



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: الکترونیک

عنوان:

تخصیص منابع در شبکه های رادیو شناختی

استاد راهنما: دکتر قمری ادیان

نگارش: محمدقلیپور امین

مهر ۹۴

چکیده

شبکه های رادیو شناختی برای طراحی شبکه های بی سیم نسل آینده بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. ایده رادیو شناختی برای استفاده مؤثرتر از طیف فرکانسی مطرح شد. با توجه به مفهوم رادیو نرم افزار و سطح بالای پردازش هایی که امروزه برای ما فراهم کرده است، می توان رادیو هایی طراحی کرد که قابلیت انتخاب فرکانس، نوع مدولاسیون و سطح توان مناسب را با توجه به شرایط محیطی دارند.

در این پایان نامه یک سیستم رادیو شناختی و مشارکتی مبتنی بر سیستم های چند آنتنه ارائه خواهیم داد. روش دسترسی چندگانه را *OFDM* و روش مشارکت را کد گشایی و ارسال در نظر گرفته ایم. هدف اصلی در این پایان نامه پیشینه کردن ظرفیت شبکه ی ثانویه است، به شرط آن که تداخل تحمیلی از سوی کاربران ثانویه کمتر از آستانه تداخل قابل قبول برای کاربران اولیه باشد. بدین منظور راه حل بهینه برای تخصیص توان در فرستنده ثانویه و رله را ارائه خواهیم داد، اما به دلیل پیچیدگی در محاسبات الگوریتم بهینه، یک راه حل نزدیک به بهینه با پیچیدگی و محاسبات کوتاه تر ارائه خواهیم داد.

کلید واژه: رادیو شناختگر، مخابرات مشارکتی، سیستم های چند آنتنه، تخصیص توان

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۲-۱ مروری بر پیدایش رادیو شناختی	۲
۳-۱ ساختار پایان نامه	۳
فصل ۲: رادیو شناختی	۴
۱-۲ مقدمه	۴
۲-۲ مدیریت پویای طیف	۵
۱-۲-۲ دسترسی انحصاری طیف	۶
۱-۱-۲-۲ حقوق مالکیت طیف	۸
۲-۱-۲-۲ انحصاری پویا	۸
۲-۲-۲ دسترسی سلسله مراتبی	۱۰
۱-۲-۲-۲ الگوی رویهم گذاری (Overlay)	۱۱
۲-۲-۲-۲ الگوی لایه زیرین (Underlay)	۱۲
۳-۲-۲ دسترسی همگانی	۱۲
۱-۳-۲-۲ مدل همگانی کنترل نشده	۱۲
۲-۳-۲-۲ همگانی مدیریت شده	۱۳
۳-۳-۲-۲ همگانی خصوصی	۱۳
۳-۲ انواع دسترسی چند گانه به طیف فرکانسی	۱۳
۱-۳-۲ هم زیستی شیوه های دسترسی به طیف	۱۵
۴-۲ اشتراک گذاری طیفی در رادیو شناختی	۱۶
۵-۲ چالش های پیش رو در رادیو شناختی	۱۸
۱-۵-۲ چالش های پیش رو در روش رویهم گذاری	۱۸
۱-۱-۵-۲ آشکارسازی طیفی	۱۹
۲-۱-۵-۲ تصمیم گیری در مورد طیف	۲۱
۳-۱-۵-۲ تسهیم طیفی	۲۱
۴-۱-۵-۲ تحریک طیفی	۲۲
۲-۵-۲ چالش های پیش رو در روش لایه گذاری زیرین	۲۲
فصل ۳: مخابرات مشارکتی	۲۳
۱-۳ مقدمه	۲۳
۲-۳ مدل های کانال بی سیم	۲۴
۱-۲-۳ محو شدگی رایلی	۲۴

