دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق– مخابرات سیستم

بهینه‌سازی احتمال آشکارسازی در سنجش مشارکتی طیف با کاربرد رادیوی شناختی

توسط:

وحید جمالی کوشکقاضی

استاد راهنما:

دکتر محمود احمدیان عطاری

استاد مشاور:

دکتر سهیل سالاری

اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

تأییدیّه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای وحید جمالی کوشکقاضی

را با عنوان:

بهینه‌سازی احتمال آشکارسازی در سنجش مشارکتی طیف با کاربرد رادیوی شناختی

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

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر محمود احمدیان عطاری	دانشیار	
۲- استاد مشاور	دکتر سهیل سالاری	استادیار	
۳- استاد ممتحن	دکتر عباس محمدی	استاد	
۴- استاد ممتحن	دکتر مهرداد اردبیلی‌پور	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی			

پروردگارا

نه می توانم مویشان راکه در راه عزت من سفید شده، سیاه کنم،

ونه برای دستهای پینه بسته شان که ثمره تلاش برای افتخار من است، مرهمی دارم،

پس توفیقم ده که هر لحظه شکرگزارشان باشم، و ثانیه های عمرم را در عصای دست بودنشان بگذرانم.

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم که وجودشان مایه دلگرمی من است.

با تشکر از زحمات اساتید راهنما و مشاور گرانقدر

جناب آقای دکتر احمدیان و دکتر سالاری

که این پایان نامه حاصل راهنمایی ها، تلاش ها و پیگیری های فراوان ایشان است،

و استاد مهربان و عزیزم

جناب آقای دکتر پیغامی

که با خوشرویی و بزرگواری بسیار، همواره جوابگوی مشکلات بنده در زمینه بهینه سازی بوده اند،

و دوست و راهنمای عزیزم

جناب آقای نیما رئیسی

که بسیاری از نتایج این پایان نامه با کمک و راهنمایی ایشان به ثمر رسیده است.

با سپاس فراوان از موسسه تحقیقات ارتباطات و فناوری اطلاعات ایران که با قرارداد پژوهشی شماره

..... تاریخ ..... این پروژه را مورد پشتیبانی قرار داده اند.

چکیده :

با پیشرفت روزافزون مخابرات بی‌سیم و افزایش روزافزون تعداد کاربران در چند دهه اخیر، دیگر سیاست فعلی تخصیص طیف جواب‌گوی نیازمندی‌های موجود نیست. بدین منظور ایده اولیه شبکه‌های رادیو شناختی در جهت افزایش بهره‌وری طیفی مطرح شده و تاکنون توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. در شبکه رادیو شناختی، کاربران پارامترهای فرستندگی و گیرندگی خود را به نحوی تنظیم می‌نمایند تا با حداقل تداخل با کاربران دیگر، از طیف‌های خالی موجود استفاده نمایند. بنابراین، سنجش مطمئن طیف به عنوان مهم‌ترین عامل تحقق عملیاتی شبکه رادیو شناختی است که می‌بایست به صورت بهینه‌ای با توجه به منابع موجود صورت پذیرد. اما عوامل محیطی همچون اثرات فیدینگ و سایه، عملکرد سنجش طیف را بشدت پایین می‌آورند. در این پایان‌نامه، اثر سایه همبسته را در هر دو کانال سنجش و ارسال بررسی می‌نماییم و نشان می‌دهیم که با توجه به وجود چنین همبستگی بین مشاهدات در شرایط محیطی واقعی، لحاظ کردن این اثر ضروری است. همچنین با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تخمین توان نویز، اهمیت آن را در تعیین عملکرد سنجش طیف، مورد تحلیل قرار می‌دهیم. در نهایت در این پایان‌نامه، ساختار عملی‌تری را در سنجش طیف نسبت به موارد پیشنهاد شده قبلی مورد بررسی قرار می‌گیرد و با ارائه راهکارهای مناسب، سعی بر بهبود عملکرد ساختار مورد بررسی داریم.

