دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه مخابرات

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی برق - مخابرات

تحلیل و مقایسه روش‌های سنجش طیف سیگنال‌های باند باریک در مخابرات فراپهن‌باند (UWB)

استاد راهنما: دکتر منصور نخکش

استاد مشاور: دکتر علی‌اکبر تدین تفت

پژوهش و نگارش: حمزه محمدآبادی

شهریورماه ۱۳۸۹

دانشگاه یزد

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی برق - مخابرات

تحلیل و مقایسه روش‌های سنجش طیف سیگنال‌های باند باریک در مخابرات فراپهن‌باند (UWB)

استاد راهنما: دکتر منصور نخکش

استاد مشاور: دکتر علی‌اکبر تدین تفت

پژوهش و نگارش: حمزه محمدآبادی

شهریورماه ۱۳۸۹

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه/رساله متعلق به دانشگاه یزد است و هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی از این پایان‌نامه/رساله برای تولید دانش فنی، ثبت اختراع، ثبت اثر بدیع هنری، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس و ارائه مقاله در سمینارها و مجلات علمی از این پایان‌نامه/رساله منوط به موافقت کتبی دانشگاه یزد است.

تقدیم

اثری کوچک است، خیلی کوچک و شاید هیچ!

اما به یاد عهد قدیم و رسم ادب
تقدیم می‌شود به:
شهیدان دفاع مقدس مخصوصا پدر شهیدم و منتظران همراه
یادشان به خیر! جوانمردانی که بی ادعا بودند.
خوشا به حالشان که به عهد خویش وفا کردند و به منتهای آرزویشان رسیدند و با مادرشان حضرت زهرا (س) همراز شدند.

و همچنین به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌اش از کلمه ایثار و از خودگذشتگی...
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودش که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است؛ به پاس قلب بزرگش که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهش به شجاعت می‌گراید؛ و به پاس محبت‌های بی‌دریغش که هرگز فروکش نمی‌کند، این مجموعه کوچک را به مادر عزیزتر از جانم تقدیم می‌کنم.

و نیز تقدیم به امید زندگانی‌ام ، به تو ای محبوب قلبم...
تقدیم به تو که یادت در فکر من، عشقت در قلب من، نگاهت در ذهن من و عطر مهربانیت همیشه در وجودم جاریست. تقدیم به تو ای همسر عزیز، باگذشت و مهربانم.

تقدیر و تشکر

سپاسگزار همچون معلمی هستم که اندیشیدن را به من آموخت نه اندیشه‌ها را...

استاد شهید مرتضی مطهری

با قدردانی فراوان از زحمات و پشتیبانی‌های **دکتر منصور نخکش** و مشاوره‌های ارزنده **دکتر علی اکبر تدین** و با تشکر از زحمات تمامی اساتید گرانقدر، مادر صبور و مادربزرگ خوبم در تمام دوران تحصیل. و با سپاس از حمایت مؤسسه تحقیقات ارتباطات و فناوری اطلاعات (ITRC).

چکیده

این پایان‌نامه به مطالعه روش‌های سنجش طیف سیگنال‌های باند باریک در مخابرات فراپهن‌باند پرداخته است که اهمیت زیادی در سیستم‌های مخابرات فراپهن‌باند شناختی دارد. آشکارسازهای انرژی از لحاظ پیاده‌سازی ساده‌ترین و در عمل پرکاربردترین نوع آشکارسازهای مورد استفاده در این سیستم‌ها می‌باشند؛ بنابراین این نوع آشکارسازها مدنظر قرارگرفته و با جزئیات مطالعه، بررسی و شبیه‌سازی شده‌اند.

با توجه به بررسی تداخل مخابرات فراپهن‌باند با سیستم‌های IEEE 802.11a و WiMAX، سه تکنیک جدید در آشکارساز انرژی پیشنهاد شده است که عملکرد بهبود یافته‌ای در سنجش طیف سیگنال‌های IEEE 802.11a و WiMAX ارائه می‌دهند:

۱) سیگنال‌های کاربر اولیه مانند IEEE 802.11a، با چند زیرحامل فرکانسی فراپهن‌باند تداخل می‌کنند. از آنجا که طیف فرکانسی کاربر اولیه تقریبا ثابت است؛ لذا در یک باند فرکانسی مشخص از کاربر اولیه، با استفاده از مجموع انرژی محدوده فرکانسی حامل‌های تداخلی، می‌توان به دقت آشکارسازی بهتری نسبت به کاربرد انرژی یک حامل دست یافت.

