بسم الله الرحمن الرحيم

٣٨٨١٥

دانشکده فنی

گروه برق- مخابرات

عنوان:

طراحی، شبیه‌سازی و ساخت آنتن UWB با خط تغذیه مایکرواستریپی

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

استاد راهنما: دکتر محمد نقی آذرمنش

نگارش: ژاله بهجتی

۱۳۸۹/۴/۸

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دی‌ماه ۱۳۸۸

۱۳۸۸۱۵

دانشگاه ارومیه

پایان نامهٔ کارشناسی ارشد خانم / آزاله بهتی به تاریخ ۸۸/۱۰/۱۶ شماره
مورد پذیرش هیأت محترم داوران با رتبه عالی و نمرهٔ ۱۸/۵ هجده و پنج قرار گرفت.

۱- استاد راهنما و رئیس هیأت داوران: دکتر محمدتقی آذرنیوش

۲- استاد مشاور: ــــــ

۳- داور خارجی دکتر سعید اخوتگ

۴- داور داخلی دکتر جنگیر قبادی

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر جواد نوری

حق چاپ و نشر مطالب این پایان نامه در انحصار دانشگاه ارومیه می باشد.

تقدیم به

پدر و مادرم

و همسرم

تقدیر و تشکر

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت.
خدای سبحان را شاکرم که توانستم در گروه برق و مخابرات دانشگاه ارومیه که مکانی مناسب برای تحقیق و پژوهش در زمینه علم مخابرات در گرایش میدان‌ها و امواج است، تحصیل کنم و وجود اساتید بزرگوار و تعداد مقالات پذیرفته شده در مراکز معتبر علمی جهان موید این مطلب می‌باشد.
پس از حمد و سپاس به درگاه ایزد یکتا، بر خود لازم می‌بینم که از زحمات بی‌دریغ استاد بزرگوار جناب آقای دکتر آذرمنش، استاد راهنمای اینجانب که هم در طول دوره تحصیل و هم در مدت انجام پژوهش حاضر همواره مرا مورد لطف و محبت خویش قرار دادند که بدون راهنمایی‌های حکیمانه ایشان و استفاده از کتابخانه شخصی ایشان انجام این پژوهش بر من مشکل بود، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.
اکنون که در آستانه فارغ التحصیلی می‌باشم جا دارد از تمامی اساتید گروه برق، بخصوص جناب آقای دکتر قبادی و جناب آقای دکتر نوری‌نیا که با راهنمایی و معاونت خویش، مرا کمک نموده‌اند نهایت تقدیر و تشکر را به جا آورم.
همچنین، از مرکز تحقیقات مخابرات ایران به خاطر حمایت مالی از این پایان‌نامه بسیار سپاسگزار می‌باشم و امیدوارم توانسته باشم گامی هر چند کوچک در جهت پیشرفت صنعت مخابرات ایران برداشته باشم.
در پایان از دوستان عزیزم خانم مهندس آزاده ایمانی، هلاله ابراهیم‌زاده، رها اشتیاقی و زهرا بونیک که همواره همراه من بودند تشکر می‌نمایم.

چکیده

در سال ۲۰۰۲ اولین پروتکل در مورد مخابرات بی‌سیم باند وسیع ارائه شد که رنج فرکانسی ۳/۱ تا ۱۰/۶ گیگاهرتز را در بر می‌گیرد. بنابراین باند UWB یک باند فرکانسی جالب برای طراحی آنتن گردید. در ارتباطات باند وسیع، آنتن‌ها دارای سایز کوچک، سرعت انتقال دیتای بالا، پهنای باند وسیع، توان مصرفی کم و پترن تشعشعی همه‌جهته هستند که در رادار، ردیابی، شبکه‌های سنسور و دستگاه‌های تشخیص سرطان سینه کاربرد دارد.

به همین دلیل آنتن‌های مونوپل انتخاب مناسبی برای سیستم‌های ارتباطی باند وسیع شدند. با این وجود این آنتن‌ها با باندهای فرکانسی HIPERLAN/2 و IEEE 802.11 تداخل می‌کنند. برای جلوگیری از این تداخل باید بوسیله یک فیلتر میان‌گذر با پهنای باریک باند فرکانسی WLAN را از باند UWB حذف کرد. ساده‌ترین روش استفاده از یک فیلتر خارجی در کنار آنتن می‌باشد که این کار باعث پیچیدگی بیشتر سیستم و بزرگ شدن ابعاد آنتن می‌شود. راه دیگر استفاده از یک ساختار فیلتری روی خود آنتن می‌باشد. برای ایجاد این فیلتر ساختارهای متنوعی روی آنتن‌های مختلف ارائه شده است.

در ساختار ارائه شده، یک آنتن جدید از خانواده آنتن‌های تک قطبی چاپی با پچ متقارن برای کاربردهای مختلف سیستم-های بسیار پهن باند UWB معرفی شده است. ساختار ارائه شده از یک صفحه زمین ناقص بریده شده و دو پچ تشعشعی نیم‌بیضی متقارن با دو شکاف نواری شکل تشکیل شده است. با تنظیم پارامترهای آنتن پیشنهادی، پهنای باند UWB با تطبیق امپدانسی مناسب دست‌یافتنی است. آنتن طراحی شده با ابعاد کوچک ۲۰×۲۰ میلیمتر در باند فرکانسی ۲/۷ GHz تا ۱۱GHz با دو باند فرکانسی ممنوعه از ۳/۳GHz تا ۳/۸GHz و ۵/۱GHz تا ۵/۸۵GHz کار می‌کند.

این آنتن روی زیرلایه ارزان FR4 با ثابت دی‌الکتریک نسبی ۴/۴ و ضخامت ۱ میلیمتر ساخته شده است. در این پایان‌نامه برای شبیه سازی از نرم‌افزار HFSS استفاده شده است و در مقایسه با نتایج حاصله از آزمایش عملی، دقت بسیار خوبی دارد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول شبکه‌های بی‌سیم، سیستم UWB، مزایا و معایب و انواع آنتن‌های UWB

۱-۱ مقدمه ۱
۱-۲ شبکه‌های بی‌سیم WLAN، WWAN، WMAN، WPAN ۱
۱-۳ تعریف سیستم UWB ۲
۱-۳-۱ تاریخچه سیستم UWB ۲
۱-۳-۲ مزایای سیستم UWB ۳
۱-۳-۳ معایب سیستم‌های UWB ۴
۱-۳-۴ کاربردهای سیستم UWB ۵
۱-۴ تئوری آنتن ۷
۱-۴-۱ تعریف آنتن ۷
۱-۴-۲ المان‌های آنتن اصلی ۷
۱-۴-۲-۱ دیپل هرتزین ۷
۱-۴-۲-۲ میدان دور ۸
۱-۴-۲-۳ میدان نزدیک ۹
۱-۴-۳ پارامترهای آنتن ۹
۱-۵ آنتن‌های UWB ۱۵
۱-۵-۱ مشخصات آنتن‌های UWB ۱۵
۱-۵-۲ انواع آنتن‌های UWB ۱۶
۱-۵-۲-۱ آنتن‌های تک قطبی صفحه‌ای ۱۶
۱-۵-۲-۲ آنتن‌های مخروطی دو مخروطی ۱۶
۱-۵-۲-۳ آنتن‌های مستقل از فرکانس ۱۸
۱-۵-۲-۴ آنتن‌های موج رونده (متحرک) ۱۹
۱-۵-۲-۵ آنتن‌های پهن باند با پوشش چند رزونانسی ۱۹