در این پایان‌نامه، در قالب دو رویکرد ارائه شده مبتنی بر سنجش مشارکتی طیف و در شرایط کانال سایه، به بهینه‌سازی ساختارهای ارائه شده می‌پردازیم. در رویکرد اول، هدف تعیین توان ارسالی کاربران ثانویه به منظور کنترل هم‌زمان توان کل و تک‌تک کاربران به همراه کنترل احتمالات آشکارسازی و هشدار اشتباه است. در رویکرد دوم، بهینه‌سازی در ترکیب مشاهدات دریافتی در مرکز ترکیب صورت می‌پذیرد و همچنین در محاسبه ضرائب از معیار نسبت انحراف برای کاهش پیچیدگی استفاده می‌شود. شبیه‌سازی‌های انجام شده بهبود عملکرد رویکردهای پیشنهادی را در مقابل رویکردهای موجود نشان می‌دهند و همچنین نشان داده شده است که افزایش کاربران مشارکت کننده باعث بهبود بیشتر عملکرد می‌شود. همچنین در شبیه‌سازی‌ها نشان داده شده است که ساختار سنجش طیف برای راهکارهای پیشنهادی با استفاده از تئوری بهینه‌سازی عملکرد به مراتب بهتری نسبت به روش‌های متداول دارد.

کلمات کلیدی: رادیو شناختی، سنجش مشارکتی طیف، آشکارساز انرژی، اثر سایه، بهینه‌سازی، معیار نسبت انحراف

فهرست مطالب

فهرست اشکال ۴

فهرست جداول ۶

فهرست علائم ۷

فصل ۱- مقدمه ۹

۱-۱- مقدمه ۱۰

۱-۲- ساختار پایان‌نامه ۱۴

فصل ۲- مروری بر کلیات شبکه‌های رادیو شناختی ۱۷

۲-۱- طیف فرکانسی ۱۸

۲-۲- مدل‌های استفاده از طیف ۲۰

۲-۲-۱- مدل underlay ۲۰

۲-۲-۲- مدل overlay ۲۱

۲-۲-۳- مدل interweave ۲۲

۲-۳- ساختار شبکهٔ رادیو شناختی ۲۳

۲-۳-۱- آشکارسازی گیرندهٔ اولیه ۲۶

۲-۳-۲- آشکارسازی فرستندهٔ اولیه ۲۶

فصل ۳- روش‌های آشکارسازی ۲۹

۳-۱- فرصت طیفی ۳۰

۳-۲- آشکارساز انرژی ۳۲

۳-۲-۱- مدل تقریبی Eddel ۳۶

۳-۲-۲- مدل تقریبی Berekely ۳۶

۳-۲-۳- مدل تقریبی گوسی مختلط ۳۷

۳-۳- آشکارساز فیلتر منطبق ۳۸

۳-۴- آشکارساز خصیصه‌گرا ۳۹

۳-۴-۱- آشکارساز متناوبا ایستان ۳۹

۳-۴-۲- سنجش طیف مبتنی بر ماتریس کواریانس و مقادیر ویژه ۴۰

۳-۴-۳- سنجش طیف مبتنی بر موجک ۴۲

فصل ۴- چالش‌های موجود برای آشکارساز انرژی و روش‌های مقابله ۴۳
۴-۱- عدم قطعیت نویز ۴۴
۴-۱-۱- دیوار SNR ۴۶
۴-۱-۲- مدل عدم قطعیت نویز ۴۷
۴-۲- سایه‌افکنی و ترمینال‌های مخفی ۴۸
۴-۲-۱- ساختارهای مشارکتی ۴۹
۴-۲-۲- ترکیب مشاهدات ۵۰
۴-۲-۳- ترکیب تصمیمات ۵۵
۴-۳- ایده‌آل نبودن کانال گزارش ۵۹
۴-۳-۱- انتخاب گره ۵۹
۴-۳-۲- رله کردن اطلاعات ۶۱
۴-۳-۳- خوشه‌بندی ۶۳
فصل ۵- استفاده از شکل‌دهی پرتو در سنجش مشارکتی طیف ۶۷
۵-۱- مقدمه ۶۸
۵-۲- مدل سیستم ۷۰
۵-۳- کمینه‌سازی توان کل به شرط احتمال آشکارسازی مشخص ۷۴
۵-۴- بیشینه‌سازی توان آشکارسازی تحت محدودیت توان کل ۷۷
۵-۵- بیشینه‌سازی احتمال آشکارسازی تحت محدودیت توان تک‌تک کاربران ۷۸
۵-۵-۱- روش تکراری ۷۹
۵-۵-۲- روش تقریب ۸۱
۵-۶- نتایج شبیه‌سازی ۸۳
فصل ۶- ترکیب خطی مشاهدات با اثر سایه همبسته در سنجش مشارکتی طیف ۹۱
۶-۱- مقدمه ۹۲
۶-۲- مدل سیستم و بیان مسئله ۹۳
۶-۲-۱- مدل سیستم ۹۳
۶-۲-۲- بیان مسئله ۹۶
۶-۳- تقریب و بهینه‌سازی ۹۷
۶-۳-۱- تقریب ۹۷
۶-۳-۲- بهینه‌سازی ۹۹