۲) سیگنال تداخلی مخابرات فراپهن باند بصورت نویز در آشکارسازی کاربرهای اولیه در نظر گرفته می‌شود. در سناریویی که چند سیستم فراپهن‌باند در یک محیط کار می‌کنند، آشکارسازی بایستی تحت نویز با واریانس‌های متفاوت در باندهای مختلف فرکانسی انجام پذیرد. در این پروژه یک آشکارساز مبتنی بر واریانس‌های نویز متفاوت فرمالیزه شده است و نتایج شبیه‌سازی حاصل از کاربرد آن نشان می‌دهد احتمال آشکارسازی افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. مخصوصا برای آشکارسازی سیگنال‌های باند باریک مانند WiMAX که یک زیرحامل فراپهن‌باند را تحت تاثیر قرار می‌دهند آشکارساز مزبور مناسب بوده و نسبت به آشکارسازی معمول که واریانس تمام باندها را یکسان فرض می‌کند عملکرد بهتری دارد.

۳) با پیش‌پردازش سیگنال دریافتی بصورت نویززدایی توسط تبدیل موجک، انرژی سیگنال تداخلی (شامل نویز و سیگنال فراپهن‌باند) کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی ما مؤید آن است که این عمل احتمال آشکارسازی کاربر اولیه را افزایش می‌دهد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ تعریف سیستم‌های فراپهن‌باند ۲

۱-۳ تاریخچه مخابرات فراپهن‌باند ۳

۱-۴ انواع مدولاسیون‌ها برای مخابرات فراپهن‌باند ۴

۱-۵ تداخل در سیستم‌های فراپهن‌باند ۷

۱-۶ سازماندهی پایان‌نامه ۱۰

فصل دوم : فناوری فراپهن‌باند Ultra-Wideband (UWB) ۱۱

۲-۱ مقدمه ۱۱

۲-۲ مفهوم فراپهن‌باند (UWB) ۱۲

۲-۳ کاربردها و وضعیت سال‌های اخیر فناوری فراپهن‌باند ۱۴

۲-۴ نقاط تمایز بین فناوری فراپهن‌باند با سایر فناوری‌های مخابراتی ۱۸

۲-۵ مزایای سیستم‌های فراپهن‌باند ۱۹

۲-۶ برخی معایب سیستم‌های فراپهن‌باند ۲۲

۲-۷ تفاوت میان فناوری فراپهن‌باند و سیستم‌های طیف گسترده معمولی همانند DSSS ۲۳

۲-۸ محدودیت‌های FCC روی حداکثر توان سیستم‌های فراپهن‌باند ۲۴

۲-۹ مدل‌سازی کانال فراپهن‌باند ۲۷

۲-۱۰ شکل دهنده‌های طیفی و انواع مدولاسیون‌های مخابرات فراپهن‌باند ۳۰
۲-۱۰-۱ شکل دهنده‌های طیفی ۳۰
۲-۱۰-۲ انواع مدولاسیون‌های مخابرات فراپهن‌باند ۳۱
۲-۱۰-۲-۱ TH-UWB ۳۰
۲-۱۰-۲-۲ DS-UWB ۳۵
۲-۱۰-۲-۳ MB-OFDM ۳۸
فصل سوم : سیستم‌های باند باریک و فراپهن‌باند (UWB) ۴۱
۳-۱ مقدمه ۴۱
۳-۲ روش های اجتناب از NBI ۴۳
۳-۲-۱ روش چند حاملی ۴۴
۳-۲-۲ طرح های چند باندی ۴۶
۳-۲-۳ شکل دهی پالس ۴۷
۳-۲-۴ روش های دیگر اجتناب از NBI ۵۰
۳-۳ روش های حذف NBI ۵۲
۳-۳-۱ ترکیب MMSE ۵۲
۳-۳-۲ تکنیک های حوزه فرکانس ۵۴
۳-۳-۳ تکنیک های حوزه زمان – فرکانس ۵۴
۳-۳-۴ تکنیک های حوزه زمان ۵۶
فصل چهارم : فراپهن‌باند شناختی (Cognitive UWB) و سنجش طیف ۵۹
۴-۱ مقدمه ۵۹
۴-۲ رادیو شناختی ۶۱
۴-۳ استفاده طیفی فرصت طلبانه ۶۲
۴-۳-۱ سنجش (حس کردن) فرصت‌های طیفی ۶۳

