دانشکده مهندسی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی برق – مخابرات (سیستم)

مشاهده و دسترسی به باندهای فرکانسی با استفاده از روش مشارکتی در سیستم های رادیوشناختی

به وسیله‌ی

آرمین دهقانی

استاد راهنما

دکتر علیرضا ذوالقدر اصلی

دی ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

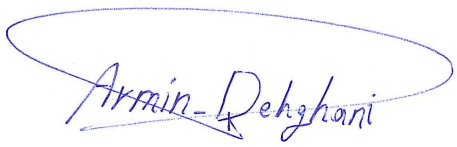
به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب آرمین دهقانی دانشجوی رشته‌ی برق گرایش مخابرات (سیستم) دانشکده‌ی برق و کامپیوتر اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که پایان‌نامه و موضوع پایان‌نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه‌ی حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه‌ی مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام ونام خانوادگی: آرمین دهقانی

تاریخ و امضاء: ۱۳۹۰/۱۱/۶



به نام خدا

مشاهده و دسترسی به باندهای فرکانسی با استفاده از روش مشارکتی در سیستم های رادیوشناختی

توسط

آرمین دهقانی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی
لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشتهٔ

مهندسی برق -مخابرات سیستم

از دانشگاه شیراز (واحد بین الملل)

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: خیلی خوب

دکتر علیرضا ذوالقدر اصلی، دانشیار مهندس برق(رئیس کمیته) . . . . . .

دکتر عباس شیخی ، دانشیار مهندسی برق. . . . . .

دکتر عزیزاله جمشیدی ، استادیار مهندسی برق. . . . . .

شهریور ۱۳۸۹

تقدیم به

پدرم، مادرم

سپاسگزاری

در اینجا برخود لازم می دانم که از کلیه افرادی که به نحوی مرا در انجام این پایان نامه یاری رساندند تشکر و قدردانی نمایم. به خصوص استاد راهنمای گرامی، جناب آقای دکتر ذوالقدر که همانند پدری دلسوز با کمکها و راهنماییهای بیدریغ خود، مرا در انجام این پایان نامه همراهی کردند؛ و همچنین آقایان دکتر عباس شیخی و دکتر عزیزالله جمشیدی که مشاورت در پایان نامه را به عهده داشتند و مشوق من بودند؛ و در نهایت تمامی دوستانی که در طول انجام این پایان نامه همراه و راهنمای من بوده‌اند.

چکیده

مشاهده و دسترسی به باندهای فرکانسی با استفاده از روش مشارکتی در سیستم های رادیوشناختی

به کوشش
آرمین دهقانی

با افزایش و پیشرفت سیستم های مخابراتی بدون سیم، باند فرکانسی موجود جوابگوی نیاز این سیستم های نمی باشد. بنابراین نیاز است که سیاست استفاده از باندهای فرکانسی تغییر یابد. یک روش، دسترسی به باندهای فرکانسی به صورت پویا می باشد. در این روش، کاربران بدون مجوز، می توانند در زمان ها و مکان هایی که کاربران مجوزدار در حال فعالیت در باندهای فرکانسی مورد نظر نیستند، در این باندها فعالیت نمایند. این نوع دسترسی به باندهای فرکانسی از طریق سیستم های رادیوشناختی امکان پذیر می باشد.

مهمتری مساله در سیستم های رادیو شناختی، آشکارسازی باندهای فرکانسی خالی می باشد. زیرا اگر کاربران رادیوشناختی، باندهای فرکانسی را به اشتباه آشکارسازی کنند، باعث ایجاد تداخل در سیستم های دارای مجوز شده و عملکرد این سیستم ها را مختل می نمایند. آشکارسازی به روش های مختلفی صورت می گیرد که در هر روش، هر کاربر حضور یا عدم حضور کاربر مجوزدار را در باند فرکانسی مورد نظر مشخص می نماید. برای افزایش احتمال آشکارسازی و در نتیجه بهبود عملکرد سیستم ها، روش آشکارساز مشارکتی به کار می رود که در این روش، تعدادی کاربر، یک باند فرکانسی را مشاهده می کنند و سپس نتایج مشاهدات خود را به مرکز ادغام داده ارسال می نمایند و در مرکز با توجه به مشاهدات کاربران، تصمیم گیری می گردد که باند فرکانسی مورد بررسی خالی است یا نه.

