



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی جهت اخذ درجه کارشناسی

در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات

کاربرد سیستم های رادیو شناختی در شبکه های 5G

نگارش

شهریار گلچین

استاد راهنما

دکتر مهدی قمری ادیان

تیر ماه 1396

چکیده

کاربرد سیستم های رادیو شناختی در شبکه های 5G

نگارش

شهریار گلچین

با توجه به افزایش استفاده از تکنولوژی های بیسیم، تخصیص طیف فرکانسی و کمبود آن برای تخصیص، به موضوع مهمی در علم مخابرات تبدیل شده است. تحقیقات اخیر نشان می دهد که بخش اعظمی از طیف رادیویی که به کاربران اولیه اختصاص داده شده است، به طور بهینه مورد استفاده قرار نمی گیرد. به همین دلیل دستیابی فرصت طلبانه به طیف به کاربران ثانویه به عنوان راه حلی برای بهبود بهره وری از طیف رادیویی پیشنهاد شده است. رادیو شناختی فناوری نوظهوری است که به کاربران ثانویه اجازه بررسی طیف را می دهد تا در زمان هایی که طیف خالی می باشد از آن استفاده نمایند. در این پایان نامه با توجه به اهمیت این سیستم ها در سیستم های مخابراتی، نحوه کار این سیستم ها و ساختار آن ها به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته شده است.

کاربرد سیستم های رادیو شناختی در سیستم های حال حاضر و بر طرف کردن نیاز ها تا حدود قابل قبولی، باعث شده تا کاربرد این سیستم ها در مخابرات پر رنگ شود. با توجه به افزایش روز افزون کاربران و نیاز به سرعت انتقال بالا داده، شبکه های کنونی در حال رفتن و حرکت به سمت نسل بعدی شبکه های ارتباطی یعنی شبکه های 5G است. از آن جا که سیستم های رادیو شناختی راه حل مناسبی برای استفاده بهینه از طیف است، بنابراین چگونگی این سیستم ها و نحوه کارشان در نسل بعدی شبکه ها حائز اهمیت است که بحث روز و پر رونق علم مخابرات سیستم است. در این پایان نامه بعد بررسی دقیق سیستم های رادیو شناختی، به چگونه بودن و الزامات این سیستم ها در شبکه های 5G می پردازیم.

کلمات کلیدی: رادیو شناختی، شبکه های 5G، کاربر اولیه، کاربر ثانویه، طیف رادیویی، نسل بعدی شبکه ها

فهرست مطالب

پایان نامه کارشناسی

عنوان

صفحه

1	فصل اول
1-1-1	مقدمه
2-1-2	اهداف پایان نامه
6	فصل دوم
7-1-2	مقدمه
10-2-2	معرفی سیستم های رادیو شناختی
11-3-2	ویژگی سیستم های رادیو شناختی
14-4-2	معرفی سامانه های رادیویی هوشمند
16-5-2	مفاهیم سامانه های رادیویی هوشمند
19-6-2	رادیو مبتنی بر نرم افزار
20-7-2	استاندارد IEEE 802.22
21-8-2	معماری سیستم های رادیو شناختی
23-9-2	تقسیم بندی طیف فرکانسی

3-4-	بهینه سازی طیف با استفاده از رادیو شناختی در شبکه های 5G	51
1-3-4-	دسترسی دینامیکی به طیف (DSA)	52
2-3-4-	سیاست تنظیم مقررات طیف	54
3-3-4-	سیاست و مدل بازاریابی	55
4-4-	رادیو شناختی و تجمیع حامل	56
5-4-	بهره وری انرژی رادیو شناختی	57
6-4-	الزامات کلیدی و چالش ها برای ترمینال های شناختی 5G	58
1-6-4-	دستگاه های 5G به عنوان ترمینال های رادیو شناختی	61
2-6-4-	چالش های ترمینال شناختی 5G	66
7-4-	خلاصه فصل	72
فصل پنجم		
1-5-	نتیجه گیری	74
فهرست منابع		
75		