۴-۳-۲ شکل دهی طیفی ۶۵
۴-۴ فراپهن‌باند شناختی Cognitive UWB ۶۷
۴-۴-۱ OFDM چند باندی ۶۷
۴-۴-۲ سیستم MB-OFDM به عنوان یک رادیو شناختی ۶۸
۴-۴-۳ آشکارسازی سیگنال مزاحم ۶۹
۴-۴-۴ تخمین مسافت ۷۰
۴-۵ مرور برخی روش‌های سنجش طیف در سیستم‌های UWB شناختی ۷۱
۴-۵-۱ آشکارسازی انرژی ۷۱
۴-۵-۲ آشکارسازی ویژگی ۷۳
۴-۵-۳ آشکارسازی فیلتر منطبق ۷۴
۴-۵-۴ آشکارسازهای دیگر ۷۵
۴-۵-۵ مقایسه روش های سنجش طیف مذکور در رادیو شناختی فراپهن‌باند ۷۵
۴-۵-۶ آشکارسازی مشارکتی ۷۶
فصل پنجم : بررسی روش‌های سنجش طیف سیگنال‌های باند باریک در مخابرات فراپهن‌باند ۷۷
۵-۱ مقدمه ۷۷
۵-۲ مدل سیستم‌های فراپهن‌باند و IEEE 802.11a ۷۸
۵-۲-۱ مدل سیستم فراپهن‌باند ۷۹
۵-۲-۲ مدل سیستم IEEE 802.11a ۸۱
۵-۳ سنجش طیف سیگنال‌های باند باریک از جمله IEEE 802.11a ۸۴
۵-۳-۱ MB-OFDM ۸۴
۵-۳-۲ IEEE 802.11a ۸۴
۵-۳-۳ آشکارساز نیمن-پیرسون ۸۵

۵-۳-۴ طراحی آشکارساز سیگنال IEEE 802.11a برای هر زیر حامل ۸۷
۵-۳-۵ نتایج شبیه سازی ۸۹
۵-۳-۶ آشکارسازی سیگنال IEEE 802.11a با توجه به همبستگی فرکانسی باند آن ۹۰
۵-۳-۷ ارائه آشکارساز پیشنهادی مبتنی بر واریانس‌های نویز متفاوت ۹۲
۵-۴ بهبود احتمال آشکارسازی با نویززدایی توسط تبدیل موجک ۱۰۰
۵-۴-۱ کاربرد الگوریتم نویززدایی موجک ۱۰۱
۵-۴-۲ نویززدایی موجک ۱۰۱
۵-۴-۳ نتایج شبیه‌سازی ۱۰۳
فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۷
۶-۱ نتیجه‌گیری ۱۰۷
۶-۲ پیشنهادات ۱۰۹
منابع و مآخذ ۱۱۱

فهرست اشکال و جداول

عنوان صفحه

شکل ۱-۱. طیف سیستم فراپهن‌باند در مقایسه با یک سیستم پهن باند و یک سیستم باند باریک [۸] ۸

شکل ۲-۱. مقایسه ظرفیت فضایی فناوری فراپهن‌باند با سایر سیستم‌ها [۱۰] ۲۲

جدول ۲-۱. الگوی طیفی FCC برای سیستم‌های فراپهن‌باند [۱۴] ۲۴

شکل ۲-۲. الگوی طیفی FCC برای سیستم‌های مخابراتی درون ساختمانی [۱۴] ۲۴

شکل ۲-۳. محدودیت FCC روی حداکثر توان سیستم‌های فراپهن‌باند خانگی [۱۰] ۲۵

شکل ۲-۴. محدودیت FCC روی حداکثر توان سیستم‌های فراپهن‌باند دستی (قابل حمل) [۱۰] ۲۶

شکل ۲-۵. محدودیت FCC روی حداکثر توان سیستم‌های فراپهن‌باند نافذ در زمین، تصویربرداری از دیوار و تصویربرداری پزشکی [۱۰] ۲۶

شکل ۲-۶. محدودیت FCC روی حداکثر توان سیستم‌های فراپهن‌باند تصویربرداری از طریق دیوار و سیستم‌های نظارتی [۱۰] ۲۶