فصل دوم آنتن‌های مایکرواستریپی

۲-۱ مقدمه ۲۱
۲-۲ معرفی آنتن‌های مایکرواستریپ ۲۱

۲-۳ مزایا و معایب آنتن‌های مایکرواستریپ..... ۲۲
۲-۴ کاربردهای آنتن‌های مایکرواستریپ..... ۲۳
۲-۵ روش‌های تغذیه آنتن‌های مایکرواستریپ..... ۲۳
۲-۶ روش‌های تحلیل آنتن مایکرواستریپ..... ۲۵
۲-۶-۱ روش خط انتقال..... ۲۵
۲-۶-۲ مدل محفظه تشدید..... ۲۶
۲-۶-۳ روش MNM..... ۲۶
۲-۶-۴ روش ممان..... ۲۶
۲-۶-۵ روش المان محدود..... ۲۷
۲-۶-۶ تکنیک حوزه طیفی SDT..... ۲۷
۲-۶-۷ روش FDTD..... ۲۷
۲-۷ روش‌های افزایش پهنای باند آنتن‌های مایکرواستریپ..... ۲۸
۲-۷-۱ تعریف پهنای باند..... ۲۸
۲-۷-۲ شکل‌های پچ اصلاح شده..... ۲۹
۲-۷-۳ ساختارهای چند رزوناتوری مسطح..... ۳۰
۲-۷-۴ ساختارهای چند لایه..... ۳۰
۲-۷-۵ آنتن‌های مایکرواستریپ با تزویج الکترومغناطیسی..... ۳۰
۲-۷-۶ آنتن‌های مایکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای..... ۳۱
۲-۷-۷ آنتن‌های مایکرواستریپ پشته گذاری شده چند رزوناتوری..... ۳۱
۲-۷-۸ شبکه‌های تطبیق امپدانسی برای آنتن‌های پهن باند..... ۳۱
۲-۷-۹ آنتن‌های مایکرواستریپ با ساختار تکراری لگاریتمی..... ۳۲
۲-۷-۱۰ آنتن‌های مایکرواستریپ پهن باند با زیرلایه فریت..... ۳۲
۲-۷-۱۱ آنتن‌های مایکرواستریپ پهن باند کوچک..... ۳۲

فصل سوم بررسی روش‌های طراحی آنتن‌های تک‌قطبی چاپی برای سیستم‌های UWB

۳-۱ مقدمه..... ۳۳
۳-۲ روش‌های طراحی و بهبود عملکرد آنتن تک قطبی چاپی بیضوی و شبه بیضوی برای کاربردهای UWB..... ۳۳
۳-۲-۱ طراحی فرکانس پایین در آنتن‌های UWB..... ۳۴
۳-۲-۲ طراحی فرکانس بالا در آنتن‌های UWB..... ۳۶
۳-۲-۳ ایجاد شکاف بیضوی در داخل المان تشعشعی آنتن تک قطبی..... ۴۰
۳-۲-۴ ایجاد شکاف‌های پلکانی در لبه‌های کناری المان تشعشعی آنتن تک قطبی و تصحیح ساختار زمین..... ۴۴
۳-۳ بررسی مشخصات تشعشعی آنتن‌های تک قطبی چاپی و بهبود آن..... ۴۷

۳-۴ روش‌های طراحی آنتن‌های تک قطبی چاپی با داشتن عملکرد فیلترینگی متغیر..... ۵۱
۳-۴-۱ مقدمه‌ای بر آنتن‌های تک قطبی چند باند و یا پهن باند بهمراه فیلترهای چند بانده..... ۵۱
۳-۴-۲ انواع آنتن‌های قطبی چاپی با یک باند فرکانسی فیلتر شده (یا دو بانده)..... ۵۲
۳-۴-۳ انواع آنتن‌های تک قطبی چاپی با دو باند فرکانسی فیلتر شده (یا سه بانده)..... ۵۶

فصل چهارم طراحی و ساخت آنتن مونوپل نیم بیضی با خط تغذیه دو شاخه و دو باند فیلتر شده

۴-۱ مقدمه..... ۶۰
۴-۲ مراحل طراحی آنتن پیشنهادی..... ۶۰
۴-۲-۱ مرحله اول..... ۶۰
۴-۲-۲ مرحله دوم..... ۶۲
۴-۲-۳ مرحله سوم..... ۶۳
۴-۳ ساختار نهایی آنتن پیشنهادی..... ۶۵
۴-۳-۱ ساختار فیلتر دوباندی..... ۶۵
۴-۳-۲ نتایج اندازه‌گیری شده..... ۶۹
۴-۳-۳ نتیجه‌گیری..... ۷۸
پیشنهادات..... ۷۹
مراجع..... ۸۰

فهرست جدول‌ها، نمودارها و اشکال

عنوان صفحه

فصل اول

شکل ۱-۱: شماتیکی از شبکه‌های بی‌سیم..... ۲

شکل ۱-۲: تاریخچه توسعه UWB..... ۳

شکل ۱-۳: نمودار انرژی انتقالی برحسب فرکانس..... ۳

شکل ۱-۴: تداخل UWB با سایر سیستم‌های باند باریک..... ۵

شکل ۱-۵: نمایی از یک WPAN آینده در یک نمونه از اتاق نشیمن..... ۵

شکل ۱-۶: بازبینی بتن پل با استفاده از GPR..... ۶

شکل ۱-۷: رادار اتومبیل..... ۶

شکل ۱-۸: یک دیپل بیضوی (چپ)، شکل موج متراکم (راست). ۷

شکل ۱-۹: روش تغذیه و سیستم مختصات برای دیپل عمودی. ۸

شکل ۱-۱۰: نسبت بین E و H در میدان دور..... ۹

شکل ۱-۱۱: هم ارزی مابین آنتن تشعشعی فیزیکی و مدار خطی..... ۱۱

شکل ۱-۱۲: دو نمای مختلف پترن تشعشعی..... ۱۲

شکل ۱-۱۳: a) آنتن ایزوتروپیک با بهره ۰dBi ، b) آنتن دیپل کوچک با بهره ۲/۲dBi ، c) آنتن بوقی با بهره ۱۰dBi+ یا بیشتر..... ۱۳