پایان نامه کارشناسی

فهرست شکل ها

صفحه

عنوان و شماره

- شکل 1-2 حفره های طیفی در باند های فرکانسی، زمان ها و توان های مختلف 18
- شکل 2-2 ساختار کلی یک سامانه رادویی هوشمند 18
- شکل 2-3 معماری متمرکز یک سیستم راديو شناختی 22
- شکل 2-4 معماری غیر متمرکز یک سیستم راديو شناختی 23
- شکل 2-5 دو روش عمده برای بهره وری از طیف فرکانسی: (a) اشتراک طیفی از طریق ارسال زمینه ای سیگنال ها (b) اشتراک طیفی از طریق روی هم گذاری سیگنال ها 26
- شکل 1-3 اهداف عملکردی یک سیستم 5G 46
- شکل 1-4 دسته بندی دسترسی دینامیکی به طیف 53
- شکل 2-4 معماری راديو شناختی با موتور شناختی سبز (GCR) 58
- شکل 3-4 ویژگی های کلیدی در یک ترمینال 5G 59
- شکل 4-4 اجزای یک ترمینال راديو شناختی 62
- شکل 4-5 ساختار یک SDR 64

1-1- مقدمه

سیستم های ارتباطاتی بیسیم بر اساس نقل و انتقال امواج الکترومغناطیسی (امواج رادیویی) در یک محدوده فرکانسی مشخص بین 3 تا 300 گیگاهرتز، ساخته می شوند. امواج رادیویی با فرکانس های متفاوت، مشخصه های انتشار متفاوتی دارند که موجب می شود برای یک کاربرد بیسیم مشخص، مناسب باشند. به عنوان مثال، امواج رادیویی با فرکانس پایین برای ارتباطات با برد زیاد مناسب اند و امواج رادیویی با فرکانس بالا برای ارتباطات بیسیم سریع و برد کوتاه مناسب اند. بنابراین، در خدمات و کاربردهای بیسیم مختلف از فرکانس های رادیویی مختلف استفاده می کنند. هنگامی که امواج رادیویی منابع مختلف، به طور هم زمان روی یک فرکانس مشابه ارسال شوند، تداخل¹ رخ می دهد. بنابراین به منظور کنترل ارسال امواج رادیویی و برای جلوگیری از تداخل در روش مدیریت طیف کنونی، طیف فرکانسی² در دسترس، به بلوک های فرکانسی متعددی تقسیم می شود و هر بلوک فرکانسی ثابت، برای یک کاربرد مشخص و تحت قوانین تعیین شده توسط دولت، به صورت انحصاری به هر سرویس ارتباطاتی تخصیص داده می شود. در نتیجه در این روش تخصیص طیف³، تداخلی صورت نمی گیرد، زیرا هر بخش از طیف به یک کاربر مشخص اختصاص داده می شود.

از طرف دیگر با به وجود آمدن فناوری های جدید و با افزایش روز افزون تعداد دستگاه های بیسیم، تقاضا برای طیف رادیویی روز به روز بیشتر می شود. اندازه گیری هایی که در این زمینه انجام شده است نشان می دهد که گستره وسیعی از طیف در بیشتر زمان ها به ندرت استفاده می شود، در حالی که دیگر باند ها بسیار شلوغ و پرتراфик هستند. با این حال، قسمت های استفاده نشده طیف که تخصیص داده شده اند نمی توانند توسط کاربران دیگری به جز صاحبان خود آن طیف که طیف را خریده اند، مورد استفاده قرار بگیرند. بنابراین برای غلبه بر این مشکل و ایجاد تعادل میان این طیف بلااستفاده و کمبود طیف ناشی از افزایش نیاز به طیف با توجه به افزایش تقاضا، روش دسترسی به طیف به صورت پویا ارائه شده است تا جایگزین این تخصیص طیف ناکارآمد شود. در روش دسترسی به طیف به صورت پویا به منظور افزایش استفاده از طیف و پاسخ گویی به رشد تقاضا، فرصت های طیفی که در حوزه زمان یا مکان توسط صاحبان مجازشان استفاده نشده اند، می توانند توسط کاربران غیر مجاز مورد استفاده قرار بگیرند. البته کاربران غیر مجاز بایستی قدرت انطباق با فرصت های طیفی را داشته باشند و حقوق کاربران مجاز را نیز

¹ Perturbation

² Spectrum

³ Spectrum Allocation

رعایت کنند. دسترسی به طیف به صورت پویا در دو فاز عمده، کاوش طیف⁴ (سنجش و ارزیابی) و بهره برداری از طیف⁵ (تضمیم گیری و دست به دست کردن) صورت می گیرد. برای استفاده از این روش تخصیص طیف و در نتیجه استفاده بهینه از فرصت های طیفی، بایستی گیرنده و فرستنده های بیسیم برای دست یابی به طیف رادیویی هوشمندتر شوند. به این فرستنده و گیرنده های هوشمند، رادیو شناختی⁶ گفته می شود. یک سیستم رادیو شناختی مبتنی بر دسترسی طیف به صورت پویا، یک سیستم بیسیم است که قابلیت انطباق هوشمندانه پارامتر های خود را با محیط اطراف و همچنین نیاز های کاربران داشته و از این طریق ارتباطاتی با قابلیت اطمینان بالا را ممکن می سازد.