شکل ۲-۷. محدودیت FCC روی حداکثر توان سیستم‌های رادار وسایل نقلیه [۱۰] ۲۶

شکل ۲-۸. محدودیت FCC روی حداکثر توان سیستم‌های عکسبرداری فراپهن‌باند با فرکانس (a) پایین. (b) میانی. (c) بالا. [۱۰] ۲۷

شکل ۲-۹. یک تحقق نوعی پاسخ ضربه کانال تولید شده با استفاده از مدل ۲ کانال IEEE 802.15.3a: کانال NLOS با ۰-۴ m فاصله فرستنده-گیرنده [۱۴] ۲۹

شکل ۲-۱۰. شکل موج ارسالی و دریافتی متناظر با a) $T_p=91ns$ و b) $T_p=0.55ns$. به منظور مشاهده فقط اولین *10ns* در شکل b نشان داده شده است. [۱۴] ۳۰

شکل ۲-۱۱. a) شکل پالس‌های عموما پذیرفته شده در مخابرات فراپهن‌باند b) تبدیل فوریه‌ی چندین شکل پالس؛ پهنای پالس ۰/۷ نانوثانیه [۱۴] ۳۱

شکل۲-۱۲. نمایش مراحل تولید سیگنال ارسالی کاربر k ام در سیستم UWB-TH-BPPM که در آن ۳۴

شکل ۲-۱۳. شکل موج پالس باریک دریافتی مطابق رابطه (۲-۶) [۲۵] ۳۷

شکل ۲-۱۴. ساختار گیرنده DS-UWB برای کاربر اول [۲۵] ۳۸

شکل ۲-۱۵. مثالی از TFC برای یک سیستم MB-OFDM [۳۰] ۳۸

شکل ۲-۱۶. بلوک دیاگرام (a) فرستنده (b) گیرنده‌ی MB-OFDM [۳۲] ۳۹

شکل ۳-۱. تقاطع طیفی تداخل کننده های باند باریک در سیستم‌های فراپهن‌باند [۶۱] ٤١

شکل ۳-۲. یک سناریوی ساده NBI برای سیستم های مدولاسیون چند حامله [۶۱] ۴۴

شکل ۳-۳. برخی روش‌های چندباندی پیشنهادی برای WPAN: a) روش دو باندی پیشنهاد موتورولا b) MB-OFDM [۶۱] ۴۷

شکل ۳-۴. طیف نرمالیزه شده برای پالس گوسی واحد و دو دوبلت گوسی متفاوت [۶۱] ۴۸

شکل ۳-۵. اثر فیلتر کردن شکافی بر شکل پالس ارسال شده [۶۱] ۴۹

شکل ۴-۱. a) یک نمای بموقع از طیف b) استفاده فرصت طلبانه از طیف با بکارگیری سینوسی های محدود در زمان c) با بکارگیری پالس‌های خاص [۹۸] ۶۶

شکل ۴-۲. طرح باند MB-OFDM [۹۹] ۶۷

شکل ۴-۳. طرح باند IEEE 802.11a [۱۰۰] ۶۹

شکل ۴-۴. بلوک دیاگرام آشکارسازی انرژی [۱۰۴] ۷۲

شکل ۴-۵. آشکارسازی ویژگی [۱۰۴] ۷۳

شکل ۴-۶. بلوک دیاگرام آشکارسازی فیلتر منطبق [۱۰۴] ۷۴

شکل ۵-۱. مدل شبیه‌سازی شده‌ی UWB - Multiband OFDM [۱۱۵] ۷۹

شکل ۵-۲. مدل شبیه‌سازی شده‌ی IEEE 802.11a WLAN [۱۱۵] ۸۱

شکل ۵-۳. طرح باند MB-OFDM [۹۹] ۸۴

شکل ۵-۴. طرح باند IEEE 802.11a [۱۰۰] ۸۴

شکل ۵-۵. نمودارهای $P_D(q)$ برای SNR های متفاوت، N=69 ..... ۹۰

شکل ۵-۶. نمودارهای $P_D(q_1 + \dots + q_5)$ برای SNR های متفاوت، N=69 ..... ۹۱

شکل ۵-۷. احتمال آشکارسازی برای حالت ۱ . الف) آشکارساز پیشنهادی، ب) آشکارساز قبلی ۹۶