۲۵	.....	۲-۲-۳	محو شدگی رایسین
۲۶	.....	۳-۲-۳	محو شدگی ناکاگامی
۲۶	.....	۳-۳	روش های مختلف مشارکت بعد از انتخاب رله
۲۶	.....	۱-۳-۳	روش رله کردن ثابت
۲۶	.....	۱-۱-۳-۳	روش تقویت و ارسال ثابت
۲۷	.....	۲-۱-۳-۳	روش کدگشایی و ارسال ثابت
۲۸	.....	۳-۱-۳-۳	روش مشارکتی کد شده
۲۹	.....	۲-۳-۳	روش رله کردن وفقی
۳۰	.....	۱-۲-۳-۳	روش کد گشایی و ارسال انتخابی
۳۰	.....	۲-۲-۳-۳	روش کدگشایی و ارسال نموی
۳۰	.....	۳-۲-۳-۳	روش کدگشایی و ارسال نموی - انتخابی
۳۱	.....	۴-۳	بررسی راهبرد کد گشایی و ارسال
۳۵	.....	۴	بررسی ظرفیت کانال های MIMO
۳۵	.....	۱-۴	مقدمه
۳۵	.....	۲-۴	مدل کانال MIMO
۳۶	.....	۳-۴	ظرفیت کانال
۳۹	.....	۴-۴	ظرفیت با روش Water-filling
۴۱	.....	۵	فصل ۵: تخصیص توان در شبکه های رادیو شناختی مشارکتی
۴۱	.....	۱-۵	مقدمه
۴۲	.....	۲-۵	مدل سیستم
۴۳	.....	۳-۵	بیان مسئله و راه حل بهینه
۴۶	.....	۴-۵	الگوریتم زیر بهینه
۵۱	.....	۶	شبیه سازی و مقایسه
۵۵	.....		نتیجه گیری
۵۵	.....		پیشنهادات
۵۶	.....		مراجع و منابع
۶۰	.....		پیوست الف

فصل ۱: مقدمه

۱-۱ مقدمه

رشد سریع صنایع ارتباطی بی سیم باعث شده تقاضا برای پهنای باند اضافی بطور مداوم رشد یابد،

در حالیکه طیف فرکانسی همانند دیگر منابع طبیعی، محدود است. به طور سنتی هر شبکه ی ارتباطی بی گروه برق آزمایگاه

سیم، برای کار مطمئن در ناحیه ی جغرافیایی پیش بینی شده برای آن و عرضه ی خدمات با کیفیت، نیاز دارد

تا بخشی از طیف فرکانسی به آن اختصاص یابد و شبکه ی رادیویی دیگری در آن طیف فرکانسی فعالیت و ایجاد

مزامت نکند. از این رو سازمان های تنظیم مقررات رادیویی با تدوین و اجرای مقرراتی بهره برداری از طیف را

منوط به اخذ مجوز از سازمانهای مذکور می کنند. در این روش هر ارائه کننده ی خدمات ارتباطی تنها مجاز به

بهره برداری از طیف نظام مند می شود. از طرفی بخشی از طیف قرار های فرکانسی بدون نیاز به اخذ مجوز در ا

ختیار کاربردهای صنعتی، علمی و پزشکی (باند ISM) قرار دارند. نکته ی جالب در این میان میزان بهره وری

در بهره برداری از طیف است. در باندهای بدون مجوز میزان این بهره وری بسیار بالاتر از باندهای مجوزدار

است. فکر دسترسی دینامیک به طیف فرکانسی به عنوان راه حلی برای مشکل بالقوه ی کمبود طیف پیشنهاد

شده است، به این صورت که کاربران ثانویه^۱ بطور موقت باندهای فرکانسی را از کاربران اولیه قرض می

گیرند [۱]. البته این امر عمدتاً بدون اجازه ی کاربر اولیه^۲ و به یک روش فرصت طلبانه صورت می گیرد.

اگر چه واژه ی رادیویی شناختی^۳ (CR) تنها طی سال های اخیر بکار رفته، اما مفهوم رادیویی هوشمند کاملاً

جدید نیست. بسیاری از تحقیقات صورت گرفته در زمینه ی ارتباطات بی سیم شباهت هایی با کاری که رادیویی

شناختی انجام می دهد را شامل می شوند. اولین نمونه از چنین تحقیقاتی، پروتکل جلوگیری از برخورد استفاده

¹ Secondary User

² Primary User

³ Cognitive radio

شده در استاندارد ۸۰۲.۳ یا استاندارد اترنت می باشد. دومین نمونه، ایده ی پایه ای $CSMA^1$ یعنی مشاهده قبل از ارسال است که بسیار شبیه به عملکرد رادیوی شناختی است. این شیوه ی انتقال رادیویی هسته ی تکنولوژی رادیوی شناختی حال حاضر را تشکیل می دهد. نمونه ی دیگری از تحقیقات مشابه، تعیین و تخصیص پویای کانال است. بطور طبیعی سطح هوشمندی بکار رفته در یک رادیوی شناختی بسیار بالاتر از مورد مشابه در سیستم های بی سیم موجود خواهد بود.

