکه نسبت به تعداد کاربران رادیو شناختی. .... ۸۱

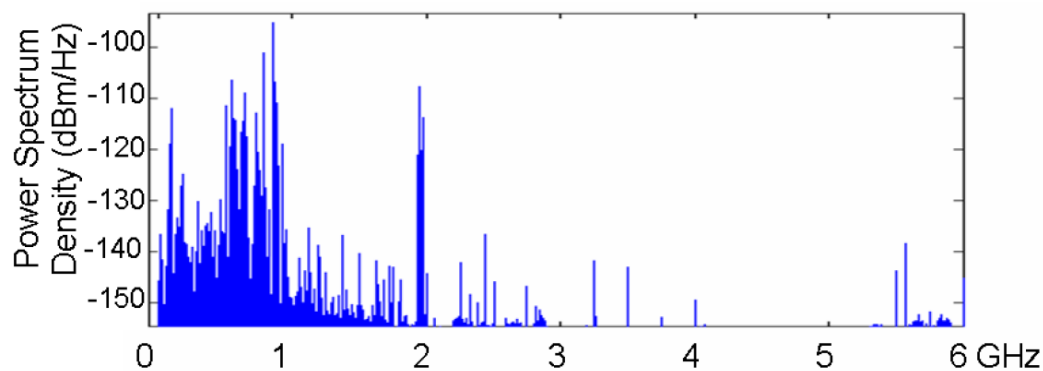
## فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
سیگنال کاربر اولیه	$S$
سیگنال نویز	$W$
بهره‌ی کانال بین کاربر اولیه و کاربر رادیو شناختی	$h$
سیگنال دریافت شده در کاربر رادیو شناختی	$X$
نسبت سیگنال به نویز	$SNR$
سطح آستانه‌ی تصمیم‌گیری	$\lambda$
تعداد نمونه برای آشکارسازی	$M$
تابع گامای کامل	$\Gamma(.)$
تابع گامای ناقص	$\Gamma(.,.)$
کانولوشن	*
مجموعه‌ی اعداد طبیعی	$\mathbb{N}$
نامساوی Majorization	$<$
ضرب کرونگر	$\otimes$
ماتریس یکه $N \times N$	$I_N$

## فصل ۱ - مقدمه

### ۱-۱- رادیو شناختی<sup>۱</sup>

محدوده‌ی فرکانس کاری مجاز شبکه‌های مخابراتی، توسط سیاست تخصیص طیف ثابتی نظم‌بندی شده است. در این ساختار، استفاده از طیف بوسیله‌ی سازمان‌های دولتی تنظیم شده و برای هر شبکه‌ی مخابراتی، مجوز استفاده از بخش مشخصی از طیف، صادر گردیده است [۱]. با توجه به گزارش‌های منتشر شده از سازمان‌های تنظیم مقررات رادیویی از نقاط مختلف جهان، مشخص شده است که استفاده از طیف مجوزدار، غیر بهینه بوده و بخش‌های زیادی از آن، در بیشتر مواقع بلا استفاده می‌باشد. بر اساس گزارش کمیته‌ی مخابرات فدرال ایالات متحده‌ی آمریکا، میزان استفاده از طیف مجوزدار با توجه به تغییرات زمانی و جغرافیایی، در بازه‌ی ۰.۱۵٪ تا ۰.۸۵٪ می‌باشد [۲].



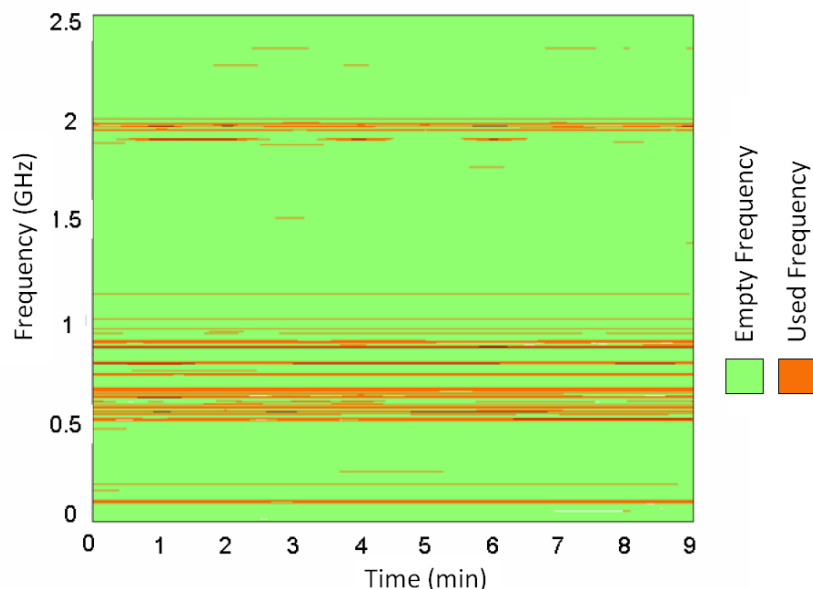
Freq (GHz)	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6
Utilization(%)	54.4	35.1	7.6	0.25	0.128	4.6