شکل ۵-۸. احتمال آشکارسازی برای حالت ۲ . الف) آشکارساز پیشنهادی، ب) آشکارساز قبلی ۹۶

شکل ۵-۹. احتمال آشکارسازی برای حالت ۳ . الف) آشکارساز پیشنهادی، ب) آشکارساز قبلی ۹۶

شکل ۵-۱۰. احتمال آشکارسازی برای حالت ۴ . الف) آشکارساز پیشنهادی، ب) آشکارساز قبلی ۹۷

شکل ۵-۱۱. احتمال آشکارسازی برای حالت ۵ . الف) آشکارساز پیشنهادی، ب) آشکارساز قبلی ۹۷

شکل ۵-۱۲. احتمال آشکارسازی برای حالت ۶ . الف) آشکارساز پیشنهادی، ب) آشکارساز قبلی ۹۷

شکل ۵-۱۳. مقایسه عملکرد آشکارساز تک واریانس با آشکارساز چند واریانس برای حالت ۱ ..... ۹۸

شکل ۵-۱۴. مقایسه عملکرد آشکارساز تک واریانس با آشکارساز چند واریانس برای حالت ۲ ..... ۹۸

شکل ۵-۱۵. مقایسه عملکرد آشکارساز تک واریانس با آشکارساز چند واریانس برای حالت ۳ ..... ۹۸

شکل ۵-۱۶. مقایسه عملکرد آشکارساز تک واریانس با آشکارساز چند واریانس برای حالت ۴ ..... ۹۹

شکل ۵-۱۷. مقایسه عملکرد آشکارساز تک واریانس با آشکارساز چند واریانس برای حالت ۵ ..... ۹۹

شکل ۵-۱۸. مقایسه عملکرد آشکارساز تک واریانس با آشکارساز چند واریانس برای حالت ۶ ..... ۹۹

شکل ۵-۱۹. نمودار احتمال آشکارسازی سیگنال نویززدایی شده با تبدیل موجک، در SNR های مختلف ۱۰۴
شکل ۵-۲۰. نمودار احتمال آشکارسازی سیگنال بدون استفاده از نویززدایی، در SNR های مختلف ۱۰۴
شکل ۵-۲۱. مقایسه عملکرد آشکارساز پیشنهادی با آشکارساز اولیه برای $P_F=10^{-4}$ ۱۰۵
شکل ۵-۲۲. مقایسه عملکرد آشکارساز پیشنهادی با آشکارساز اولیه برای $P_F=10^{-3}$ ۱۰۵
جدول ۵-۱. مقایسه آشکارسازهای پیشنهای به لحاظ پیچیدگی محاسباتی.....۱۰۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

امروزه دستیابی به نرخ‌های بالا برای انتقال اطلاعات از نیازهای پایان ناپذیر سیستم‌های مخابراتی به شمار می‌رود. ورود تکنولوژی مخابرات فراپهن‌باند (UWB[1]) به عرصه انتقال اطلاعات برای پاسخگویی به این نیاز بوده است. مخابرات فراپهن‌باند در حقیقت انتقال داده‌ها با استفاده از سیگنال‌هایی با عرض باند بسیار وسیع و توان کم می‌باشد. استفاده از عرض باند وسیع مزایای زیادی به همراه دارد. افزایش عرض باند یکی از روش‌های مقرون به صرفه برای افزایش نرخ ارسال داده‌ها به جای افزایش توان ارسالی است. افزودن عرض باند به معنای کاهش طول زمانی سیگنال‌های ارسالی می‌باشد. لذا در کانال‌های محوشدگی چند مسیره[2] کپی‌های دریافتی بیشتری قابل تشخیص بوده و می‌توان این کپی‌ها را به صورت سازنده با هم ترکیب کرده تا به نسبت سیگنال به نویزهای بالاتری دست یافت.