در این پروژه، ابتدا در مورد روش های آشکارسازی باندهای فرکانسی بحث می گردد. سپس دو نوع تصمیم گیری سخت و نرم در روش آشکارساز مشارکتی توضیح داده می شود. هدف مقایسه ی احتمال آشکارسازی این دو نوع تصمیم گیری و بررسی عملکرد آن ها به ازای تغییر پارامترهای شبکه می باشد. همچنین، عملکرد برای دو نوع آشکارساز(آشکارساز انرژی و آشکارساز ایستان تناوبی) بررسی و با یکدیگر مقایسه می گردند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- قابلیت های سیستم های رادیویی هوشمند ۳

۱-۲- روش های دسترسی به باندهای فرکانسی ۴

فصل دوم: مروری بر نظریه ی آشکارسازی

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۱-۱- مسأله ی آزمون فرضیه ی باینری ۶

۲-۱-۲- حل مسأله ی آزمون فرضیه به روش بهینه ۷

۲-۲- روش های آشکارسازی باندهای فرکانسی در سیستم های رادیوی هوشمند ۹

۲-۲-۱- آشکارساز انرژی ۱۰

۲-۲-۲- آشکارسازی از طریق فیلتر منطبق ۱۱

۲-۲-۳- آشکارساز خصوصیات ایستان تناوبی ۱۳

۲-۴- آشکارسازی مشارکتی ۱۴

۲-۴-۱- پیکربندی موازی ۱۵

۲-۴-۲- پیکربندی سری ۱۶

فصل سوم: مروری بر کارهای انجام گرفته

۳-۱- تصمیم گیری ملایم وزن دار در آشکارسازی مشارکتی برای آشکارساز انرژی در شبکه های رادیویی هوشمند ۱۹

۳-۲- مشاهده ی طیفی مشارکتی بر پایه ی تصمیم گیری سخت برای آشکارساز انرژی در سیستم های رادیوی هوشمند ۲۳

۳-۳- آشکارسازی با استفاده از ماتریس کواریانس و ماتریس خودهمبستگی ۲۶

۳-۴- آشکارسازی مقدار ماکزیمم تابع خودهمبستگی ۲۹

عنوان **صفحه**

فصل چهارم: بررسی و مقایسه ی عملکرد تصمیم گیری سخت و ملایم در آشکارساز انرژی از طریق انجام شبیه سازی

۴-۱- مقدمه ۳۳

۴-۲- بررسی عملکرد آشکارسازانرژی در تصمیم گیری سخت و ملایم با تغییر پارامترهای آشکارسازی ۳۷

۴-۳- مقایسه ی عملکرد تصمیم گیری ملایم و سخت ۴۷

فصل پنجم: بررسی عملکرد آشکارسازی از طریق خصوصیات ایستان تناوبی با استفاده از شبیه سازی

۵-۱- مقدمه ۵۱

۵-۲-بررسی عملکرد آشکارساز خصوصیات ایستان تناوبی و مقایسه ی آن با آشکارساز انرژی ۵۲

فصل ششم: استفاده از سطوح کوانتیزیشن برای بهبود عملکرد آشکارساز انرژی و آشکارساز ایستان تناوبی