جدول ۱-۱: مقایسه مابین آنتن‌های همه جهته و جهت‌دار..... ۱۴

شکل ۱-۱۴: نمونه‌ای از آنتن‌های مونوپل دیسک شکل..... ۱۶

شکل ۱-۱۵: نمایی از آنتن‌های مخروطی و دو مخروطی..... ۱۷

شکل ۱-۱۶: سه نمونه آنتن مستقل از فرکانس..... ۱۸

شکل ۱-۱۷: ساختار آنتن سیمی دراز به‌عنوان یک نمونه از آنتن‌های موج رونده..... ۱۹

فصل دوم

شکل ۲-۱: الف) آنتن مایکرواستریپ، ب) نمای جانبی، ج) محور مختصات برای هر شیار تشعشع کننده..... ۲۲

شکل ۲-۲: آنتن مایکرواستریپ تغذیه شده با الف) خط مایکرواستریپ، ب) القای الکترومغناطیسی، ج) القای دریچه-ای، د) CPW ۲۴

شکل ۲-۳: آنتن میکرواستریپ با القای الکترومغناطیسی با الف) تغذیه پچ پایینی، ب) تغذیه پچ بالایی..... ۳۱

شکل ۲-۴: الف) آنتن مایکرواستریپ با شبکه تطبیق مایکرواستریپی، ب) تطبیق با یک شکاف الکترومغناطیسی..... ۳۲

فصل سوم

شکل ۳-۱: نمونه‌هایی از آنتن‌های مونوپل چاپی با ساختار تغذیه متفاوت..... ۳۴

شکل ۳-۲: ساختار آنتن تک قطبی بیضوی..... ۳۵

شکل ۳-۳: تغییرات طول p با تغییر فرکانس لبهٔ پایین باند در آنتن‌های تک قطبی گروه ۲..... ۳۶

شکل ۳-۴: نمودارتلفات بازگشتی برای چهار ساختارآنتن تک قطبی بیضوی با $2A=48mm$ و $2B$ متغیر..... ۳۷

شکل ۳-۵: توزیع جریان سطحی روی المان تشعشعی و زمین آنتن برای ساختار آنتن تک قطبی بیضوی با $2A=48mm$ و $2B=40mm$ در فرکانس‌های: (الف) ۱، (ب) ۳، (پ) ۵، (ت) ۷ گیگاهرتز..... ۳۸

شکل ۳-۶: نمودار پترن تشعشعی صفحهٔ H برای ساختارآنتن تک قطبی بیضوی با $2A=48mm$ و $2B=40mm$ در فرکانس‌های : (الف) ۱، (ب) ۶، (پ) ۱۰..... ۳۹

شکل ۳-۷: نمودار پترن تشعشعی صفحهٔ E برای ساختارآنتن تک قطبی بیضوی با $2A=48mm$ و $2B=52mm$ در فرکانس‌های : (الف) ۱، (ب) ۶، (پ) ۱۰..... ۳۹

شکل ۳-۸: نمودار بهره و راندمان تشعشعی آنتن تک قطبی بیضوی با $2A=48mm$ و $2B=40mm$..... ۴۰

شکل ۳-۹: آنتن تک قطبی بیضوی با شکاف داخلی بیضوی..... ۴۱

شکل ۳-۱۰: نمودار بررسی تغییرات تلفات بازگشتی در اثر تغییرات دو پارامتر اساسی شکاف بیضوی (r_1 و r_2) در داخل المان تشعشع کننده مربوط به ساختار شکل ۳-۹: (الف) $r_1 \neq r_2$ ، (ب) $r_2 = r_1$ ۴۱

شکل ۳-۱۱: توزیع جریان سطحی روی المان تشعشعی بترتیب در سه فرکانس ۳/۷، ۶/۸ و ۹/۶ گیگاهرتز مربوط به ساختار شکل ۳-۹..... ۴۲

شکل ۳-۱۲: پترن تشعشعی آنتن شکاف دار در صفحات E و H در فرکانس ۶ گیگاهرتز..... ۴۳

شکل ۳-۱۳: مقایسهٔ راندمان تشعشعی آنتن تک قطبی بیضوی کامل و شکاف‌دار..... ۴۳

شکل ۳-۱۴: مقایسهٔ بیشترین بهرهٔ آنتن تک قطبی بیضوی کامل و شکاف دار..... ۴۴

شکل ۳-۱۵: آنتن تک قطبی نیم بیضوی با لبه‌های پلکانی و زمین تصحیح شده..... ۴۵

شکل ۳-۱۶: مقایسهٔ نمودار VSWR برای آنتن شکل ۳-۱۵ با و بدون شکاف‌های پلکانی شکل در لبهٔ المان تشعشعی آنتن..... ۴۵

شکل ۳-۱۷: مقایسهٔ نمودار VSWR برای آنتن شکل ۳-۱۵ با ساختار آنتن با زمین معمولی و تصحیح شده..... ۴۶

شکل ۳-۱۸: پترن تشعشعی صفحهٔ H آنتن شکل ۳-۱۵ در فرکانس‌های : (الف) ۳، (ب) ۷، (پ) ۱۰..... ۴۶

شکل ۳-۱۹: پترن تشعشعی صفحهٔ E آنتن شکل ۳-۱۵ در فرکانس‌های: (الف) ۳، (ب) ۷، (پ) ۱۰..... ۴۷

شکل ۳-۲۰: نمودار حاصل از نتایج اندازه‌گیری برای بهرهٔ آنتن شکل ۳-۱۵..... ۴۷

شکل ۳-۲۱: آنتن‌های تک قطبی چاپی با تغذیه (الف) دو شاخه‌ای، (ب) سه شاخه‌ای..... ۴۹

شکل ۳-۲۲: نتایج اندازه‌گیری و آنالیز نرم‌افزاری پارامتر VSWR برای آنتن تک قطبی ارائه شده در [۶۲]..... ۴۹

شکل ۳-۲۳: پترن‌های تشعشعی اندازه‌گیری شده در H-plane برای آنتن تک قطبی ارائه شده در [۶۲]، برای فرکانس‌های الف) ۳، ب) ۷، ج) ۱۱، د) ۱۵ گیگاهرتز..... ۵۰

شکل ۳-۲۴: ساختار کلی آنتن پهن باند فیلترینگی دو بانده ارائه شده در برای حالات الف) آنتن پهن باند متصل به مدول‌های فیلترینگی، ب) آنتن پهن باندی که بخش‌های فیلترینگی را در داخل ساختار خود دارد..... ۵۲