خصوصیات مناسب سیستم‌های فراپهن‌باند سبب شده است که به عنوان گزینه‌ای مناسب برای انتقال اطلاعات در فواصل کوتاه و با نرخ‌های داده بالا مورد توجه قرار گیرند. یکی از این کاربردهای روزمره، ارتباط بی‌سیم[3] یک میزبان[4] مانند رایانه شخصی با لوازم جانبی خود مانند

---

[1] Ultra-Wideband
[2] Multipath fading
[3] Wireless connectivity
[4] Host

موس، چاپگر، صفحه کلید، یا ابزاری مانند دوربین‌های فیلمبرداری و عکاسی می‌باشد. نرخ داده لازم برای چنین ارتباطاتی شامل مقادیری در حدود 100kb/s مثلا برای ارتباط یک موس تا مقادیری در حد 100Mb/s مثلا برای انتقال اطلاعات دوربین فیلمبرداری تا رایانه می‌باشد. جایگزینی سیستم‌های بی‌سیم به جای کابل‌های ارتباطی با تکنیک‌های طیف گسترده امکان پذیر است. یک نمونه از این سیستم‌ها تکنولوژی Bluetooth می‌باشد. اما برای دستیابی به نرخ‌های بالاتر لازم است تا از روش‌های دیگری همانند فراپهن‌باند استفاده شود. در همین راستا امروزه تلاشهایی در جریان است تا با استفاده از تکنولوژی فراپهن‌باند درگاه USB[1] را که در آن امکان انتقال اطلاعات با سرعتی معادل 480Mb/s به صورت کابلی وجود دارد با نمونه بی سیم آن جایگزین نمود[۱].

کاربرد سیگنال‌های فراپهن‌باند در مخابرات، محدود به انتقال اطلاعات نمی‌باشد. استفاده از سیستم‌های راداری و یا سیستم‌های مکان‌یابی از دیگر کاربردهای سیگنال فراپهن‌باند است[۲].

۱-۲ تعریف سیستم‌های فراپهن‌باند

در ابتدای پیدایش فناوری فراپهن‌باند، هر سیستمی‌که برای انتقال اطلاعات از سیگنال‌های ضربه مانند (که تحت عنوان تک‌سیکل[2] شناخته می‌شوند) برای انتقال اطلاعات استفاده می‌کرد تحت عنوان سیستم فراپهن‌باند شناخته می‌شد. تک‌سیکل‌ها سیگنال‌هایی با طول زمانی بسیار کوچک در محدوده چندین نانو ثانیه و عرض باند بسیار وسیع در محدوده چندین گیگاهرتز می‌باشند. در ماه فوریه سال ۲۰۰۲ کمیته FCC[3] که وظیفه تدوین قوانین مخابراتی در ایالات متحده امریکا را به عهده دارد تعریف مدونی از سیگنال‌های فراپهن‌باند ارایه داد. مطابق با این تعریف سیگنالی به عنوان سیگنال فراپهن‌باند شناخته می‌شود که عرض باند آن بیش از ۵۰۰ مگاهرتز بوده و طیف چگالی توان آن از محدودیت خاصی پیروی کند[۳].

[1] Universal Serial Bus
[2] Monocycle
[3] Federal Communication Commission

۳-۱ تاریخچه مخابرات فراپهن‌باند

منبع پیدایش فناوری فراپهن‌باند به سال ۱۹۶۲ باز می‌گردد. در آن زمان بود که سعی شد تا رفتار حالت گذرای یک کلاس خاص از شبکه‌های ماکروویو از طریق پاسخ ضربه آن بررسی شود. در حقیقت ایده مطرح شده این بود که به جای استفاده از روش‌های متداول جاروی فرکانسی[1]، یک سیستم خطی تغییر ناپذیر با زمان (LTI[2]) را می‌توان به طور کامل به وسیله پاسخ ضربه آن توصیف کرد. و از همانجا بود که پالسهای ضربه مانند (پالس‌هایی با طول زمانی بسیار کوتاه و با طیف بسیار وسیع فرکانسی) برای محاسبه خواص سیستم‌های دیگر از قبیل المان‌های آنتن و غیره نیز مورد استفاده قرار گرفت. پس از آن معلوم گشت که در سیستم‌های رادار با استفاده از این پالس‌های ضربه مانند، تشخیص هدف با دقت بیشتری امکان پذیر است[۴]. تا جایی که تا اواسط دهه ۹۰ اصلی‌ترین کاربرد سیگنال‌های فراپهن‌باند محدود به سیستم‌های رادار بود.