رشد روز افزون ترافیک تلفن های همراه، نیاز اساسی به سرویس های پهنای باند پیشرفته را به وجود آورده است. این امر، محدودیت های موجود در استاندارد های فعلی را مجبور کرده تا یک یکپارچگی و همبستگی محکم بین فناوری های بیسیم و سرعت بالاتر را ارائه دهد که این کمبود نیازمند نسل جدیدی از ارتباطات تلفن همراه است که 5G نام گرفته است. تحول و حرکت به سوی شبکه های 5G به عنوان همگرا بودن خدمات اینترنت با استاندارد های شبکه های تلفن همراه قدیمی مطرح شده است. چیزی که منجر شده تا معمولاً از آن به عنوان "اینترنت تلفن همراه" از طریق شبکه های ناهمگون⁷ با سرعت ارتباطی بسیار بالا یاد کنند.

با توجه به این که شبکه های 5G تا سال 2020 ظهور و بروز نخواهند کرد و هنوز فرصت زیادی باقی است تا درباره مشخصات آن حرف بزنیم، اما شبکه موبایل جدید، به طور اساسی با شبکه 4G متفاوت خواهد بود. در واقع، قطعاً نسل بعدی، شبکه های هوشمند یا آگاه به خدمات⁸ خواهند بود که به اندازه کافی هوشمند هستند تا درکی از وضعیت تجهیزات اطراف خود داشته باشند و بتوانند دستگاه های قابل اتصال را مدیریت کنند. در این نوع از شبکه، شبکه به طور خودکار می فهمد دستگاهی که به آن متصل شده است، یک روبات یا یک گوشی هوشمند⁹ است و چه اطلاعاتی را تبادل خواهد کرد. در واقع، طیف های مختلف رادیویی به انواع اطلاعات و ارتباطات اختصاص خواهند یافت و در هر فرکانس میلیون ها دستگاه از طریق امواج رادیویی به یکدیگر متصل خواهند بود. مفهوم "متصل" در این نوع از شبکه ها

⁴ Spectrum Sensing

⁵ Spectrum Exploitation

⁶ Cognitive Radio (RC)

⁷ Heterogeneous Networks (HetNets)

⁸ Service-aware

⁹ Smart Phones

کمی متفاوت از اتصال هایی است که اکنون شاهد هستیم. در واقع، دستگاه ها به گونه ای به یکدیگر متصل و یکپارچه هستند که انگار شبکه ای در کار نیست و تمام اطلاعات درون خود دستگاه است.

1-2- اهداف پایان نامه

با ظهور شبکه های بیسیم 4G، حوزه های تکنولوژیکی نظیر مدولاسیون تقسیم فرکانسی متعامد¹⁰، سیستم های چند ورودی چند خروجی¹¹، ارتباطات مشارکتی¹²، کدگذاری فرکانس رادیویی¹³ و ارتباطات چند منظوره¹⁴ در معرض توجه قرار گرفته اند. اگرچه حوزه ارتباطات در حال حرکت به جلو و کامل شدن است، اما توجه جدیدی بر تکنولوژی های هوشمند وجود دارد.

انتظار می رود که بر اساس نیاز کاربران در این دهه، ترافیک داده تا 1000 برابر افزایش یابد. با این اوصاف، صحنه برای ورود تکنولوژی 5G آماده خواهد شد، چرا که با پوشش این حجم از ترافیک داده، ارتباط بسیار سریع و مقرون به صرفه ای را فراهم خواهد کرد، در حالی که افزایش هزینه ها به حداقل ممکن خواهد رسید.

با وجود موفقیت در سلول های کوچک¹⁵ و سیستم های چند ورودی چند خروجی (MIMO) در تکنولوژی 4G، هیچ پیشرفت تکنولوژیکی تکی برای برآورده کردن نیاز ترافیکی پیش بینی شده برای آینده وجود ندارد. در حقیقت، تکنولوژی امروز، ترکیب های مختلفی از طیف، بهره وری طیفی و سلول های کوچک را به عنوان یک رد پا برای رسیدن به این هدف نشان می دهد.