شکل ۳-۲۵: آنتن‌های تک قطبی با قابلیت فیلترینگی تک بانده ارائه شده در الف) مرجع [۶۳] و ب) مرجع [۶۴]..... ۵۳
شکل ۳-۲۶: نمودار VSWR آنتن تک قطبی با فیلتر تک باندی [۶۳] برای مقادیر مختلف محیط داخلی شکاف U شکل، L..... ۵۳
شکل ۳-۲۷: نمودار VSWR برای طول‌های مختلف از بازوهای شکاف U شکل در آنتن تک قطبی فیلتر شده در مرجع [۶۴]..... ۵۴
شکل ۳-۲۸: جریان سطحی آنتن تک قطبی فیلتر شده در فرکانس ۵/۵ گیگاهرتز مربوط به مرجع [۶۴]، شکل ۳-۲۵ قسمت (ب)..... ۵۵
شکل ۳-۲۹: آنتن‌های تک قطبی چاپی با عملکرد فیلترینگی تک بانده در الف) مرجع [۱] و ب) مرجع [۶۵]..... ۵۵
شکل ۳-۳۰: الف) نمودار VSWR برای طول‌های مختلفی از بازوی متصل به پچ تشعشعی در آنتن مرجع [۱]، ب) نمودار توزیع جریان سطحی روی بدنه همان آنتن در فرکانس فیلتر (۵/۵ گیگاهرتز)..... ۵۶
شکل ۳-۳۱: آنتن تک قطبی پهن باند جدید با دو باند فرکانسی فیلتر شده [۶۶]..... ۵۷
شکل ۳-۳۲: نمودار VSWR برای مقادیر مختلف پارامتر L_{s2} [۶۶]..... ۵۸
شکل ۳-۳۳: نمودار VSWR برای مقادیر مختلف پارامتر D [۶۶]..... ۵۸
شکل ۳-۳۴: آنتن تک قطبی دایروی با دو باند فیلتر شده [۶۷] الف) ساختار آنتن، ب) ساختار شکاف‌های C شکل تو در تو قرار گرفته در داخل پچ دایروی..... ۵۹
شکل ۳-۳۵: نمودار VSWR برای آنتن تک قطبی دایروی با دو باند فیلتر شده [۶۷]..... ۵۹

فصل چهارم

شکل ۴-۱: ساختار آنتن پیشنهادی در مرحله اول. ۶۱
شکل ۴-۲: تلفات برگشتی برحسب فرکانس برای مقادیر متفاوت d_1..... ۶۱
شکل ۴-۳: ساختار آنتن پیشنهادی در مرحله دوم. ۶۲
شکل ۴-۴: تلفات برگشتی بر حسب فرکانس برای مقادیر متقاوت r و t_1 و t_3 ..... ۶۲
شکل ۴-۵: ساختار آنتن پیشنهادی در مرحله سوم. ۶۳
شکل ۴-۶: تلفات برگشتی بر حسب فرکانس برای مقادیر متقاوت t_2 و t_4..... ۶۳
شکل ۴-۷: ساختار آنتن با پارامترهای بهینه شده..... ۶۴
شکل ۴-۸: تلفات برگشتی برحسب فرکانس با مشخصات برای آنتن با پارامترهای بهینه شده..... ۶۴
شکل ۴-۹: هندسه آنتن مونوپل ارائه شده (کلیه ابعاد بر حسب میلیمتر)..... ۶۵
شکل ۴-۱۰: توزیع جریان شبیه‌سازی شده (الف) در فرکانس فیلتر شده ۵/۵۶GHz (ب) فرکانس فیلتر شده ۳/۶GHz به ازای d_1=۱۰mm، d_2=۶/۸mm، t_1=۱/۵ mm، t_2=۱mm، t_3=۵/۵mm، t_4=۵mm، L_2=۸/۵mm و r=۰/۸..... ۶۶
شکل ۴-۱۱: تلفات برگشتی برحسب فرکانس برای مقادیر متفاوت L_1 با t_1=۱/۵mm، t_2=۱mm، t_3=۵/۵mm، t_4=۵mm، d_1=۱۰mm، L_2=۸/۵mm، r=۰/۸ و d_2=۶/۸mm..... ۶۷

شکل ۴-۱۲: تلفات برگشتی برحسب فرکانس برای مقادیر متفاوت L_2 با t_1=۱/۵mm، t_2=۱mm، t_3=۵/۵mm، t_4=۵mm، d_1=۱۰mm، L_1=۱۳mm، r=۰/۸ و d_2=۶/۸mm ۶۷
شکل ۴-۱۳: تلفات برگشتی برحسب فرکانس برای مقادیر متفاوت d_2 با t_1=۱/۵mm، t_2=۱mm، t_3=۵/۵ mm، t_4=۵mm، d_1=۱۰mm، L_1=۱۳mm، r=۰/۸ و L_2=۸/۵mm ۶۷
جدول ۴-۱: تغییرات پهنای باند فیلتر اول به ازای تغییرات d_2 ..... ۶۸
جدول ۴-۲: تغییرات پهنای باند فیلتر دوم به ازای تغییرات d_2 ..... ۶۸
جدول ۴-۳: مقادیر بهینه آنتن پیشنهادی ۶۹
شکل ۴-۱۴: نمای جلو از آنتن ساخته شده بر روی زیرلایه FR۴ ..... ۶۹
شکل ۴-۱۵: نمای پشت از آنتن ساخته شده بر روی زیرلایه FR۴ ..... ۷۰
شکل ۴-۱۶: مقایسه میان نتایج اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی برای آنتن بهینه شده ۷۰
شکل ۴-۱۷: پترن‌های تشعشعی شبیه‌سازی شده صفحه H در فرکانس‌های (الف) ۳/۵GHz، (ب) ۶/۵GHz و (ج) ۱۰GHz ۷۱
شکل ۴-۱۸: پترن‌های تشعشعی شبیه‌سازی شده صفحه E در فرکانس‌های (الف) ۳/۵GHz، (ب) ۶/۵GHz و (ج) ۱۰GHz ۷۱
شکل ۴-۱۹: پترن‌های اندازه‌گیری شده صفحه H در فرکانس ۳/۵GHz الف: co-polarization، ب: cross-polarization ۷۲
شکل ۴-۲۰: پترن‌های اندازه‌گیری شده صفحه H در فرکانس ۶/۵GHz الف: co-polarization، ب: cross-polarization ۷۳
شکل ۴-۲۱: پترن‌های اندازه‌گیری شده صفحه H در فرکانس ۱۰GHz الف: co-polarization، ب: cross-polarization ۷۴
شکل ۴-۲۲: پترن‌های اندازه‌گیری شده صفحه E در فرکانس ۳/۵GHz الف: co-polarization، ب: cross-polarization ۷۵
شکل ۴-۲۳: پترن‌های اندازه‌گیری شده صفحه E در فرکانس ۶/۵GHz الف: co-polarization، ب: cross-polarization ۷۶
شکل ۴-۲۴: پترن‌های اندازه‌گیری شده صفحه E در فرکانس ۱۰GHz الف: co-polarization، ب: cross-polarization ۷۷
شکل ۴-۲۵: بهره ماکزیمم آنتن UWB بهینه شده در دو حالت با فیلتر و بدون فیلتر ۷۸

مقدمه

ارتباطات UWB[1] توجه زیادی را از سال ۲۰۰۰ به خود کسب نموده است و در مجلات به عنوان "یکی از ده تکنولوژی که جهان شما را تغییر خواهد داد" توصیف شده است. در هر صورت، سرآغاز این تکنولوژی به یک قرن پیش برمی‌گردد. در حقیقت ارتباطات الکترومغناطیسی با UWB شروع شد. در اواخر سال ۱۸۰۰، ساده‌ترین روش برای تولید یک سیگنال الکترومغناطیسی ایجاد یک پالس کوتاه بود، در آزمایش‌های معروف هرتز و مارکونی برای اولین مخابره اطلاعات الکترومغناطیسی از ژنراتور فاصله–جرقه استفاده شده بود. بنابراین، اولین سیستم عملی UWB بیش از ۱۰۰ سال قدمت دارد. بعد از سال ۱۹۱۰، علاقه عمومی به ارتباطات با پهنای باریک بود. دلیل اصلی این امر این حقیقت بود که بازده طیفی سیگنال‌های تولید شده بسیار پایین بود.