شکل ۱-۱: میزان استفاده از طیف در محدوده‌ی ۰ تا ۶ GHz در مرکز شهر برکلی [۳].

شکل ۱-۱ که توسط مرکز تحقیقاتی مخابرات بی‌سیم دانشگاه برکلی اندازه‌گیری شده است، میزان استفاده از طیف در محدوده‌ی فرکانسی ۰ تا ۶ GHz و در یک بازه‌ی زمانی کوتاه را در مرکز شهر برکلی نشان می‌دهد [۳]. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان استفاده از طیف، در بازه‌ی فرکانسی ۲ تا ۳

<sup>1</sup> Cognitive Radio

۱-  $GHZ$  و  $GHZ$  ۵ تا ۶ کم‌تر از ۱۰٪ و در محدوده‌ی ۳ تا ۵  $GHZ$  کم‌تر از ۱٪ می‌باشد. با توجه به شکل ۱-  
 ۲، اندازه‌گیری‌هایی که در مکان یکسان در شهر برکلی انجام شده، نشان می‌دهد که در یک فاصله‌ی  
 زمانی مشخص، میزان استفاده از طیف در بازه‌ی ۰ تا ۲/۵  $GHZ$  که محدوده‌ی پرتراپیکی را شامل می-  
 شود، بسیار کم است.



شکل ۱-۲: میزان استفاده از طیف در محدوده‌ی ۰ تا ۲/۵  $GHZ$  و در یک بازه‌ی زمانی مشخص در مرکز شهر  
 برکلی [۳].

در سال‌های اخیر، تحول صنعت مخابرات از ارتباطات صوتی به ارتباطات چندرسانه‌ای<sup>۱</sup>، باعث افزایش  
 روزافزون نیاز به سرعت‌های انتقال داده‌ی بالاتر گردید. راه حل این مشکل، تخصیص پهنای باند فرکانسی  
 بیشتر برای مصارف مخابراتی بود. بنابراین، تقاضا برای طیف فرکانسی مجوزدار، با افزایش چشم‌گیری  
 روبرو گردید. افزایش نیاز به طیف، محدودیت ذاتی طیف در دسترس و عدم استفاده‌ی بهینه از آن  
 توسط کاربران مجوزدار، ارائه‌ی یک الگوی مخابراتی جدید برای استفاده‌ی فرصت‌طلبانه از طیف را  
 ضروری گردانید. در سال ۱۹۹۹، شبکه‌ی رادیو شناختی به‌عنوان یک الگوی مخابراتی مناسب، مطرح  
 گردید [۴].

<sup>1</sup> Multimedia



راديو شناختي، فناوري كليدي براي استفاده از طيف به روش پويا مي‌باشد. بر اساس گزارش كميته‌ي مخابرات فدرال ايالات متحده‌ي آمريكا، يك راديو شناختي، سيستمي است كه توانايي سنجش طيف<sup>1</sup> و تغيير پويا و آني پارامترهاي ارتباطاتي‌اش را براي بشينه كردن گذردهي و کاهش تداخل، دارا است [5]. در اين الگوي مخابراتي جديد، يك شبكه و يا يك گره‌ي بي‌سيم، پارامترهاي ارسال و دريافت خود را براي ارتباط مناسب و بدون تداخل با کاربران مجوزدار و يا بدون مجوز تغيير مي‌دهد. اين تغيير پارامترها بر مبناي اندازه‌گيري و بررسي فعال چندين عامل مختلف مانند وضعيت طيف، رفتار کاربران ثانويه و وضعيت شبكه صورت مي‌گيرد. مهم‌ترين هدف راديو شناختي، كسب بهترين طيف در دسترس از طريق توانايي شناختي و پيكربندي مجدد مي‌باشد [6]. بنا بر اين، دو ويژگي اصلي راديو شناختي بصورت زير مي‌باشد [1]:

1. **قابليت شناختي<sup>2</sup>**: توانايي از تكنولوژي راديو شناختي براي سنجش اطلاعات طيفي محيط اطراف مي‌باشد. به كمك اين قابليت، راديو شناختي مي‌تواند بخش‌هاي بلااستفاده از طيف فرکانسي را در زمان و مكان مشخص شناسايي کرده و بهترين طيف در دسترس را انتخاب نمايد.

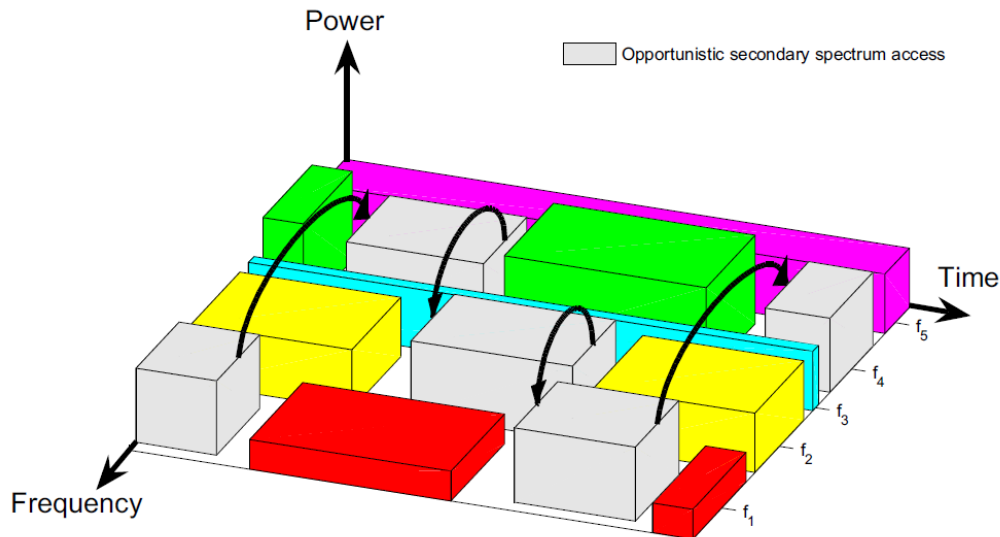
2. **قابليت پيكربندي مجدد<sup>3</sup>**: قابليت پيكربندي مجدد، راديو شناختي را قادر مي‌سازد تا به صورت پويا و مطابق با محيط اطراف برنامه‌ريزي شود. اين ويژگي باعث مي‌گردد كه راديو شناختي توانايي ارسال و دريافت در فرکانس‌هاي متفاوت را دارا باشد.

---

<sup>1</sup> Spectrum Sensing

<sup>2</sup> Cognitive Capability

<sup>3</sup> Reconfigurability



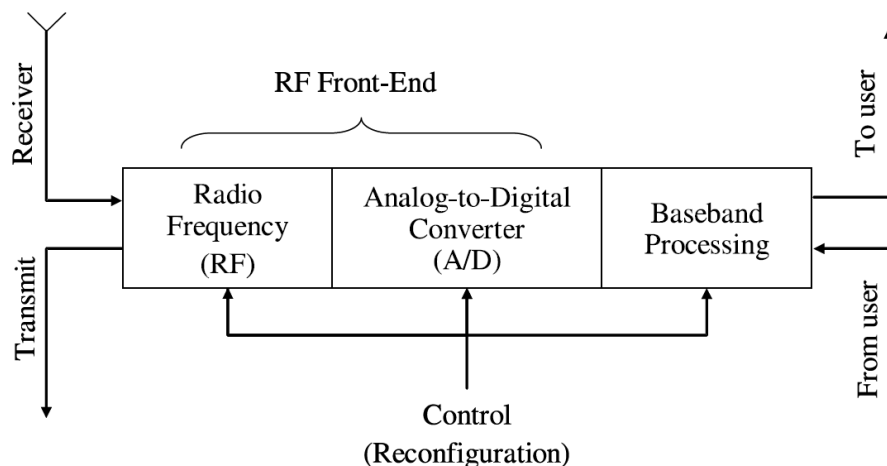
شکل ۳-۱: مفهوم دسترسی فرصت طلبانه به طیف [۸].