نکته اساسی و قابل تامل در این موضوع این است که چگونه می توانیم از طیف موجود بهره برداری موثرتری را داشته باشیم و همچنین منابع طیفی جدیدی را برای تامین نیاز های ترافیکی بیشتر معرفی کنیم، چرا که ما اکنون در حال تجربه دوره ای هستیم که در آن منابع طیفی در حال بهتر شدن و بهبود هستند.

¹⁰ Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

¹¹ Multi Input Multi Output (MIMO)

¹² Cooperative Communications

¹³ Radio Frequency (RF) Coding

¹⁴ Multi-Hop Communications

¹⁵ Small Cells

با توجه به مطالب گفته شده و مشخص شدن نیاز های ترافیکی ای که در آینده با آن ها مواجه خواهیم شد، روشن است که کاربرد سیستم های رادیو شناختی در شبکه های 5G ناهمگون از جمله موضوعات مهم و پایه ای خواهد بود که در آینده ای نزدیک و در سال های آتی با آن مواجه خواهیم شد تا بتوانیم به نیاز های داده ای و ترافیکی کاربران پاسخ دهیم.

در این پایان نامه، با توجه به اهمیت موضوع فوق و مطالبی که گفته شد، بنا بر آن است تا کاربرد های سیستم های رادیو شناختی در شبکه های 5G مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته شود. در ابتدا به تفصیل در مورد سیستم های رادیو شناختی و پیکربندی آن صحبت خواهد شد و پس از آشنایی با این سیستم ها و نحوه کارشان، با ادامه موضوع در مورد شبکه های 5G و الزامات آن، به بحث در مورد کاربرد های سیستم های رادیو شناختی در شبکه های تلفن همراه و بیسیم نسل بعدی خواهیم پرداخت. در نهایت، به نتیجه گیری در مورد این موضوع خواهیم پرداخت که این سیستم ها چگونه در آینده و شبکه های نسل بعد کاربرد خواهند داشت و به چه صورت استفاده خواهند شد.

در این پایان نامه:

در فصل دوم به طور کامل، عملکرد و جوهره سیستم های رادیو شناختی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در فصل سوم شبکه های 5G و الزاماتی که برای یک شبکه 5G باید برقرار باشد مورد بحث قرار خواهد گرفت.

در فصل چهارم کاربرد سیستم های رادیو شناختی در این نوع از شبکه ها بیان می شود.

و در آخر، **در فصل پنجم** به نتایج و چگونه بودن این سیستم ها در شبکه های نسل بعد پرداخته می

5-1- نتیجه گیری

در این پایان نامه، فناوری های نوظهور 5G و سیستم های رادیو شناختی مورد بحث قرار گرفت. سپس ویژگی و شباهت های اساسی بین آن ها بیان شد.

شبکه 5G که سیستم های رادیو شناختی را دارا می باشد، به واسطه الزامات شبکه 5G از طریق استفاده از سیستم های رادیو شناختی به شدت پایدار است، به این طریق که:

- شبکه 5G به ترمینال مطلوب خود دست پیدا می کند که همان ترمینال رادیو شناختی است.

- شبکه 5G تکنولوژی ای را برای اتصال و ادغام انواع ارتباطات بیسیم به دست می آورد که به این ترتیب، به زیر ساخت شبکه مورد نیاز خود می رسد.

- شبکه های 5G (شاید با تغییرات اندک و جزئی) با پروتکل های سیستم های رادیو شناختی سازگار است و باعث افزایش عملکرد تکنیک ها در شبکه می شود.

همچنین، به منظور رفع نیاز های شبکه 5G، برخی از مسائل باید حل شوند:

- چگونگی رسیدن به حداکثر آستانه نرخ داده 5G در هنگام استفاده از تکنولوژی رادیو شناختی در سطح دسترسی (در حال حاضر، سیستم رادیو شناختی جوابگوی نرخ بالا داده نیست اما استفاده از فرکانس بالا برای دستیابی به این هدف پیشنهاد شده است).

- تکنیک های خوب برای ترکیب جریان هایی که از شبکه های دسترسی چندگانه می آیند (در حال حاضر، تعداد قابل توجهی از روش های ترکیب وجود دارد. بنابراین، با یک تجزیه و تحلیل مناسب، راه حل مناسب برای شبکه های 5G به دست خواهد آمد).