با تعریف UWB توسط FCC[2] و پذیرش تکنولوژی رادیویی پهن باند تلاش‌های تحقیقاتی بسیاری بر روی این تکنولوژی صورت گرفته است. آنتن‌های UWB بیش از صد سال عمر دارند. از اولین آنتن‌های UWB می‌توان آنتن‌های biconical و دیپل‌های کروی را نام برد که خصوصیات پهن باند بسیار خوبی داشتند. UWB یکی از تکنولوژی‌های امید بخش آینده در مخابرات بی‌سیم، رادارهای با دقت بالا و سیستم‌های تصویر برداری است. در مقایسه با سیستم‌های مخابرات بی‌سیم معمول، سیستم UWB در پهنای باند بسیار بالایی عمل می‌کند و سطح انتشار پایینی دارد. به علت خصوصیات این سیستم‌ها و کاربردهای یکتای آن، طراحی آنتن با پارامترهای مختلفی مانند پاسخ پهن باند امپدانسی، الگوهای تشعشعی و علاوه بر آن اندازه کوچک آنتن روبرو است. مطابق با تئوری Shanon-Hartey، ظرفیت کانال متناسب با پهنای باند است. از آنجایی که UWB پهنای باند فرکانسی بالایی دارد، می‌تواند به ظرفیت بالایی در حد صدها Mbps یا حتی چندین Gbps دست یابد. بنابراین، یکی از کاربردهای عمومی UWB، انتقال اطلاعات با نرخ بسیار بالا می‌باشد. همچنین، طراحی و ساخت چنین آنتنی در مقایسه با آنتن‌های با پهنای کم مشکل می‌باشد. مطابق با استاندارد موجود برای سیستم‌های UWB که توسط FCC تعیین گردیده است، پهنای باند ۷/۵GHz یا به عبارت دیگر باند فرکانسی ۳/۱GHz تا ۱۰/۶GHz را به کاربردهای UWB اختصاص داده شد.

انواع مختلفی از ساختارها برای بدست آوردن پهنای باند امپدانسی بالا ارائه شده و تحقیقات گسترده‌ای برای پیشرفت عملکرد هر کدام انجام گرفته است. آنتن‌های پچ مایکرواستریپی با تغذیه کابل کواکسیال و انواع آنتن‌های چاپی با تغذیه خط مایکرواستریپی از نمونه‌های مهم آن محسوب می‌شوند که بالطبع هر کدام برای داشتن کارایی در سیستم UWB دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند. آنتن‌های پچ با تغذیه کواکسیال به علت طبیعت و ساختار ذاتی خود و در واقع داشتن ضریب کیفیت بالا دارای پهنای باند خیلی کمی می‌باشند. تکنیک‌های بسیاری مانند استفاده از اشکال مختلف برای پچ تشعشع کننده، استفاده از المان‌های پاراسیتیکی در کنار پچ و یا حتی ساختارهای چند لایه معرفی شده و بررسی شدند. این ساختارهای جدید یا بهینه شده با داشتن مزایایی از قبیل وزن کم و ساخت راحت و ارزان، به علت اضافه کردن فضای مورد نیاز و از همه مهم‌تر کافی نبودن پهنای باند تولیدی آنها، مقبولیت خود برای سیستم UWB و نیازهای آن برای نسل جدید ارتباطات را از دست دادند.

---

۱. Ultra Wide Band
۲. Federal Communication Commission

علاوه بر این، این نوع آنتن‌ها به علت شکل ظاهری خود و نوع تغذیه، دارای مشکلاتی برای هماهنگی و قرار گرفتن در کنار دیگر مدول‌های RF[1] بر روی بردهای مداری بودند. یا به عبارتی قابلیت چاپ شدن روی بردهای مایکروویوی را نداشتند. بعد از این مشاهدات و نتایج، با شناسایی و پیشرفت هر چه بیشتر آنتن‌های چاپ شده بر روی زیرلایه با تغذیه خط مایکرواستریپی، این نوع آنتن‌ها برای استفاده در سیستم UWB بهترین گزینه معرفی شدند. دو نوع اساسی از خانواده این آنتن‌ها، آنتن‌های چاپی شکاف‌دار و آنتن‌های مسطح تک قطبی یا دو قطبی می‌باشند. دلیل اصلی انتخاب این نوع از آنتن‌ها وجود ویژگی‌هایی همچون امکان تولید پهنای باند خیلی بالا، پترن تشعشعی همه جهته در کل باند، امکان تطبیق امپدانسی آسان و بهره مناسب، در عملکرد فرکانسی آنها می‌باشد.

از دیگر مباحث مهم در سیستم UWB، عملکرد حوزه زمانی آنتن‌های مسطح تک قطبی بکار گرفته شده در این سیستم می‌باشد. با توجه به اینکه در این سیستم، از این آنتن‌ها بیشتر به عنوان فرستنده و گیرنده سیگنال‌های اطلاعاتی به شکل‌های پالسی و غیر سینوسی (که خاصیت تغییرات ناگهانی دامنه نسبت به زمان را دارا هستند) استفاده می‌شود. بنابراین، بررسی پارامترهای زمانی از جمله تغییرات فاز سیگنال نسبت به فرکانس و اعوجاج پالسی بسیار حیاتی است [۱]، [۲]، [۳] و [۴]. البته در این پایان‌نامه به این مباحث پرداخته نشده است. زیرا که هدف اصلی در این پایان‌نامه صرفا عملکرد فرکانسی این نوع آنتن‌ها می‌باشد.

در این پایان‌نامه، برای پوشش کامل کلیه تحقیقات انجام گرفته شده یک نمونه آنتن با مشخصات بهتر، ساخته و تست شد که نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی مشابهت‌های بسیاری داشتند. اندازه زیرلایه این آنتن برابر ۲۰×۲۰ میلیمتر مربع و نوع زیرلایه نیز FR۴ با ضخامت ۱ میلی‌متر بوده که از بابت هزینه بسیار پایین می‌باشد. این نوع زیرلایه دارای ضریب دی‌الکتریک در حدود ۴/۴ و تانژانت تلفاتی ۰/۰۲ می‌باشد. در شبیه‌سازی‌های انجام شده در این پایان‌نامه از نرم‌افزار HFSS[2] [۵] استفاده شده است.