رادیو شناختی، توانایی استفاده از بخش‌های بلااستفاده از طیف را که با نام حفره‌های طیفی<sup>۱</sup> نیز شناخته می‌شوند، دارا است. با توجه به شکل ۳-۱، اگر بعد از سنجش طیف، رادیو شناختی تشخیص دهد که طیف مجوزدار، شروع به استفاده توسط کاربر مجوزدار شده است، باید ارتباطات خود را به حفره‌ی طیفی دیگری انتقال دهد و یا این‌که در همان بازه‌ی فرکانسی بماند ولی با تغییر سطح توان ارسالی و یا روش مدولاسیون، از تداخل با کاربر مجوزدار جلوگیری نماید [۷].

## ۲-۱- ساختار فیزیکی رادیو شناختی

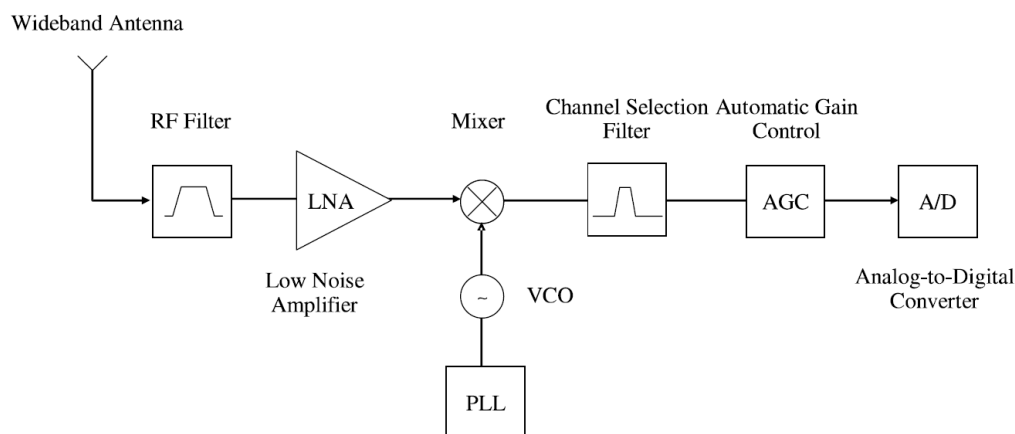
ساختار کلی فرستنده-گیرنده‌ی رادیو شناختی در شکل ۴-۱، نشان داده شده که اجزای اصلی آن شامل RF front-end و واحد پردازشگر باند پایه می‌باشد. هر یک از اجزاء این سیستم، با دارا بودن قابلیت پیکربندی مجدد، می‌توانند از طریق یک گذرگاه کنترلی برای تطبیق با محیط رادیویی پیرامون، تنظیم شوند. در بخش RF front-end، سیگنال دریافتی پس از تقویت و ترکیب، از آنالوگ به دیجیتال تبدیل شده و سپس در واحد پردازش باند پایه، مدوله/دی‌مدوله و کدنگاری/کدگشایی می‌شود.

<sup>1</sup> Spectrum holes



شکل ۱-۴: فرستنده-گیرنده‌ی رادیو شناختی [۱۰].

واحد پردازش باند پایه‌ی رادیو شناختی به فرستنده-گیرنده‌های موجود، بسیار شبیه بوده و ویژگی جدید موجود در فرستنده-گیرنده‌ی یک رادیو شناختی، توانایی سنجش طیف باندپهن<sup>۱</sup> توسط بخش RF front-end است. همچنین، این ویژگی به تکنولوژی سخت افزاری زیر بخش‌های RF رادیو شناختی نظیر آنتن باندپهن، فیلتر وفقی و تقویت کننده‌ی توان، وابسته می‌باشد [۱۰].