۶-۱- مقدمه ۶۱

۶-۲- نحوه ی بدست آوردن سطوح کوانتیزیشن ۶۱

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۷-۱- نتیجه گیری ۶۶

۷-۲- پیشنهادات ۶۸

فهرست منابع و مأخذ ۶۹

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل(۲-۱): طرح کلی آشکارساز فیلتر منطبق ۱۲
شکل (۲-۲) : مشارکت کاربران ثانویه برای آشکارسازی باندهای فرکانسی
در پیکربندی موازی ۱۶
شکل (۲-۳) : مشارکت کاربران ثانویه برای آشکارسازی باندهای فرکانسی
در پیکربندی سری ۱۶
شکل(۳-۱): بلاک دیاگرام آشکارسازی انرژی ۱۹
شکل(۳-۲): مدل مشاهده ی باندهای فرکانسی کاربران اولیه ۲۱
شکل(۳-۳): بلاک دیاگرام آشکارساز ایستان تناوبی ۳۰
شکل (۵-۱): مقایسهٔ احتمال آشکارسازی برای آشکارساز انرژی و آشکارسازی
خصوصیات ایستان تناوبی در تصمیم گیری نرم $N=16, P=5, P_{fa}=.1$ ۵۲
شکل (۵-۲): مقایسهٔ احتمال آشکارسازی برای آشکارساز انرژی و آشکارسازی
خصوصیات ایستان تناوبی در تصمیم گیری نرم $N=32, P=5, P_{fa}=.1$ ۵۳
شکل (۵-۴): مقایسهٔ احتمال آشکارسازی برای آشکارساز انرژی و آشکارسازی
خصوصیات ایستان تناوبی در تصمیم گیری سخت $P=5, N=16, P_{fa}=.1$ ۵۴
شکل (۵-۵): مقایسهٔ احتمال آشکارسازی برای آشکارساز انرژی و آشکارسازی
خصوصیات ایستان تناوبی در تصمیم گیری سخت $N=32, P=5, P_{fa}=.1$ ۵۵
شکل (۵-۷): مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز
برای سه نوع مدولاسیون در تصمیم گیری نرم $P=5, P_{FA}=.1, M=8, N=16$ ۵۶
شکل(۵-۸) : مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز
برای سه نوع مدولاسیون در تصمیم گیری سخت $P=5, P_{FA}=.1, M=8, N=16$ ۵۷
شکل (۵-۹): مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز
در تصمیم گیری سخت و نرم $P=5, P_{FA}=.1, N=16$ ۵۸

عنوان **صفحه**

شکل (۵-۱۰): مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز
در تصمیم گیری سخت و نرم $P=5, P_{FA}=.1, N=32$ ۵۹
شکل(۶-۱) : مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز
در آشکارساز انرژی برای تصمیم گیری با سطوح کوانتیزیشن متفاوت در کانال
با فیدینگ رایلی و برای $P=5, SNR=-5dB, N=32$ ۶۳
شکل(۶-۲): مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز
در آشکارساز خصوصیات ایستان تناوبی برای تصمیم گیری با سطوح کوانتیزیشن
متفاوت در کانال با فیدینگ رایلی $P=5, SNR=-5dB, N=32$.....۶۴

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار(۴-۱) : احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز در
تصمیم گیری سخت برای کانال با فیدینگ رایلی $P=5,P_{FA}=.05$ ۳۵
نمودار(۴-۲) : احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز
در تصمیم گیری ملایم برای کانال با فیدینگ رایلی $P=5,P_{FA}=.05$ ۳۶
نمودار(۴-۳) : احتمال آشکارسازی بر حسب احتمال هشدار کاذب
در تصمیم گیری سخت برای کانال با فیدینگ رایلی $P=5,SNR=-7dB$ ۳۷
نمودار(۴-۴) : احتمال آشکارسازی بر حسب احتمال هشدار کاذب
در تصمیم گیری نرم برای کانال با فیدینگ رایلی $P=5,SNR=-7dB$ ۳۸
نمودار(۴-۵) : احتمال آشکارسازی بر حسب تعداد کاربران مشارکت کننده
در تصمیم گیری نرم برای کانال با فیدینگ رایلی $P_{FA}=.05,SNR=-7dB,N=32$ ۴۰
نمودار(۴-۶) : احتمال آشکارسازی بر حسب تعداد کاربران مشارکت کننده
در تصمیم گیری سخت برای کانال فیدینگ رایلی $P_{FA}=.05,SNR=-7dB,N=32$ ۴۱
نمودار(۴-۷) : مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز
در تصمیم گیری نرم برای کانال های با نویزجمع شونده، سایه ی لگاریتمی،
و فیدینگ رایلی $P=5,P_{FA}=.05,N=32$ ۴۲
نمودار(۴-۸) : مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز
در تصمیم گیری سخت برای کانال های با نویز جمع شونده، سایه ی لگاریتمی،
و فیدینگ رایلی $P=5,P_{FA}=.05,N=32$ ۴۳
نمودار(۴-۹) : مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز
برای سه نوع مدولاسیون در تصمیم گیری ترم $P=5,P_{FA}=.1,M=8,N=16$ ۴۴
نمودار(۴-۱۰) : مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز
برای سه نوع مدولاسیون در تصمیم گیری سخت $P=5,P_{FA}=.1,M=8,N=16$ ۴۵