متن این پایان‌نامه از ۴ بخش اصلی تشکیل شده است. بخش اول شامل تاریخچه، مزایا و معایب سیستم‌های UWB و همچنین روند پیشرفت آنها می‌باشد. در بخش دوم آنتن‌های مایکرواستریپی، کاربردها و روش‌های تغذیه و تحلیل این آنتن‌ها مورد بحث قرار می‌گیرند. در بخش سوم روش‌های طراحی آنتن‌های تک قطبی UWB بررسی می‌شود. همچنین، نحوه ایجاد عملکرد فیلتری متغیر در یک و دو باند فرکانسی نیز معرفی شده است. بخش آخر، شامل نتایج اندازه‌گیری‌ها به همراه مقایسه آنها با نتایج شبیه‌سازی، مربوط به نمونه آنتن ارائه شده در این پایان‌نامه می‌باشد.

فصل اول

شبکه‌های بی‌سیم، سیستم UWB، مزایا و معایب و انواع آنتن‌های UWB

۱-۱ مقدمه

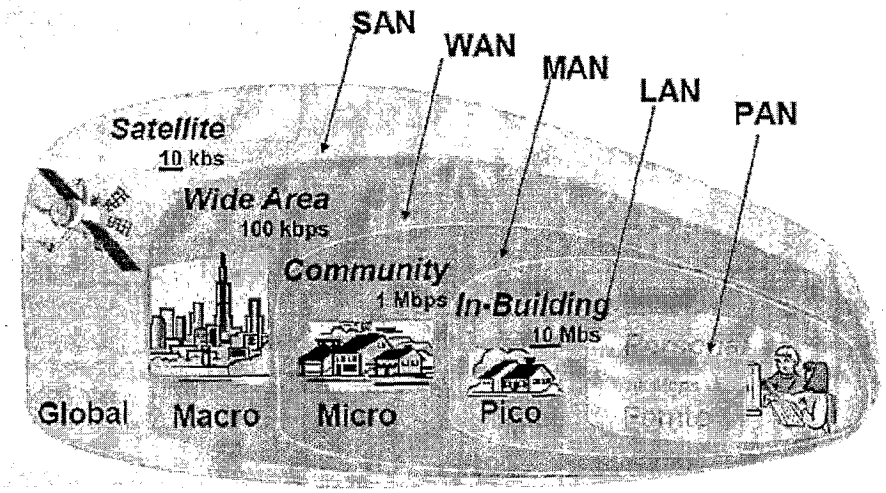
در این فصل ابتدا به معرفی انواع شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم پرداخته و تکنولوژی مورد استفاده در هر یک از این شبکه‌ها شرح داده می‌شود. سپس آنتن‌های UWB که تا به امروز در چندین نوع مختلف مطرح شده‌اند، معرفی خواهد شد. بسیاری از این ساختارها نتوانسته‌اند نیاز سیستم‌های UWB را به صورت کافی برآورده نمایند. لذا، تلاش فراوانی در زمینهٔ گسترش آنتن‌های چاپی جدید با قابلیت‌های لازم و اندازهٔ مناسب در حال انجام است. مطالعات انجام شده، در جهت رسیدن به دیدگاه کاملا روشن در مورد نحوهٔ کارکرد و کنترل خصوصیات انتشاری و ابعاد این آنتن‌ها و در نهایت طراحی بهینهٔ آنهاست.

۱-۲ شبکه‌های بی‌سیم WLAN[۱]، WWAN[۲]، WMAN[۳]، WPAN[۴]

امروزه، استانداردها و تکنولوژی‌های جدید برای جایگزین کردن فیبر نوری و خطوط مسی با شبکه‌های بی‌سیم در حال توسعه است. شبکه‌های WLAN امکان دستیابی کاربران ساکن در یک منطقه محدود نظیر محوطه یک دانشگاه یا کتابخانه را به یک شبکه و یا اینترنت فراهم می‌کند. همچنین، دو یا چند LAN شبکه منطقه‌ای پهن WAN را می‌سازند. یک WAN با اتصال رادیویی بی‌سیم، WAN بی‌سیم نامیده می‌شود که به صورت WWAN نوشته می‌شود. در شبکه‌های WWAN، امکان ارتباط بین شهرها و یا حتی کشورها و از طریق سیستم‌های ماهواره‌ای متفاوت، فراهم می‌گردد. شبکه‌های فوق به سیستم‌های نسل دوم معروف هستند. WPAN یعنی شبکه محلی بی‌سیم که یک تکنولوژی برای مخابرات نرخ داده بالا است. PAN یکی از موارد انتقال حجم بزرگی از داده‌ها می‌باشد. در این شبکه‌ها، امکان ارتباط بین دستگاه‌های شخصی مانند لپ‌تاپ در یک ناحیه محدود، حدود ۹۱۴ سانتیمتر مقدور می‌باشد. و چون در این شبکه‌ها نیز ارتباطات بین دستگاه‌های متحرک برقرار می‌شود لذا در گروه نسل دوم قرار می‌گیرند [۶]. بنابراین، شبکه‌بندی خانگی و تجهیزات خانگی یکی دیگر از این کاربردها است. در شبکه‌های MAN، امکان ارتباط بین چندین شبکه موجود در یک شهر بزرگ فراهم می‌گردد. از این شبکه‌ها، اغلب به عنوان شبکه‌های پشتیبان کابلی (فیبر نوری و مسی) استفاده می‌شود. شکل ۱-۱ تکنولوژی‌های مخابرات جهانی را نشان می‌دهد که از روی کاربردهای اساسی و نرخ داده‌ها تقسیم شده‌اند.

---

۱. Wireless Local Area Networks
۲. Wireless Wide Area Networks
۳. Wireless Metropolitan Area Networks
۴. Wireless Personal Area Networks



شکل ۱-۱: شماتیکی از شبکه‌های بی‌سیم.

۱-۳ تعریف سیستم UWB

سیستم UWB، یک سیستم مخابرات رادیویی است که در طی دو دهه اخیر، در زمینه‌های بسیاری از جمله رادار، سیستم‌های حس‌گر و همچنین مخابرات نظامی مورد استفاده قرار گرفته و مورد توجه دانشمندان و صاحبان صنایع قرار گرفته است. تحقیقات و بررسی‌ها در این زمینه زمانی به راه افتاده که مجمع ارتباطات فدرال وابسته به دولت آمریکا قوانینی را به تصویب رساند که در نتیجه آن، تکنولوژی UWB می‌توانست برای انتقال انواع داده‌های مخابراتی (در سیستم‌های راداری یا مخابرات امن) مورد استفاده قرار بگیرد. بعد از آن، تکنولوژی UWB به عنوان یک تکنولوژی نوید بخش برای انتقال پر سرعت انواع داده‌ها و برای بسیاری از کاربردهای مخابراتی، به سرعت در حال پیشرفت است [۷].