- نحوه اتصال ترمینال های رادیو شناختی به شبکه سیمی (این به معنای تعریف رابط رسانه های جدید بین محیط های بیسیم و سیمی است).

در پایان، این گونه می توان نتیجه گرفت که، فناوری رادیو شناختی اولین قدم برای یکپارچه سازی فناوری های ارتباطی مختلف است، مانند به دست آوردن قابلیت همکاری بین انواع مختلف شبکه. همچنین که، سیستم های رادیو شناختی در شبکه های 5G، نشان دهنده یک ترکیب موفقیت آمیز برای رسیدن به شبکه 5G واقعی است.

فهرست منابع

- [1] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," *IEEE journal on selected areas in communications*, vol. 23, pp. 201-220, 2005.
- [2] F. K. Jondral, "From Maxwell's equations to cognitive radio," in *2008 3rd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CrownCom 2008)*, 2008, pp. 1-5.
- [3] T. Yucek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 11, pp. 2111, 111-116.
- [4] J. Mitola, "Cognitive radio---an integrated agent architecture for software defined radio," 2000.
- [5] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey," *Computer networks*, vol. 50, pp. 2127-2159, 2006.
- [6] M. Mchenry, "Spectrum white space measurements New America Foundation Broadband Forum," ed: June, 2003.
- [7] ITU-R, Recommendation M.1645: "Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000", June 2003.
- [8] ITU-R, Document 5D/TEMP/625-E: "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond", 17 June 2015.
- [9] Cisco, "Cisco Visual Network Index: Global mobile traffic forecast update", 2013.
- [10] Ericsson, "Traffic and market data report," 2011.
- [11] Ericsson, White paper "More Than 50 billion connected devices", 2011. URL: <http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-50-billions.pdf>.
- [12] Recommendation ITU-R M.2083-0: "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," September 2015.
- [13] DOCOMO Annual Report 2012, "Medium-Term Vision 2015". URL: www.nttdocomo.co.jp/english/corporateir/library/annual/fy2011/html/feature02/index.html (accessed August 8, 2016).
- [14] Cisco, White paper: "Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2012–2017", February 6, 2013.
- [15] 2013 Ericsson Mobility Report: "https://www.ericsson.com/res/docs/2013/ericsson-mobility-report-november-2013.pdf", November 2013.

[16] MIC of Japan, “Data base of ICT statistics: Mobile communication traffic in Japan”, December 2013. URL: www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/data/gt010601.xls (accessed August 8, 2016).

[17] METIS Deliverable D1.1. URL: <https://www.metis2020.com/documents/deliverables/> (accessed August 8, 2016).

[18] 3GPP, TR 36.912 V11.0.0 “Feasibility study for further advancements for E-UTRA (LTE-Advanced) (Release 11)”, Sept. 2012.

[19] 3GPP, TS 22.168 V9.0.0, “Earthquake and tsunami warning system (ETWS) requirements; Stage 1 (Release 9)”, June 2008.

[20] Tokyo Metropolitan Government, “On wards system,” March 16, 2012. URL: www.soumu.go.jp/main_content/000151653.pdf (in Japanese) (accessed August 8, 2016).

[21] Patil, S., Patil, V., and Bhat, P., ‘A Review on 5G Technology’, *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, vol. 1, no. 1, January 2012.

[22] International Telecommunication Union, ‘Estimated Spectrum Bandwidth Requirements for the Future Development of IMT-2000 and IMT-Advanced’, ITU, 2006, <http://www.itu.int/pub/R-REP-M.2078-2006> (last accessed December 17, 2014).

[23] Federal Communications Commission, ‘Spectrum Policy Task Force Report’, FCC, 2002, http://transition.fcc.gov/sptf/files/SEWGFfinalReport_1.pdf (last accessed December 17, 2014).

[24] Yuan, G., Grammenos, R.C., Yang, Y. and Wang, W., ‘Performance Analysis of Selective Opportunistic Spectrum Access with Traffic Prediction’, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, no. 4, pp. 1949–1959, May 2010.

[25] Akyildiz, I.F., Lee, W.Y., Vuran, M.C. and Mohanty, S., ‘Next Generation of Dynamic Spectrum Access in Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey’, *Computer Networks*, vol. 50, pp. 2127–2159, May 2006.

[26] Haykin, S., ‘Cognitive Radio: Brain-EMPOWERED wireless Communications’, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, no. 2, pp. 201–220, February 2005.