۶-۴- نتایج شبیه‌سازی ۱۰۰
نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۵
پیوست ۱۰۹
فهرست مقالات مستخرج از پایان‌نامه ۱۱۱
مراجع ۱۱۳

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ جنبه‌های مختلف سنجش طیف در شبکه‌های رادیوی شناختی ۹
شکل ۱-۲ اثرات عدم قطعیت گیرنده، محوشدگی و سایه‌افکنی ۱۳
شکل ۲-۱ بهره‌وری از ساختار فعلی طیف ۱۸
شکل ۲-۲ چرخه شناختی ۲۰
شکل ۲-۳ مدل overlay برای یک کانال تداخل دو کاربره ۲۲
شکل ۲-۴ نمایش فرکانس‌های سفید ۲۳
شکل ۳-۱ نمایش پیشنهادی گروه IEEE 802.22 ..... ۳۲
شکل ۳-۲ پیاده‌سازی آشکارساز انرژی در حوزه زمان ۳۳
شکل ۳-۳ پیاده‌سازی آشکارساز انرژی در حوزه فرکانس ۳۳
شکل ۳-۴ عملکرد آشکارساز انرژی در SNRهای متفاوت ۳۶
شکل ۳-۵ پیاده‌سازی آشکارساز فیلتر منطبق ۳۹
شکل ۳-۶ پیاده‌سازی دیجیتال آشکارساز متناوبا ایستان ۴۰
شکل ۴-۱ مقایسه تعداد نمونه‌ی مورد نیاز برای آشکارسازی سیگنال با مدولاسیون BPSK ۴۵
شکل ۴-۲ SNR_{wall} بر حسب عدم قطعیت نویز برای ممان‌های مرتبه دوم و دهم ۴۷
شکل ۴-۳ اثر سایه افکنی (شکل سمت راست)، اثر افت مسیر (شکل سمت چپ) ۴۸
شکل ۴-۴ نمایش ترسیمی فرضیه باینری و احتمالات عدم آشکارسازی و هشدار اشتباه ۵۲
شکل ۴-۵ مدل سیستم مورد استفاده در ۵۲
شکل ۴-۶ مقایسه عملکرد معیار انحراف، ترکیب خطی بهینه و معیار LRT ۵۵
شکل ۴-۷ مقدار احتمال خطای کل بر حسب سطح آستانه و M=10 و Kهای متفاوت ۵۸
شکل ۴-۸ منحنی BER برحسب SNR (با استفاده از مدولاسیون BPSK) به ازای تعداد کاربران انتخاب شده ۶۱
شکل ۴-۹ عملکرد ساختار مشارکتی سنجش طیف مبتنی بر رله ۶۲
شکل ۴-۱۰ شمای سنجش مشارکتی طیف با استفاده از خوشه‌بندی ۶۳
شکل ۴-۱۱ مقایسه ساختار مشارکتی متعارف سنجش طیف با ساختار مبتنی بر خوشه‌بندی ۶۴
شکل ۴-۱۲ تاثیر همبستگی مشاهدات بر ساختار مشارکتی سنجش طیف] ۶۵
شکل ۵-۱ گستره تداخل کاربر اولیه: گستره پوشش و محافظت ۷۱
شکل ۵-۲ آشکارسازی مشارکتی طیف با بهره‌گیری از راهکار شکل‌دهی پرتو ۷۱