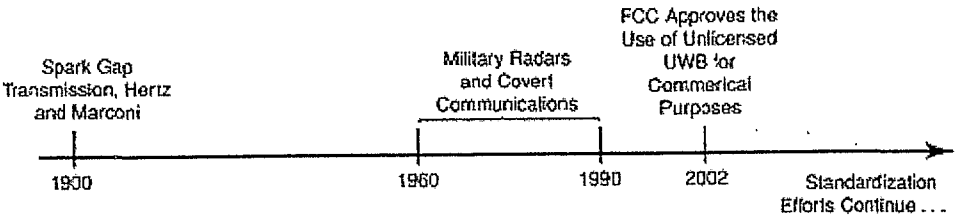
سیستم‌های UWB به طور کلی بر پایه اصول مربوط به سیگنال‌های پالسی بررسی می‌شوند، زیرا که بیشتر داده‌ها با سرعت بسیار بالا با استفاده از سیگنال‌های پالسی شکل با حامل فرکانسی باند باریک ارسال می‌شوند. همچنین، باند فرکانسی تعریف شده برای این سیستم در محدوده ۳/۱ تا ۱۰/۶ گیگاهرتز (برابر ۷/۵ گیگاهرتز) می‌باشد که این محدوده در موقع کاربرد به بازه‌هایی به اندازه ۵۰۰ مگاهرتز یا کمی کمتر از آن تقسیم می‌شود. بنابراین، هر سیگنالی که طیف آن حداقل ۵۰۰ مگاهرتز را اشغال کند، می‌تواند در سیستم‌های UWB بکار گرفته شود. یعنی سیستم UWB تنها به سیگنال‌های پالسی محدود نمی‌شود و با هر تکنولوژی که طیف فرکانسی کاری آن برابر ۵۰۰ مگاهرتز است، بکار گرفته می‌شود [۸]. سیستم UWB را در دو حوزه زمانی و فرکانسی می‌توان مورد بررسی قرار داد که این پایان‌نامه بیشتر عملکرد فرکانسی را تحت پوشش قرار می‌دهد.

۱-۳-۱ تاریخچه سیستم UWB

درحقیقت، ارتباطات الکترومغناطیسی با UWB شروع شد. در اواخر دهه ۱۸۰۰، ساده‌ترین راه برای ایجاد یک سیگنال الکترومغناطیسی، تولید یک پالس کوتاه بود. بعد از ۱۹۱۰، توجه عمومی به سمت ارتباطات باند باریک سوق پیدا کرد. ارتباطات UWB در دهه ۱۹۷۰ مجددا مورد توجه قرار گرفت. حدود سال ۱۹۷۳، تشخیص داده شد که

پالس‌های کوتاه که روی طیف بزرگی گسترده می‌شوند، توسط تداخل کننده‌های باند باریک موجود چندان تحت تاثیر قرار نمی‌گیرند و با آنها تداخلی ندارند.

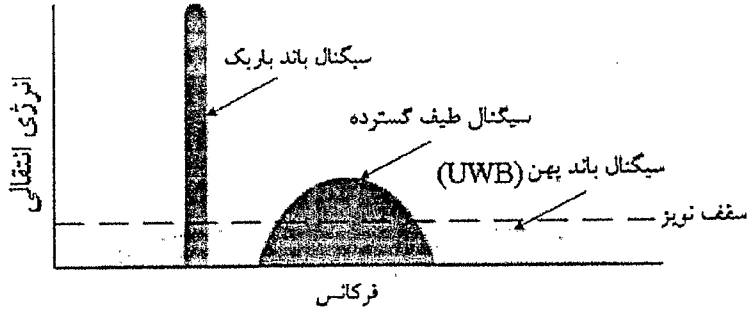
یکی دیگر از موانع استفاده تجاری UWB، سیاسی بود. قانون‌گذاران فرکانسی در سرتاسر دنیا، باندهای فرکانسی باریک را به سرویس‌ها یا اپراتورهای ویژه اختصاص داده‌اند. بعد از مجادله فراوان، FCC قوانینی را در ۲۰۰۲ صادر کرد که تشعشعات UWB در محدوده فرکانسی ۳/۱ GHz تا ۱۰/۶ GHz را عرضه می‌کرد که شامل محدودیت-هایی برای طیف توان انتشاری بود. در واقع اولین آزمایش‌ها و تحقیقات توسط مارکونی و هرتز انجام گرفت. شکل ۱-۲ تاریخچه توسعه سیستم‌های UWB را تشریح می‌کند.



شکل ۱-۲: تاریخچه توسعه UWB.

۱-۳-۲ مزایای سیستم UWB

از مزایای منحصر به فرد سیستم‌های UWB در حوزه زمانی می‌توان به پهنای باند بسیار وسیع و طول پالس‌های بسیار کوتاه آن اشاره نمود که دلیل استفاده اصلی آن در کاربردهای مخابرات پهن باند در مقایسه با تکنولوژی‌های دیگر به حساب می‌آید. به عنوان مثال، مخابرات UWB به دلیل داشتن پهنای باند وسیع در فرکانس‌های مرکزی نسبتا پایین، دسترسی به نرخ‌های ارسال بسیار بالایی را ممکن می‌سازد. سیستم‌های UWB در یک سطوح بسیار پایینی از توان در انتقال داده‌ها کار می‌کنند و با توجه به شکل ۱-۳، همین مقدار توان اندک وقتی در یک محدوده بسیار وسیعی مربوط به سیگنال باند پهن پخش می‌شود برای تک تک فرکانس‌های داخل این محدوده مقداری پایین‌تر از سقف نویز تعریف شده، بدست می‌آید. بنابراین، سیگنال‌های این سیستم در هر فرکانسی هیچ تداخلی با دیگر سیستم‌های بی‌سیم نخواهد داشت [۹].



شکل ۱-۳: نمودار انرژی انتقالی برحسب فرکانس.

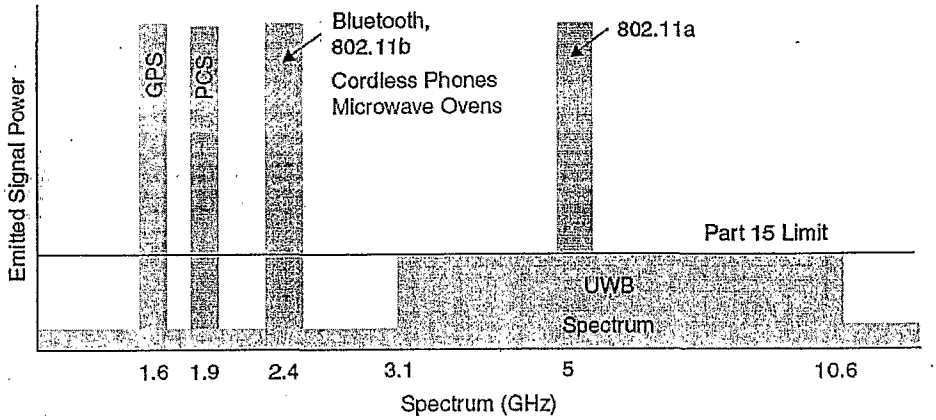
از دیگر مزایا اینکه سیستم UWB فراهم کننده یک سیستم مخابراتی قابل اطمینان و با امنیت بالا می‌باشد. به علت پایین بودن سطح انرژی در این سیستم، سیگنال UWB ساختاری شبه نویز دارد و به سختی قابل شناسایی است. علاوه بر این، سیگنال‌های شبه نویزی شکل خاصی دارند در حالیکه نویز واقعی فاقد شکل معینی می‌باشد. به همین دلیل برای نویز واقعی تقریبا ناممکن است که بتواند سیگنال پالسی را از بین ببرد زیرا تداخلی که در پهنای طیف پخش می‌شود تا بتواند سیگنال پالسی را نامفهوم سازد تنها در یک بخش طیف قادر است که سطح سیگنال را پایین بکشد. بنابراین، سیگنال پالسی دوباره قابل بازگشت می‌باشد. این ویژگی سیستم UWB را بسیار امن می‌کند [۱۰].
همچنین، با توجه به قانون FCC، ظرفیت کانال مخابراتی با پهنای باند بکار گرفته شده در سیستم متناسب است و چون سیستم UWB دارای یک پهنای باند فرکانسی بسیار وسیع می‌باشد، می‌تواند ظرفیت بالایی در حد چندین Mbps یا چندین Gbps در فواصل ۱ تا ۱۰ متر داشته باشد [۱۱].