۱-۲ مروری بر پیدایش رادیو شناختی

فناوری رادیوی شناختی یک تکنولوژی نسبتاً نوپا است و بنابراین تاریخچه ای نسبتاً کوچک دارد. اولین مقاله در این زمینه توسط میتولا در سال ۱۹۹۹ نوشته شد [۲]. در سال ۲۰۰۰، میتولا پایان نامه ی دکتری خود را در

زمینه ی رادیوی شناختی به عنوان یک تعمیم از مفهوم SDR^2 ارائه کرد. در سال ۲۰۰۲، FCC^3 دریافت که طیف فرکانسی در اکثر زمان ها بدون استفاده است. در نتیجه کمیابی طیف فرکانسی، برای فعالیت اپراتورهای

ارائه کننده ی خدمات بی سیم، به خاطر کمبود فرکانس نیست بلکه عمدتاً به دلیل سیستم های قدیمی و

ناکارآمد تخصیص فرکانسی است. در ۲۰ دسامبر سال ۲۰۰۲ در یک NOI^4 از FCC [۳] مسئله ی استفاده از

باند TV برای کاربردهای بدون مجوز مطرح شده است. در این NOI پیشنهاد شده است که یک وسیله ی بدون

مجوز باید پیش از استفاده از طیف فرکانسی قادر به تشخیص فرکانس های بدون استفاده باشد. در ۱۳

نوامبر ۲۰۰۳ FCC یک NOI و $NPRM^5$ ارائه کرد که بیان گرمدل درجه ی تداخل برای محدود کردن و

مدیریت تداخل بود [۴].

با نگاهی به مبانی پایه گذاری رادیوی شناختی، متوجه می شویم که تعریف مورد استفاده برای رادیوهای

شناختی در طی سال های اخیر با تعریفی که برای اولین بار توسط «جوزف میتولا» مطرح شده بود، اندکی

¹ Carrier Sense Multiple Acces

² Software Defined Radio

³ Federal Communications Commission

⁴ Notice of Inquiry

⁵ Notice of Proposed Rulemaking

تفاوت دارد. خود او نیز بر گسترده و متنوع بودن این تعابیر اشاره کرده و متفاوت بودن نظر *FCC* با تعریف اولیه ی خود را قبول دارد. نکته ی دیگر تعبیر و بیان تعریفی جامع تر از جانب خود اوست.

با این حال همه تعاریف با تکیه بر توانمندی های مفروض برای رادیوهای *SDR* بنا شده اند ولی توقعات مبدعین، متفاوت است.

بیشترین رخ دادها در زمینه ی توسعه ی رادیوی شناختی در سال ۲۰۰۴ رخ داد. در این سال *FCC* یک

NPRM را پیشنهاد داد که امکان اجازه دادن به کاربران بدون مجوز را برای قرض گرفتن موقت طیف فرکانسی گروه برق آزمایشگاه

از دارندگان مجوز افزایش می داد، با این شرط که تداخلی توسط کاربران اولیه مشاهده نشود. در حال حاضر

عمده ی فعالیت ها روی سیستم های رادیوی شناختی با تکیه بر تعاریف و پیشنهادات *FCC* و گروه

استانداردسازی *IEEE* ۸۰۲.۲۲ انجام می پذیرد.

۱-۳ ساختار پایان نامه

در این پایان نامه تخصیص توان در شبکه های رادیو شناختی را بررسی خواهیم کرد، بنابراین فصل دوم را به

مفاهیم رادیو شناختی و روش های همزیستی کاربران اولیه و ثانویه اختصاص داده و چالش های مطرح در این

زمینه را بررسی می کنیم. با توجه به این که برای افزایش ظرفیت شبکه های رادیو شناختی از مفاهیمی

همچون مخابرات مشارکتی^۱ و سیستم های چند آنتنه^۲ استفاده می کنیم، فصل سوم را به مفهوم مخابرات

مشارکتی و روش های مشارکت اختصاص داده ام. هم چنین در فصل چهارم ظرفیت شبکه های چند آنتنه را

مورد بررسی قرار می دهیم. در فصل پنجم مدل یک سیستم رادیو شناختی را شرح می دهیم و راه حل بهینه و

زیر بهینه برای تخصیص توان را ارائه می کنیم. در فصل ششم نتایج شبیه سازی ارائه شده است.