عنوان **صفحه**

نمودار(۴-۱۱) : مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال
به نویز در تصمیم گیری سخت و نرم برای کانال با فیدینگ رایلی
$P = 5, P_{FA} = .05, N = 16$ ۴۸
نمودار(۴-۱۲) : مقایسه ی احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال
به نویز در تصمیم گیری سخت و نرم برای کانال با فیدینگ رایلی و برای
$P = 5, P_{FA} = .05, N = 32$ ۴۹

فصل اول

مقدمه

با پیشرفت سریع مخابرات بی سیم تعداد بیشماری سیستم های ارتباطی در باندهای مجوزدار و بدون مجوز به وجود آمده اند که برای کاربردهایی مثل GSM استفاده می گردند. بر اساس گزارش سازمان جهانی مخابرات[1]، تعداد زیادی از این باندهای فرکانسی، در زمان و مکان های مختلف بدون استفاده هستند[۱]. این مساله باعث شده است که طیف فرکانسی به طور مناسبی مورد بهره وری قرار نگیرد.

برای آنکه دسترسی به باندهای فرکانسی به صورت پویا امکان پذیر باشد، تکنولوژیی به نام رادیوی هوشمند[2] به وجود آمده است که باعث افزایش ظرفیت در سیستم های مخابراتی بدون سیم می گردد. این سیستم از دو نوع کاربر تشکیل شده است.کاربران اولیه[3] و کاربران ثانویه[4]. کاربران ثانویه کاربرانی هستند که مجوز استفاده از باندهای فرکانسی را ندارند؛ به این معنی که طیف فرکانسی خاصی به آن ها اختصاص داده نشده است. کاربران اولیه دارای مجوز استفاده از باندهای فرکانسی می باشند. سیستم های رادیوشناختی این امکان را به وجود می آورند که کاربران ثانویه بتوانند از باندهای فرکانسی کاربران اولیه البته در زمان ها و مکان هایی که کاربران اولیه به باندهای فرکانسی نیازی نداشته باشند، استفاده نمایند.

[1] FCC
[2] Cognitive radio
[3] Primary users
[4] Secondary users

۱-۱- قابلیت های سیستم های رادیویی هوشمند

برای آنکه تقسیم فرکانسی با کاربران مجوزدار امکان پذیر باشد، بدون آنکه باعث ایجاد تداخل در فعالیت این کاربران گردد، لازم است که سیستم های رادیوشناختی دارای قابلیت های زیر باشند [۲]-[۵] .

-**درک طیفی**: یک سیستم رادیوشناختی باید بتواند طیف فرکانسی را مشاهده نماید تا بتواند باندهای فرکانسی را که به وسیله ی کاربران اولیه در حال استفاده نیستند (که به این باندها، فضاهای سفید[1] گفته می شود) و یا باعث ایجاد تداخل کمتری برای این کاربران می شوند، مشخص نمایند.

-**تصمیم گیری فرکانسی**: سیستم رادیوشناختی باید دارای این قابلیت باشد که محل فرستنده ی خود و فرستنده های دیگر را شناسایی نماید و سپس پارامترهای مخابراتی خود مثل توان و فرکانس مناسب را بسته به موقعیت انتخاب نماید. این مساله باعث کاهش میزان تداخل در شبکه های اولیه می گردد.

- **تقسیم فرکانسی**: هنگامی که کاربران ثانویه باندهای فرکانسی خالی را شناسایی نمودند، باید این باندها را بین یکدیگر تقسیم نمایند. بنابراین سیستم رادیوشناختی باید این قابلیت را داشته باشد که هماهنگی لازم را بین کاربران ثانویه برای به اشتراک گذاشتن باندهای فرکانسی که خالی تشخیص داده شده اند به وجود آورد.

-**تحرک فرکانسی:** کاربران ثانویه باید فعالیت را به گونه ای انجام دهند که برای سیستم های اولیه باعث ایجاد تداخل نشوند. برای این منظور لازم است که هنگامی که کاربران اولیه به باندهای فرکانسی نیاز داشتند، کاربران ثانویه این باندها را خالی نمایند و فعالیت خود را در باندهای دیگری ادامه دهند.