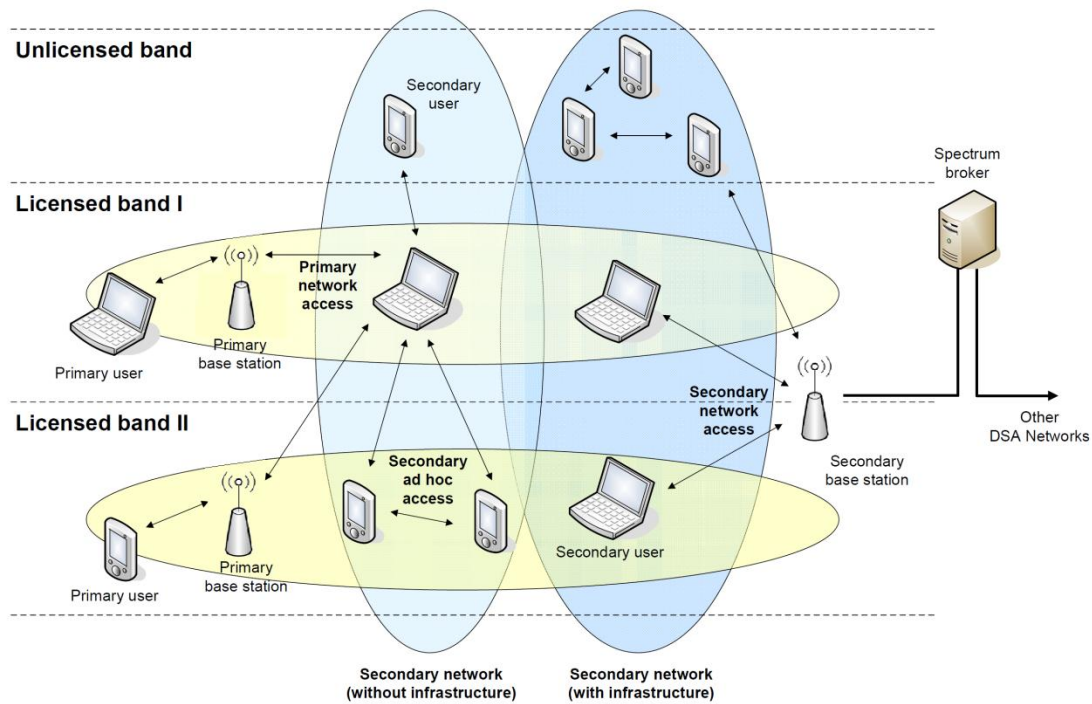
شکل ۱-۵: ساختار بخش RF front-end رادیو شناختی [۱۰].

در شکل ۱-۵، ساختار کلی یک RF front-end نشان داده شده است. با توجه به مفهوم رادیو شناختی، سخت‌افزار بخش RF باید قابلیت تنظیم برای کار در محدوده‌ی گسترده‌ای از طیف فرکانسی را دارا باشد.

<sup>۱</sup> Wideband

### ۳-۱- ساختار شبکه‌ی رادیو شناختی

ساختار شبکه‌های بی‌سیم موجود، بر اساس فناوری‌های مخابراتی مختلف و سیاست‌های تخصیص طیف، ایجاد شده‌اند. علاوه بر این، بخش‌هایی از طیف به کاربران مجوزدار اختصاص داده شده و بخش‌هایی نیز هنوز در دسترس می‌باشند. در نتیجه، توصیف دقیقی از ساختار شبکه‌ی رادیو شناختی برای توسعه‌ی قراردادهای ارتباطی، ضروری می‌باشد [۸]. اجزای ساختاری یک شبکه‌ی رادیو شناختی با توجه به شکل ۱-۶، به دو گروه شبکه‌های اولیه و شبکه‌های ثانویه تقسیم‌بندی می‌شود.



شکل ۱-۶: ساختار شبکه‌ی رادیو شناختی [۸].

### ۳-۱-۱- شبکه‌های اولیه<sup>۱</sup>

ساختار شبکه‌های موجود که عموماً با عنوان شبکه‌های اولیه (شبکه‌ی مجوزدار) شناخته می‌شوند، دارای حق انحصاری برای استفاده از بخش مشخصی از طیف می‌باشد، مانند شبکه‌های پخش تلویزیونی و یا شبکه‌های موبایل [۲]. بخش‌های اصلی شبکه‌های اولیه عبارت است از:

➤ کاربر اولیه

<sup>1</sup> Primary Networks