¹ Cooperative Communication

² MIMO

فصل ۲: رادیو شناختی

۱-۲ مقدمه

با پیشرفت روش های پردازش و ارسال داده، ترافیک شبکه های بی سیم به طور فزاینده ای در حال افزایش

است. آمارگان ترافیکی این گونه شبکه ها نشان می دهد مجموع ترافیک در هر پنج سال، به طور تقریبی ۳۰ برابر می شود همچنین، پیش بینی ها حاکی از آن است که بیش از ۷۰٪ ترافیک تا سال ۲۰۱۵ میلادی مربوط به کاربردهای تصویری روی تلفن های همراه بود [۵]. بدین ترتیب برای پاسخ گویی به این حجم گسترده داده، ظرفیت شبکه های بی سیم باید افزایش پیدا کند. یک راه عملی، استفاده از شبکه های متراکم از ایستگاه

های پایه ارسال و دریافت^۱ با برد کوتاه مانند شبکه های ریزسولولی^۲ است. بعلاوه، می توان از سامانه های با آنتنایگاه پروژو برق دانشگاه زنجان و دانشی بالا و روش های دایورسیتی در ایستگاه ها سود جست. در واقع در تمامی این راه حل ها سعی بر

این است که با نرخ بیشتری داده را روی یک طیف مشخص ارسال کرد که در اغلب موارد هزینه بر است. با این که می توان با این گونه روش ها به ظرفیت های بالاتری برای شبکه دست یافت اما پهنای باند مورد استفاده هم چنان به عنوان یک کمیت غیر قابل تغییر باقی می ماند و بدون هزینه گزاف قابل افزایش نیست. نکته مهمتر این که فرکانس های کاری مناسب به عنوان یک منبع محدود، رو به پایان است و باور عمومی در میان سیاست گزاران و محققان حوزه مخابرات نیز چنین است. در این میان، اندازه گیری های میزان استفاده از طیف های

تخصیص یافته توسط کاربران در کشور ایالت متحده، نمایانگر پدیده ای است که با این باور عمومی در تناقض

است. این اندازه گیری ها نشان می دهد که میزان زمان استفاده از یک فرکانس کاری در یک موقعیت

جغرافیایی و در یک جهت مشخص بسیار متغیر و در بازده بین ۱۵٪ و ۸۵٪ کل زمان اندازه گیری است [۵].

همچنین مشاهدات نشان می دهد که بعضی فرکانس های پخش تلویزیونی عملاً در بعضی مناطق جغرافیایی استفاده نمی شود با اینکه به طور کامل به آنها اختصاص داده شده است [۳]. بنابر این به نظر می رسد که پدیده

¹ Base Transceiver Station

² Femtocell

رو به پایان بودن طیف های کاری مناسب، نه به خاطر محدود بودن منابع طیفی بلکه به خاطر سوء مدیریت در سیاست گذاری ها در بخش اختصاص طیف است. بنابراین نتایج، بسیاری از محققان و سیاست گزاران این حوزه به دنبال روش های مناسب تری برای استفاده از طیف هستند. این روش های دسترسی را اصطلاحاً دسترسی دینامیک به طیف می گویند. دسترسی دینامیک به طیف شامل مجموعه مختلفی از روش های دسترسی است که در جهت استفاده هر چه بهتر از طیف طراحی شده اند. با توجه به اهمیت روش های دسترسی دینامیک در

مدیریت پویای طیف بخش بعدی را به این موضوع اختصاص داده ایم.

۲-۲ مدیریت پویای طیف

مدیریت طیف رادیویی جهت موفق بودن نیاز به روش ها و فناوری های جدیدی خواهد داشت که هوشمندی و تطابق مورد نیاز جهت به اشتراک گذاری طیف و همکاری شبکه های مخابراتی بی سیم متفاوت را فراهم سازد. این ساختار توسعه یافته مدیریت طیف با عنوان مدیریت پویای طیف خوانده می شود.

مدیریت پویای طیف فناوری کلیدی در حل مسئله محدودیت طیف بشمار می آید که بر اساس آن امکان به اشتراک گذاری طیف رادیویی بین تجهیزات مختلف رادیویی فراهم می گردد. در حوزه به اشتراک گذاری طیف از طریق مدیریت پویای آن، علاوه بر مسائل فنی مسئله تغییر سیاست گذاری های رگولاتورها نیز مطرح هستند. در این حوزه باید توجه داشت که در حال حاضر شبکه های وسیعی در سطح دنیا بر اساس روش مدیریت سنتی طیف در حال سرویس دهی به حجم وسیعی از کاربران هستند که امکان تغییر ناگهانی آنها چه در حوزه قانون گذاری و چه در حوزه فنی مقرون به صرفه نخواهد بود.