[1] White space

۱-۲- روش های دسترسی به باندهای فرکانسی

در سیستم های رادیوشناختی دسترسی به باندهای فرکانسی به دو روش امکان پذیر است. [۶]-[۸]

روش underlay: در این روش دسترسی، کاربران اولیه و ثانویه هم زمان در باندهای فرکانسی فعالیت می نمایند. بنابراین محدودیت های زیادی برای توان ارسالی کاربران ثانویه باید وجود داشته باشد به طوری که این کاربران پایین تر از سقف نویز کاربران اولیه فعالیت نمایند. با استفاده از توسعه ی سیگنال ارسالی روی باند وسیعی از فرکانس (UWB)[1] کاربران ثانویه می توانند نرخ داده ی بالایی را با توان ارسالی کم به دست آورند.

روش overlay : در این روش، دسترسی به باندهای فرکانسی به دو طریق انجام می گیرد که در زیر به توضیح هر کدام می پردازیم.

۱) **روش دسترسی به صورت فرصت طلبانه**[2]: در این روش دسترسی کاربران ثانویه ابتدا باندهای فرکانسی خالی یا همان فضاهای سفید را شناسایی می کنند و سپس شروع به فعالیت می نمایند و هنگامی که کاربران اولیه به این باندها نیاز داشتند کاربران ثانویه باید این قسمت از باند فرکانسی را ترک نموده و فعالیت خود را در باندهای دیگری که خالی است ادامه دهند.

۲) **روش دسترسی به صورت مزایده ای**: در این روش کاربران مجوز دار که همان کاربران اولیه هستند باندهای فرکانسی خود را که بلا استفاده می باشند به مزایده می گذارند. در این روش کاربران اولیه در حکم فروشندگان باندهای فرکانسی و کاربران ثانویه در حکم خریداران هستند. تقسیم فرکانسی بین کاربران در این روش از طریق تئوری بازی بررسی می گردد که در اینجا آن را مطرح نمی کنیم.

[1] Ultra wide band
[2] Opportunisitic spectrum access

فصل دوم

مروری بر نظریه آشکارسازی

۲-۱- مقدمه

به طور کلی نظریه ی آشکارسازی در مورد وجود یا عدم وجود سیگنال به بحث می پردازد. هنگامی که فرستنده ای یک سری داده برای گیرنده ارسال می نماید، این داده ها برای گیرنده نامشخص است. زیرا حداقل تغییری که روی سیگنال ایجاد می گردد، ترکیب شدن آن با نویز می باشد. بنابراین، نیاز است که در گیرنده سیگنال ارسالی آشکارسازی گردد. برای مثال، گیرنده ای را در نظر بگیرید که می خواهد روشن بودن یک فرستنده ی مخابراتی را بررسی کند و مشخص نماید که آیا فرستنده در حال ارسال سیگنال است یا نه. این گیرنده با دو وضعیت مواجه می باشد: یا سیگنال مشاهده شده توسط این گیرنده، سیگنال ارسال شده توسط فرستنده ی مورد نظر است که با نویز ترکیب گردیده است و یا این که فرستنده خاموش است و سیگنال دریافت شده توسط گیرنده فقط نویز می باشد. بنابراین پردازشگر گیرنده با دو فرض مواجه است: وجود یا عدم وجود سیگنال مورد نظر. به این مسأله ی آشکارسازی، مسأله ی آزمون فرضیه ی آماری باینری[1] گفته می شود که در قسمت بعدی در مورد آن توضیح داده می شود.

۲-۱-۱- مسأله ی آزمون فرضیه ی باینری

مساله ی آزمون فرضیه ی باینری در بیان ریاضی به صورت زیر می باشد[۹]- [۱۲]:

$$\begin{cases} H_0: & X(n)=v(n), \\ H_1: & X(n)=S(n)+v(n), \end{cases} \qquad n=1,2,...,N \qquad (۱-۲)$$

که $X(n)$ نمونه های سیگنال دریافتی، $v(n)$ نمونه های نویز و $S(n)$نمونه های سیگنال ارسالی می باشند. در این مسأله چهار وضعیت به وجود می آید:

[1] binary hypothesis test