$$C = BW \log(1 + SNR) \qquad (1-1)$$

که C ماکزیمم ظرفیت کانال مخابراتی (bits/sec)، BW پهنای باند مخابراتی و SNR نسبت سیگنال به نویز است. برای افزایش ظرفیت کانال، دو راه وجود دارد: یکی اینکه می‌توان پهنای باند سیگنال ورودی را افزایش داد یا اینکه نسبت سیگنال به نویز را افزایش داد. ظرفیت کانال با افزایش پهنای باند بصورت خطی و با افزایش سیگنال به نویز بصورت لگاریتمی افزایش می‌یابد.

۱-۳-۳ معایب سیستم‌های UWB

در کنار مزایای قابل توجه سیستم‌های UWB، معایب و مشکلاتی هم در راه استفاده عملی از این سیستم‌ها وجود دارد که تا کنون تلاش‌های زیادی برای رفع آنها انجام شده است و تحقیق در این زمینه همچنان ادامه دارد. با توجه به پهنای باند فوق‌العاده سیستم‌های UWB، این سیستم‌ها می‌توانند بر سیستم‌های دیگری که در باندهای اختصاص یافته خود کار می‌کنند، اثر تداخلی بگذارند و از سوی دیگر می‌توانند تحت تاثیر اثر تداخلی آنها قرار بگیرند و این مساله باید از هر دو جنبه مورد بررسی قرار گیرد. زیرا تا زمانی این اطمینان حاصل نشود که سیستم‌های UWB می‌توانند همزمان با سیستم‌های دیگر از یک باند فرکانسی مشترک استفاده کنند بدون آنکه تاثیر مخربی بر روی هم داشته باشند، استفاده عملی از UWB امکان پذیر نخواهد بود [۱۲] و [۱۳]. مساله دیگر تداخل سیستم‌های دیگر بر روی سیستم UWB است. باند UWB به عنوان یکی از باندهای جالب برای طراحی سیستم‌های مخابراتی بخصوص کاربردهای رنج متوسط و کوتاه بسیار مناسب است. سیستم‌های UWB در سراسر باندهای فرکانسی وسیع‌تر از ۵۰۰ مگاهرتز کار می‌کنند که در این محدوده سایر باندهای باریک دیگری با قدرت و توان بالا کار می‌کنند که در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. قدرت فرستاده شده در وسایل UWB بسیار پایین است (۴۳dBm-) و بنابراین، سیستم‌های باند باریک با توان قوی حتی با پهنای باند بسیار کم روی آن تاثیر می‌گذارند. البته امکان دارد در طرف فرستنده تداخل کم دیده شود ولی در طرف گیرنده تداخل بسیار زیاد دیده شده و حتی امکان دارد سیگنال ارسالی کاملا محو شود. یکی از راه‌های حل این مشکل افزایش توان ارسالی آنتن‌هایی با فرستنده‌های UWB است که به گونه‌ای میزان این تداخل را کم می‌کند. راه دیگر استفاده از یک فیلترینگ در باند تداخل UWB با سایر باندهای باریک می‌باشد.

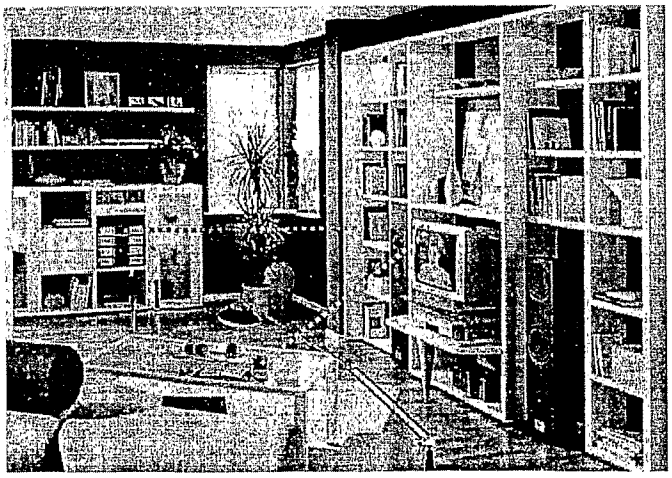


شکل ۱-۴: تداخل UWB با سایر سیستم‌های باند باریک.

۱-۳-۴ کاربردهای سیستم UWB

امروزه، اغلب کامپیوتر و وسایل الکترونیکی مصرفی و هر چیزی از یک دوربین فیلمبرداری دیجیتال و دستگاه DVD گرفته تا یک لپ‌تاپ و یک تلویزیون مدل بالا، برای کار کردن به سیم نیاز دارند. UWB این سیم‌ها را حذف خواهد کرد و این امکان را داده است که مردم بتوانند در جاهای مختلف و غیر منتظره از این وسایل استفاده کنند. به عنوان مثال، UWB با نسبت داده بالا می‌تواند انتقال اطلاعات از دوربین فیلمبرداری دیجیتالی، پرینت کردن تصاویر دیجیتالی از یک دوربین بدون نیاز به مداخله کامپیوتر و انتقال فایل‌ها بوسیله هندست تلفن همراه و دیگر وسایل را ممکن می‌سازد. چند کاربرد اصلی این سیستم به قرار زیر است:

۱- ارتباطات با نرخ داده بالا (HDR) اولین گروه کاربردی است. نرخ داده‌ها برای طرح‌های HDR بین ۱۱۰Mbps (در اقدامات IEEE ۸۰۲.۱۵.۳a) تا سطوح بالاتر از ۱ Gbps در حال توسعه می‌باشد. کاربردهای با نرخ داده بالا در محدوده فرکانسی ۳/۱GHz الی ۱۰/۶ GHz گرد آمده است. همان‌طور که از شکل ۱-۵ پیداست، DVD، نمایشگر و PDA با استفاده از ماجول‌های UWB با نرخ داده بالا به یکدیگر متصل شده‌اند.



شکل ۱-۵: نمایی از یک WPAN آینده در یک نمونه از اتاق نشیمن.