دسترسی پویای طیف در شبکه های مخابراتی بی سیم را می توان در سه مدل کلی تقسیم نمود:

• دسترسی انحصاری طیف

• دسترسی سلسله مراتبی (استفاده مشترک)

• همگانی

این تقسیم بندی اولین بار در گزارش سال ۲۰۰۲، FCC ارائه شد [۶]. در مدل استفاده انحصاری، یک کاربر مجوزدار می تواند اجازه استفاده انحصاری از طیف مجوزدار خود را به یک کاربر بدون مجوز بدهد. در مدل

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

نتیجه گیری:

در این پایان نامه یک سیستم رادیو شناختگر بر پایه ی $MIMO_OFDM$ مورد بررسی قرار

گرفت، از روش لایه گذاری زیرین برای به اشتراک گذاشتن طیف بین کاربران اولیه و ثانویه استفاده

کردیم بنابراین چالش اصلی در این شبکه ماکزیمم کردن نرخ ارسال با توجه به آستانه ی تداخل قابل

قبول برای کاربران اولیه است، سپس یک الگوریتم بهینه بدین منظور ارائه شد و دیدیم که محاسبات

انجام شده برای چنین الگوریتمی بسیار پیچیده و زمان بر است. بنابراین الگوریتم زیر بهینه را ارائه

کردیم، در الگوریتم زیر بهینه محاسبات ساده تری ارائه شد و مسئله ی بهینه سازی را در دو تایم

اسلات بررسی کردیم، و در آخر نتایج شبیه سازی بیانگر کارایی بالای الگوریتم زیر بهینه و نزدیک

بودن از نتایج آن به الگوریتم بهینه می باشد.

پیشنهادات

با توجه به این که ماکزیمم کردن نرخ ارسال با در نظر گرفتن محدودیت توان یک مسئله ی بهینه

سازی مفید است. بنابراین می توان برای حل این مسئله از روش های مناسب بهینه سازی مفید

استفاده کرد، روش های بهینه سازی مفیدی که می توانند مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

- روش تابع چریمه

- روش های هم تکاملی

- الگوریتم های ژنتیک

- شبکه های عصبی

البته باید توجه داشت برخی از این الگوریتم ها برای اینکه نتایج قابل قبول ارائه دهند به محذب

بودن مسئله وابسته اند.

برای ادامه کار می توان از الگوریتم های بهینه سازی دیگری استفاده کرد و نتایج را با نتایج

حاصل از الگوریتم ارائه شده در این پایان نامه مقایسه کرد. به طور مثال در [۳۲] از الگوریتم های

ژنتیک به طور مؤثری برای تخصیص توان در یک شبکه ی رادیو شناختی استفاده شده است. گروه برق آزمایشگاه پروژه

مراجع و منابع:

[۱] WWRF, "Cognitive Radio, Spectrum & Radio Resource Management," ed.

[۲] J. Mitola and G. Q. Maguire, Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal," *Personal Communications, IEEE*, vol. 6, pp. 13-18, 1999.

[۳] FCC, "Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands; Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 MHz and in the 3 GHz Band," in *First Report and Order and Further Notice of Proposed Rule Making*, ed, 2006.

[۴] FCC, "In the matter of establishment of an interference temperature metric to quantify and manage interference and to expand available unlicensed operation in certain fixed , mobile and satellite frequency bands," ed, 2003.

[۵] ص.ص. کلیبر " طراحی روش های دسترسی فرصت طلبانه به طیف در شبکه های چند کاربره رادیوگه مهندسی گروه شناختی " پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی دانشکده برق، تیر ۱۳۹۰.

[۶] FCC, "Report of the Spectrum Efficiency Working Group," ed, 2002.

[۷] م. ف. ر. فلاحی " رویکرد های مدیریت پویای طیف در شبکه های مخابرات بی سیم " مرکز تحقیقات مخابرات ایران دی ۱۳۹۰.

[۸] B. F. PhD, "SDR Technology Implementation for the Cognitive ", ed, 2003.

[۹] ف. ش. الاسلامی، "تحلیل تحرک طیفی در شبکه های رادیو شناختی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف دانشکده برق، شهریور ۱۳۹۱.