پس از این دوره بود که محققان به این نتیجه رسیدند که سیگنال‌های فراپهن‌باند دارای خواص مناسبی هستند که می‌توان از آنها در ساخت گروهی از سیستم‌های مخابراتی که دارای کاربردهای نظامی هستند استفاده کرد. از این سیستم‌ها تحت عنوان سیستم‌های با احتمال پایین ردیابی و آشکارسازی[3] نام برده می‌شود. در همین زمینه بود که ROSS در سال ۱۹۸۴ مقاله ای ارائه کرد[۵] که بر خلاف کارهای قبلی این بار بر انتقال اطلاعات توسط سیگنال‌های فراپهن‌باند تاکید داشت. ارائه این ایده که بیشتر کاربرد نظامی داشت سبب شد که اکثر تحقیقات در این زمینه تحت محدودیت‌های نظامی انجام بگیرد. بعد از دهه ۹۰ بود که به تدریج محدودیت‌های نظامی از این سیستم‌ها برداشته شد و مخابرات فراپهن‌باند وارد کاربردهای تجاری و روزمره گشت و پس از آن به سرعت گسترش یافت تا آنجا که امروزه یک کمیته برای پایه‌گذاری استانداری بر

---

[1] Frequency sweep

[2] Linear Time Invariant

[3] Low Probability of Intercept and Detection

مبنای سیگنال‌های فراپهن‌باند تشکیل شده تا از آن در انتقال اطلاعات با نرخ بیت‌های بالا و در فواصل کوتاه استفاده شود[۶].

۴-۱ انواع مدولاسیون‌ها برای مخابرات فراپهن‌باند

تاکنون تکنیک‌ها و مدولاسیون‌های گوناگون برای استفاده در سیستم‌های فراپهن‌باند پیشنهاد شده است. در ابتدا که تک‌سیکل‌ها مبنای ارسال اطلاعات در مخابرات فراپهن‌باند بودند یکی از مطرح‌ترین مدولاسیون‌های مورد استفاده روش TH-PPM[۱] بود در این روش تک‌سیکل‌ها باتوجه به داده‌های دریافتی توسط مدولاسیون مکان پالس (PPM) مدوله شده و سپس برای ارسال آن‌ها از روش پرش زمانی(TH) استفاده می‌شود. در روش پرش زمانی بازه‌های زمانی ارسال به زیر بازه‌های کوچکتری تقسیم شده و هر کاربر با توجه به یک دنباله امضا که به وی اختصاص داده می‌شود در یکی از زیر بازه‌ها اطلاعات خود را ارسال می‌کند.

یکی دیگر از ایده‌های مورد استفاده روش DS-CDMA[۲] می‌باشد. اساس این روش که به طور وسیع در مخابرات طیف گسترده از آن استفاده می‌شود این است که برای ارسال یک بیت با طول زمانی مشخص از یک کد شبه تصادفی[۳] که طول زمانی بیت‌های آن کوچکتر از بیت ورودی است استفاده می‌شود. به هریک از بیت‌های کد شبه تصادفی چیپ[۴] می‌گویند. نکته متمایز کننده سیستم‌های DS-CDMA در مخابرات فراپهن‌باند استفاده از تک‌سیکل‌ها برای ارسال چیپ‌ها می‌باشد.

روش‌های فوق دارای معایب و مزایای مختلفی هستند. در مورد هر دو سیستم می‌توان با توجه به کپی‌های سیگنال که از مسیرهای مختلف کانال فیدینگ به گیرنده می‌رسند از روش دایورسیتی[۵] برای تصمیم گیری استفاده کرد. از طرف دیگر روش‌های فوق در ابتدا برای کار در

---

[1] Time Hopping-Pulse Position Modulation
[2] Direct Sequence-Code Division Multiple Access
[3] Pseudo Random
[4] Chip
[5] Diversity

باند پایه پیشنهاد شده بودند نتیجه این عمل ساده سازی گیرنده و فرستنده با حذف قسمت‌هایی است که برای انتقال سیگنال از باند میانی به باند پایه و برعکس به کار می‌روند.

مشکلات تولید تک‌سیکل‌ها با توجه به خواص زمانی و فرکانسی آن‌ها احتیاج به طراحی آنتن‌هایی دارد که قادر به پوشش محدوده وسیع فرکانسی با بهره مناسب باشند. و نیاز به همزمان‌سازی‌های بسیار دقیق در گیرنده‌های همدوس از جمله معایب این سیستم‌ها هستند.