شکل ۵-۳ کمینه توان کل ارسالی بر حسب احتمال عدم آشکارسازی مورد نظر برای $M = 5$ ۸۴
شکل ۵-۴ کمینه توان کل ارسالی بر حسب احتمال عدم آشکارسازی مورد نظر برای$\eta = 0.5$ ۸۴
شکل ۵-۵ کمینه احتمال عدم آشکارسازی بر حسب توان کل مجاز ارسالی برای $M = 5$ ۸۵
شکل ۵-۶ کمینه احتمال عدم آشکارسازی بر حسب توان کل مجاز ارسالی برای $\eta = 0.5$ ۸۶
شکل ۵-۷ کمینه احتمال عدم آشکارسازی بر حسب توان مجاز ارسالی (مقایسه روش‌های ارائه شده) ۸۷
شکل ۵-۸ کمینه احتمال عدم آشکارسازی بر حسب مجموع توان مجاز ارسالی تک‌تک کاربران برای $M = 5$ ۸۷
شکل ۵-۹ کمینه احتمال عدم آشکارسازی بر حسب مجموع توان مجاز ارسالی تک‌تک کاربران برای $\eta = 0.5$ ۸۸
شکل ۵-۱۰ مجموع توان تک‌تک ارسالی بر حسب مجموع قیدهای توان تک‌تک کاربران ۸۹
شکل ۶-۱ مدل سیستم ۹۴
شکل ۶-۲ CDF و CCDF تقریب ارائه شده برای سه کاربر اولیه، $\sigma h, i = 2.1\ dB, \rho = 0.5, Pp = 10dB$ ۱۰۱
شکل ۶-۳ ضرائب همبستگی بین سه کاربر ثانویه با $\sigma h, i = 2.1\ dB$ و $Pp = 10dB$ ۱۰۲
شکل ۶-۴ احتمال عدم آشکارسازی براساس احتمال هشدار اشتباه برای روش پیشنهادی و EGC..... ۱۰۲
شکل ۶-۵ احتمال عدم آشکارسازی براساس احتمال هشدار اشتباه برای مقادیر مختلف ρ ۱۰۳
شکل ۶-۶ احتمال عدم آشکارسازی براساس احتمال هشدار اشتباه برای تعداد متفاوت کاربران ۱۰۴
شکل ۶-۷ احتمال عدم آشکارسازی براساس احتمال هشدار اشتباه برای توان‌های متفاوت ارسالی کاربر اولیه ۱۰۴

فهرست جداول

جدول ۲-۱ مقایسه مدل‌های مختلف مورد بررسی در شبکه‌های رادیو شناختی ۲۳
جدول ۳-۱ مقایسه روش‌های مختلف مورد شناخت طیف ۴۲
جدول ۵-۱ روش تکراری مبتنی بر استراتژی دوبخشی ۸۱

فهرست علائم

$\boldsymbol{a}$	حروف انگلیسی کوچک با قلم ضخیم بیانگر بردار است
$\boldsymbol{A}$	حروف انگلیسی بزرگ با قلم ضخیم بیانگر ماتریس است
$(.)^T$	ترانهاده بردار
$(.)^H$	ترانهاده هرمیتی بردار
$\lambda_{max}(\boldsymbol{A})$	بیشینه مقدار ویژه ماتریس $\boldsymbol{A}$
$\boldsymbol{v}_{max}(\boldsymbol{A})$	بردار ویژه متناظر با بیشینه مقدار ویژه ماتریس $\boldsymbol{A}$
$E\{.\}$	امید ریاضی یک متغیر تصادفی
$var\{.\}$	واریانس یک متغیر تصادفی
$\mathrm{diag}(\boldsymbol{a})$	ماتریس قطری با المان‌های $\boldsymbol{a}$ روی قطر اصلی
$\|\boldsymbol{a}\|$	نرم اقلیدسی بردار $\boldsymbol{a}$
$\Re(.)$	مقدار حقیقی یک عدد مختلط
$\Im(.)$	مقدار موهومی یک عدد مختلط
$\|.\|$	اندازه‌ی یک عدد مختلط
$\mathrm{sgn}(.)$	علامت یک عدد حقیقی
$\mathbb{N}(\mu,\sigma^2)$	توزیع نرمال با میانگین μ و واریانس σ^2
$\mathbb{N}(\boldsymbol{\mu},\boldsymbol{\Sigma})$	توزیع نرمال چند بعدی با بردار میانگین $\boldsymbol{\mu}$ و ماتریس کواریانس $\boldsymbol{\Sigma}$
$\mathrm{Q}(.)$	تابع توزیع تجمعی مکمل نرمال
$\boldsymbol{x}\odot\boldsymbol{y}$	ضرب المان به المان دو بردار
x^{dB}	یک قرارداد با تعریف $x^{dB}=10\log_{10}(x)$
$\mathbf{I}$	ماتریس واحد
$\mathbf{0}$	بردار با تمام المان‌های صفر
$\mathbf{1}$	بردار با تمام المان‌های یک