[۱۰] M. s. a. M. Alouini, "Didital communication over Fading Chanel," *John Wiley & Sons*, 2005.

[۱۱] G. W. W. J. N. Laneman, and D. N. C. Tse., "An efficient protocol for realizing cooperative diversity in wireless networks," *Proc. IEEE ISIT, Washington, DC*, p.234, jun 2001.

[۱۲] J. N. L. a. D. N. Tse, "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Algorithms and Architectures," *Ph.D.dissertation, MIT university*, Aug. 2002.

[۱۳] T. H. a. A. H. A. Nosratinia, "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 10, pp ,73-68 .Oct. 2004.

[۱۴] A. H. M. Janani, T. E. Hunter, and A. Nosratinia, "Coded cooperation in wireless communications: Space-time transmission and iterative decoding," *IEEE Transactons Signal Processing*, vo6. 52, no. 2, pp. 362-376, Feb.2114.

[۱۵] a. G .W. W. J. N. Laneman, "Distributed Space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 2465-2425, Oct. 2003.

[۱۶] e. a. C. He, "Performance of incremental-selective decode-andforward relaying cooperative communications over Rayleigh fading channels," *International Conf. on Wireless Communications and Signal Processing*, 2009.

[۱۷] J. N. L. a. G. W. Wornell, "Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks" *IEEE Transactions on Information Theory*, vol.49, pp.2415–2425, Oct. 2003.

[۱۸] J. G. Proakis "Digital communications,4th ed," 2001.

[۱۹] M. Wrulich, "Capacity Analysis of MIMO Systems," 2006.

[۲۰] I. E. Telator "Capacity of Multi-antenna Gaussian Channels," *Eur.Trans Telecom.* ,VOL.10 , PP,585, Nov 1999.

[۲۱] G. Tsoulos, "MIMO System Technology for Wireless Communication," *Taylor and Francis*, 2006.

[۲۲] M. B. Z. Kosai RAOOF, Nuttapol PRAYONGPUN and Ammar

BOUALLEGUE, "Advanced MIMO Techniques:Polarization Divercity and Antenna Selection".

[۲۳] P. S. M.Ajaybabu, Dr.S.Sri GOWI, "Channel Capacity Of MIMO With CSI available at Transmitter," *international jornal of advanced engineering scinces and technol OGIES . VOL. 10, ISSUE NO. 18088-091.*

[۲۴] H. Y. H.-X. Li, H.-W. Luo, J. Guo, and C.Li., "Dynamic subchannel and power allocation in OFDMA-Based DF cooperative relay networks," *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM08)*, pp. 1-5., Nov. 2008.

[۲۵] Q. X.-c. W. Ying, W .Tong, and L. Bao-ling,, "Power allocation and subcarrier pairing algorithm for regenerative OFDM relay system,," *IEEE 65th Vehicular Technology Conference (VTC2007-Spring, pp. 2727 -2731, Apr. 2007.*

[۲۶] J. Z. J. Jia, and Q. Zhang, "Cooperative relay for cognitive radio networks,," *IEEE INFOCOM 2009, pp. 2304 -2312, Apr. 2009.*

[۲۷] V. T. T. Nadkar, U. Desai, and S. Merchant, "Judicious power loading for a cognitive relay scenario,," *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2009)*, pp. 327-330., jan. 2009.

[۲۸] T. W. a. J. Hillenbrand, "Mutual interference in OFDM-based spectrum pooling systems," *IEEE Vehicular Technology Conference Spring, vol.4. Pp. 1873-1877.*, 2004.

[۲۹] M. J. H. G. Bansal, and V. K. Bhargava, "Optimal and suboptimal power allocation schemes for OFDM-based cognitive radio systems," *IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 7, no. 11, pp. 4710-4718.*, Nov. 2008.

[۳۰] S. C. R. Zhang, and Y.-C. Liang, "On ergodic sum capacity of fading cognitive multiple-access and broadcast channels," *IEEE Transactions on Information Theory, vol. 55, no. 11, pp. 5161-5178.*, 2009.

[۳۱] S. B. a. L. Vandenberghe, "Convex optimization. Cambridge," *U.K.: Cambridge Univ. Press, 2004.*

[۳۲] س.خ. ز. ن. ح. فرخی، "الگوریتم ژنتیک در تخصیص توان سیستم های شناختگر"، بیست و نهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، اردیبهشت ۱۳۹۲.