ارائه تعریف جدید FCC از سیگنال‌های فراپهن‌باند سبب شد تا بسیاری از محققان و کمپانی‌های پیشرو در صنعت مخابرات از دید دیگری به مقوله فراپهن‌باند نگاه کنند. به این ترتیب که بحث مخابرات فراپهن‌باند نه به عنوان یک نوع مدولاسیون خاص برای پالس‌های ضربه مانند بلکه به عنوان یک عرض باند وسیع قابل استفاده مورد توجه قرار گرفت. این سبب شد که ایده‌های جدیدی برای مخابرات فراپهن‌باند ارائه شوند. به عنوان مثال سعی شد تا به جای ارسال سیگنال‌هایی با عرض باند چندین گیگاهرتز عرض باند موجود برای سیگنال‌های فراپهن‌باند را به زیر باندهای کوچکتری که هر کدام حداقل ۵۰۰ مگاهرتز طول داشته باشند تقسیم کرده و سپس سیگنال ارسالی در این زیر باندها به صورت همزمان و یا جداگانه ارسال گردد.

یکی از ایده‌های جدید مطرح شده برای مخابرات فراپهن‌باند استفاده از مدولاسیون OFDM[1] به عنوان یک مدولاسیون چند حاملی و ترکیب آن با تکنیک پرش فرکانسی (FH[2]) است[۷]. در این روش ابتدا یک سمبل OFDM با عرض باندی در حدود ۵۰۰ مگاهرتز تشکیل می‌شود سپس این بلوک OFDM در عرض باند موجود (عرض باند ۷/۵ گیگاهرتزی) عمل پرش فرکانسی انجام می‌دهد. با این عمل، هم می‌توان از خواص مناسب مدولاسیون OFDM بهره برد و هم از مزایای گسترده کردن طیف توسط تکنیک پرش فرکانسی سود جست. این سیستم تحت عنوان OFDM چند بانده (MB-OFDM[3]) شناخته می‌شود.

[1] Orthogonal Frequency Division Multiplexing
[2] Frequency Hopping
[3] Multi Band OFDM

هم اکنون کمیته ای در انجمن بین‌المللی مهندسین برق (IEEE) تحت عنوان 802.15.3a تشکیل شده که وظیفه آن تدوین استانداردی برای شبکه‌های شخصی بی سیم (WPAN[1]) با نرخ داده بیش از ۵۵ مگابیت بر ثانیه می‌باشد. شبکه WPAN به شبکه ای اطلاق می‌شود که در آن امکان ارتباط وسایلی همچون دوربین فیلم برداری، تلفن همراه، رایانه شخصی، چاپگر و غیره به صورت بی‌سیم با یکدیگر فراهم می‌شود. دو روش MB-OFDM و DS-CDMA به عنوان روش‌های مورد استفاده در مخابرات فراپهن‌باند از گزینه‌های اصلی برای این استاندارد می‌باشند[۲].

گیرنده متداول برای روش DS-CDMA در سیستم‌های طیف وسیع، گیرنده RAKE می‌باشد. کاربرد اصلی گیرنده RAKE در کانال‌های فیدینگ چند مسیره است و در بررسی عملکرد آن عموما فرض می‌شود که تداخل بین سمبلی (ISI[2]) در سمبل‌های دریافت شده درگیرنده وجود ندارد. از آنجا که به علت نرخ بالای سمبل‌ها در مخابرات فراپهن‌باند و همچنین به علت خواص کانال‌های فراپهن‌باند وجود تداخل بین سمبلی در گیرنده این سیستم‌ها اجتناب ناپذیر است لذا طراحی گیرنده RAKE احتیاج به بازنگری دارد. به همین دلیل گیرنده‌های RAKE اصلاح شده ای برای تکنیک DS-CDMA در مخابرات فراپهن‌باند پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به گیرنده MMSE-RAKE اشاره کرد. در این گیرنده سعی می‌شود تا عمل دریافت کامل انرژی سیگنال‌هایی که از مسیرهای مختلف به گیرنده می‌رسند و حذف تداخل بین سمبلی به طور همزمان انجام شود. برای این منظور ضرایب مربوط به هر کدام از بازوهای RAKE با استفاده از معیار حداقل کردن میانگین مجذور خطا (MMSE[3]) انتخاب می‌گردند[۲].

[1] Wireless Personal Area Networks

[2] Inter Symbol Interference

[3] Maximum Likelihood Sequence Estimator