[27] Letaief, K. and Zhang, W., ‘Cooperative Communications for Cognitive Radio Networks’, *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, no. 5, pp. 878–893, May 2009.

[28] Wang, B. and Liu, K.J.R., ‘Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey’, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 5, no. 1, pp. 5–23, February 2011.

[29] Qing, Z. and Sadler, B.M., ‘A Survey of Dynamic Spectrum Access: Signal Processing, Networking, and Regulatory Policy’, *IEEE Signal Processing Magazine*, no. 24, pp. 79–89, March 2007.

[30] Jo, O. and Cho, D., 'Efficient Spectrum Matching Based on Spectrum Characteristics in Cognitive Radio Systems', *Wireless Telecommunication Symposium*, 2008, pp. 230–235.

[31] Wen, Z., Fan, C., Zhang, X. *et al.*, 'A Learning Spectrum Hole Prediction Model for Cognitive Radio Systems', *10th IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, Bradford, UK, 2010.

[32] Motamedi, A. and Bahai, A., 'Optimal Channel Selection for Spectrum-Agile Low-Power Wireless Packet Switched Networks in Unlicensed Band', *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2008, pp. 1–10, March 2008.

[33] Zhao, Q. and Swami, A., 'A Survey of Dynamic Spectrum Access: Signal Processing and Networking Perspectives', *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP2007*, vol. 4, pp. IV-1349–IV-1352, 15–20 April 2007.

[34] Hatfield, D. and Weiser, P., 'Property Rights in Spectrum: Taking the Next Step', in *Proceedings of the first IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, November 2005.

[35] Lehr, W. and Crowcroft, J., 'Managing Shared Access to a Spectrum Commons', in *Proceedings of the first IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, November 2005.

[36] Raman, C., Yates, R. and Mandayam, N., 'Scheduling Variable Rate Links via a Spectrum Server', in *Proceedings of the first IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, pp. 110–118, November 2005.

[37] Ileri, O., Samardzija, D. and Mandayam, N., 'Demand Responsive Pricing and Competitive Spectrum Allocation via a Spectrum Server', in *Proceedings of the first IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, November 2005.

[38] Etkin, R., Parekh, A. and Tse, D., 'Spectrum Sharing for Unlicensed Bands', in *Proceedings of the first IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, November 2005.

[39] ITU, 'GSR 2012: Spectrum Policy in a Hyper-connected Digital Mobile World', 2012, <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/toolkit/docs/Document/4030> (last accessed December 17, 2014).

[40] Felita, C. and Suryanegara, M., '5G Key Technologies: Identifying Innovation Opportunity', *2013 International Conference on QiR (Quality in Research)*, pp. 235–238, 25–28 June 2013.

[41] Pirmoradian, M., Adigun, O. and Politis, C., 'An Analytical Evaluation of Energy Consumption in Cooperative Cognitive Radio Networks', *International Telecommunication Union (ITU) Kaleidoscope 2013*, 22–24 April 2013, Kyoto, Japan.

[42] Pirmoradian, M., Adigun, O. and Politis, C., 'Adaptive Power Control Scheme for Energy Efficient Cognitive Radio Networks', IEEE ICC 2012 Workshop on Cognitive Radio and Cooperation for Green Networking, 10–15 June 2012, Ottawa, Canada.

[43] Gur, G. and Alagoz, F., 'Green Wireless Communications via Cognitive Dimension: An Overview', *Network, IEEE*, vol. 25, no. 2, pp. 50–56, March–April 2011.

[44] Adigun, O. and Politis, C., 'Green Framework for Future Cellular Networks', 25th Wireless World Research Forum (WWRF) meeting, 16–18 November 2010, London, UK.

[45] Clancy, C., Hecker, J., Stuntebeck, E. and O'Shea, T., 'Applications of Machine Learning to Cognitive Radio Networks', *IEEE Wireless Communications*, vol. 14, no. 4, pp. 47–52, 2007.

[46] Baldo N. and Zorzi, M., 'Fuzzy Logic for Cross-Layer Optimization in Cognitive Radio Networks', *IEEE CCNC*, 2007, pp. 1128–1133.



University of Zanjan

Department of Electrical and Computer Engineering

B.Sc. Thesis

Applications of Cognitive Radio Systems in 5G Networks

By

Shahriar Golchin

Supervisor

Mehdi Ghamari Adian, Ph.D.

July 2017