فصل ۱– مقدمه

۱-۱- مقدمه

رشد سریع مخابرات بی‌سیم در چند دهه اخیر باعث افزایش بسیار زیاد تقاضا برای استفاده از باند فرکانسی شده است اما تحقیقات نشان می‌دهد که با سیاست فعلی تخصیص ثابت پهنای باند[۱] بهره‌وری مناسب و کافی از طیف صورت نمی‌پذیرد. رادیوهای نرم‌افزاری[۲] امکان بهره‌وری پویا از طیف[۳] را فراهم می‌آورند. در رادیوی نرم‌افزاری، فرکانس حامل، پهنای باند سیگنال، مدولاسیون و دست‌یابی به شبکه با یک نرم‌افزار تعیین می‌شود. همچنین در رادیوهای نرم‌افزاری جدید رمزنگاری، کدینگ منعطف نیز تحقق پیدا می‌نماید. بدین منظور در یک ساختار کلی‌تر، رادیوی شناختی[۴] مطرح شده است تا با استفاده از فضای سفید طیف[۵] و یا حفره‌های فرکانسی[۶] باعث افزایش بهره‌وری طیفی در ساختار کنونی طیف شود. در این ساختار، مهم‌ترین فعالیت کاربر بدون‌مجوز[۷]، کاربر ثانویه[۸]، تشخیص حضور و یا عدم حضور کاربر مجوزدار[۹]، کاربر اولیه[۱۰]، در طیف فرکانسی مورد بررسی است که از آن به سنجش طیف[۱۱] یاد می‌شود. سنجش طیف دو هدف مهم را دنبال می‌نماید:

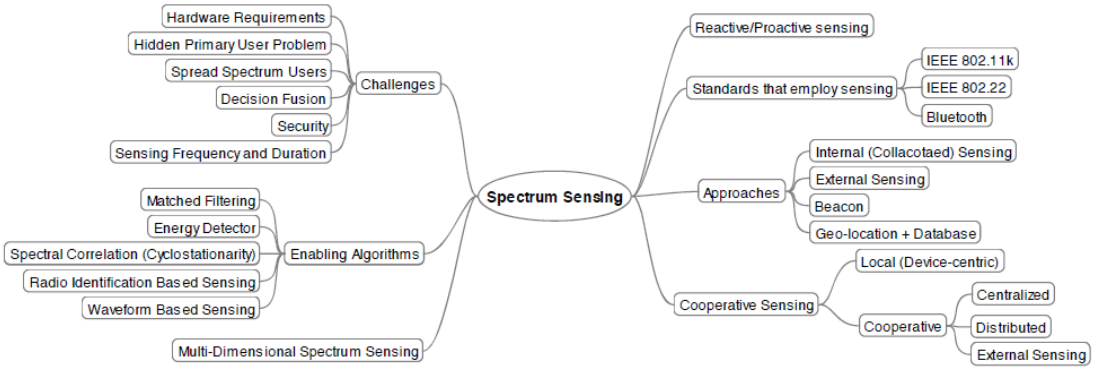
۱. کاربران ثانویه از ایجاد تداخل با کاربران اولیه اجتناب کنند. بدین صورت با تشخیص حضورکاربر اولیه، کاربر ثانویه می‌بایست باند فرکانسی خود را عوض کند یا این که تداخل ایجاد شده با کاربر اولیه را به کمتر از یک حد قابل تحمل برساند.

۲. کاربران ثانویه می‌بایست به صورت موثری حفره‌های فرکانسی را تشخیص دهند تا بتوانند QoS[۱۲] مورد نظر خود را تضمین کنند.

---

[1] Static Spectrum Allocation
[2] Software Defined Radio (SDR)
[3] Dynamic Spectrum Access (DSA)
[4] Cognitive Radio (CR)
[5] White Space Spectrum
[6] Spectrum Hole
[7] Unlicensed User
[8] Secondary User (SU)
[9] Licensed User
[10] Primary User (PU)
[11] Spectrum Sensing (SS)
[12] Quality of Service

بنابراین سنجش طیف در شبکه‌های رادیو شناختی، یک موضوع بسیار مهم و تاثیرگذار بـر روی هـر دو شبکه اولیه و ثانویه است. شکل ۱-۱ جنبه‌های مختلف بررسی سنجش طیف در شبکه‌های رادیوی شناختی را نشان می‌دهد که در طی این پایان‌نامه به بررسی برخی از آن‌ها می‌پردازیم [۱].



شکل ۱-۱ جنبه‌های مختلف سنجش طیف در شبکه‌های رادیوی شناختی [۱]

تاکنون روش‌های مختلفی برای سنجش طیف پیشنهاد شده است. آشکارساز انرژی[۱] معمول‌تـرین روش سنجش طیف می‌باشد که از پیچیدگی محاسباتی و ساخت بسیار کمی برخوردار است. در این روش به هیچ اطلاعات پیشین[۲] از سیگنال کاربر اولیه نیار نیست اما در شرایط عدم قطعیـت در تـوان نـویز[۳] و یـا کانـال محوشدگی[۴] و سایه[۵] عملکرد ضعیفی دارد. در صورتی که سیگنال ارسالی کـاربر اولیـه بـرای کـاربر ثانویـه مشخص باشد، فیلتر منطبق[۶] به عنـوان آشکارسـاز بهینـه[۷] شـناخته شـده اسـت. فیلتـر منطبـق در زمـان بسیارکوتاهی آشکارسازی با عملکرد بالا انجام می‌دهد اما وجود اطلاعات کـاربر اولیـه همیشـه امکـان‌پـذیر نیست. آشکارساز متناوبا ایستان[۸] با جستجو در ویژگی‌های دوره‌ای[۹] سیگنال دریافتی حضور کـاربر اولیـه را تشخیص می‌دهد. با این روش می‌توان بین نویز و سیگنال کاربر اولیـه و حتـی سـیگنال کـاربران مختلـف

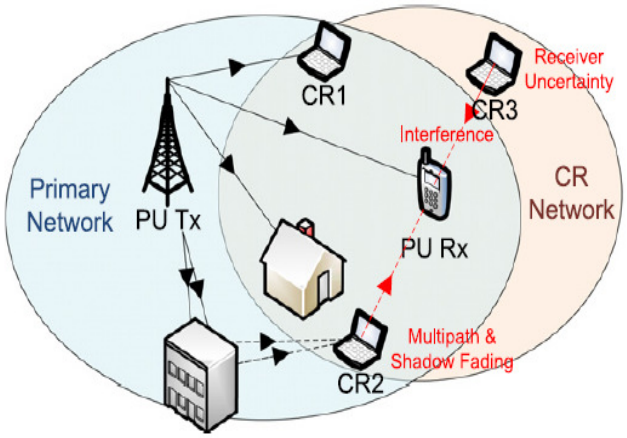
[1] Energy Detector (ED)
[2] Aprior Knowledge
[3] Noise Uncertainty
[4] Fading Channel
[5] Shadowing
[6] Matched Filter
[7] Optimal Detector
[8] Cyclostationary Detector
[9] Cylcic Feature

تفاوت گذاشت و بنابراین در سیگنال به نویز (SNR[1]) پایین نیز عملکرد قابل قبولی بدست آورد. آشکارساز متناوبا ایستان نیاز به اطلاعات دوره‌ای سیگنال دارد و بنابراین پیچیدگی آن از فیلتر منطبق کمتر ولی از آشکارساز انرژی بیشتر است. روش‌های دیگری هم برای آشکارسازی پیشنهاد شده است که در این پایان-نامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت اما آشکارساز انرژی بدلیل سادگی توجه بیشتر محققین را به خود جلب کرده است.

عوامل بسیاری در تعیین عملکرد سنجش طیف موثر هستند که از آن میان می‌توان به اثرات عدم قطعیت نویز و گیرنده، محوشدگی و سایه‌افکنی نام برد. همان‌طور که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌کنید، کاربر ثانویه دوم به دلیل اثرات محوشدگی و سایه‌افکنی حضور کاربر اولیه را به درستی تشخیص نمی‌دهد. همچنین عدم قطعیت گیرنده[2] (اثر ترمینال‌های مخفی[3]) باعث می‌شود تا کاربر سوم به دلیل این که در محدوده دریافت کاربر اولیه نیست، توانایی تشخیص صحیح حضور کاربر اولیه را نداشته باشد و با ارسال خود با گیرنده کاربر اولیه ایجاد تداخل کند. اما از آنجایی که احتمال این که تمامی کاربران ثانویه به صورت هم‌زمان دچار چنین مشکلاتی شوند بسیار کم است، روش‌های مشارکتی سنجش طیف[4] عملکرد را بسیار بهبود می‌دهند. سنجش مشارکتی طیف به دو صورت متمرکز[5] و توزیع‌شده[6] امکان‌پذیر است. در سنجش متمرکز، تمامی کاربران ثانویه اطلاعات خود را به یک مرکز ترکیب[7] ارسال می‌نمایند و مرکز ترکیب تصمیم‌گیری نهایی را در مورد طیف اتخاذ می‌کند. اطلاعات ارسالی به مرکز ترکیب می‌تواند خود مشاهدات[8] کاربران ثانویه (ترکیب اطلاعات[9]) و یا تصمیم‌گیری آن‌ها در مورد طیف (ترکیب تصمیمات[10]) باشد. روش‌های بسیاری برای انجام این ترکیبات پیشنهاد شده است که در فصل چهارم مفصلا بررسی

[1] Signal to Noise Ratio (SNR)
[2] Reciever Uncertainty
[3] Hidden Terminal
[4] Cooperative Spectrum Sensing (CSS)
[5] Centralized
[6] Distributed
[7] Fusion Center (FC)
[8] Observation
[9] Data Fusion
[10] Decision Fusion

خواهند شد. در مقابل، در سنجش توزیع‌شده، گیرنده مشترکی وجود ندارد و کاربران ثانویه اطلاعات را بین یک‌دیگر مبادله می‌کنند تا به یک تصمیم‌گیری واحد برسند. چالش‌های زیادی در پیاده‌سازی سنجش مشارکتی طیف مطرح است که به بررسی مهم‌ترین آن‌ها خواهیم پرداخت.



شکل ۱-۲ اثرات عدم قطعیت گیرنده، محوشدگی و سایه‌افکنی [۲]

همان‌طور که عنوان شد اثرات فیدینگ و سایه نقش بسیار مهمی در عملکرد سنجش طیف دارد اما به دلیل پیچیدگی تحلیل در بسیاری از کارهای انجام شده، از آنها صرف نظر شده است. همچنین در ساختارهای مشارکتی متمرکز عموما کاربران با بیشینه توان اطلاعات را به مرکز ترکیب ارسال می‌کنند. اما در رویکرد اول، با در نظر گرفتن هم‌زمان اثرات فیدینگ و سایه، هدف تعیین ضرائب شکل دهی پرتو کاربران ثانویه به منظور رسیدن به عملکرد بهینه‌ی ساختار مشارکتی سنجش طیف و با در نظر گرفتن محدودیت توان کل و یا تک‌تک آنها است. به صورت مشخص سه مسئله بهینه‌سازی برای تعیین ضرائب ارائه شده و تحلیل بهینه‌سازی آنها انجام می‌گیرد. در انتهای این فصل یک روش زیربهینه با پیچیدگی کمتر ارائه می‌شود که در ازای کاهش اندک عملکرد، پیچیدگی کمتری در محاسبه ضرائب اعمال می‌نماید. در نهایت نتایج شبیه‌سازی موثرتر بودن ساختار پیشنهادی را نسبت به روش متداول نشان می‌دهد.

در رویکرد دوم، ساختار ساده‌تری برای کاربران ثانویه در نظر گرفته شده است بدین صورت که آنها تنها به رله سیگنال دریافتی خود به سمت مرکز ترکیب اکتفا می‌کنند و پردازش سیگنال‌ها کاملا در مرکز ترکیب صورت می‌پذیرد. در این ساختار نیز اثر سایه همبسته در هر دو لینک سنجش و ارسال در نظر