بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر**

**گروه مخابرات**

پایان نامه کارشناسی ارشد

# مکان‌یابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از سیگنال‌های با پهنای باند بسیار زیاد

**استاد راهنما :**

**دکتر سید محمد تقی المدرسی**

**استاد مشاور :**

**دکتر زلفا زینل پور یزدی**

**پژوهش و نگارش :**

**محمد مهرداد طلاکش**

**پاییز ۱۳۹۱**

**تقدیم به پدر عزیزم:**

پدرم که وجودش تکیه‌گاه مطمئن و پشتوانه فرا راه تحصیل و زندگیم می‌باشد.

**تقدیم با بوسه بر دستان مادر عزیزتر از جانم:**

مادرم که مظهر مهر و محبت و چشمه ایمان و اخلاق است

## تشکر و قدردانی:

پس از شکر و سپاس خدای متعال و سلام و درود بر حضرت محمّد و خاندان پاک او، بر خود لازم می‌دانم که از استاد ارجمند جناب آقای دکتر سید محمد تقی المدرسی، که صبورانه و با راهنمایی‌ها و حمایت‌های بی‌دریغ و ارزنده خود، من را در پیشبرد این پژوهش یاری نمودند، تشکر نمایم و برایشان آرزوی توفیق روزافزون دارم. از استاد صبور و متواضع، سرکار خانم دکتر زلفا زینل پور یزدی، مشاور این پژوهش که بدون مساعدت و راهنمایی‌های بی‌دریغ ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی‌رسید، بسیار متشکرم و برایشان آرزوی توفیق روز افزون دارم.

همچنین از استادان فرزانه و دلسوز جناب آقای دکتر جمشید ابویی و جناب آقای دکتر محمد حسین قانعی که زحمت داوری این پایان‌نامه را تقبل نمودند و در جلسه دفاع از پایان‌نامه، نکات مفیدی را یادآور شدند، صمیمانه سپاسگذارم. بر خود لازم می‌دانم از آقایان دکتر پویا حاجبی و مهندس محمد روان که در طول مدت انجام این پایان‌نامه اینجانب را از راهنمایی های دلسوزانشان بهره‌مند فرمودند، قدردانی کنم.

سرانجام، نهایت قدردانی و تشکر و همچنین عذر تقصیر و شرمندگی را نثار می‌کنم به پدر و مادر گرانقدرم که صبورانه و فداکارانه سالیان متمادی زحمات بسیاری کشیدند و مشوق و راهنمایم در عرصه‌های مختلف زندگی بودند.

چکیده

مسأله مکان‌یابی گره موضوعی مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. از این رو در این پایان‌نامه به بررسی راهکارهایی برای بهبود دقت مکان‌یابی پرداخته شده است. نشان داده شده است که مکان‌یابی با استفاده از سیگنال‌های UWB در عین حالی که برای مسافت‌یابی TOA دقت خوبی را به همراه دارد ولی برای دقت تکنیک RSS مؤثر نمی‌باشد. با توجه به این مورد، برای بهبود دقت مسافت‌یابی RSS و موقعیت‌یابی WLS بر مبنای RSS، روش خوشه‌بندی توان سیگنال دریافتی مبتنی بر مدل کانال S-V، پیشنهاد شده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی ها دیده شد که این ایده کارآمدی مورد نظر را به دنبال نخواهد داشت. در بخش دیگر اثبات شده که بر خلاف اینکه استفاده از روش هایبرید برای مکان‌یابی نقاط نزدیک به گره‌های مرجع در الگوریتم ML کارایی قابل ملاحظه‌ای دارد، برای الگوریتم خطی LS اینگونه نخواهد بود. در آخر نیز الگوریتمی برای مقابله با کاهش دقت مکان‌یابی به دلیل موقعیت بد هندسی گره‌ها، ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد برای توپولوژی‌هایی که در آنها گره‌های مرجع کاملاً در یک طرف گره هدف قرار دارند، در ۹۰ درصد مشاهدات، الگوریتم پیشنهادی VA-S نسبت به الگوریتم‌های موجود CG و MG، دقت مکان‌یابی را حدود ۳۰ درصد افزایش می‌دهد.

**فهرست مطالب**


فصل ۱- پیشگفتار ..... ۱

فصل ۲ - معرفی مخابرات باند بسیار وسیع

۲-۱- تعریف سیستم های باند بسیار وسیع ..... ۵

۲-۲- مقررات FCC برای سیگنال های UWB ..... ۶

۲-۳- ارسال در سیستم های UWB ..... ۸

۲-۳-۱- سیگنال ارسالی ..... ۹

۲-۴- مزایای استفاده از UWB ..... ۹

۲-۵- مدل های کانال باند بسیار وسیع ..... ۱۱

۲-۵-۱- مدل S-V ..... ۱۲

۲-۵-۲- توان متوسط مسیر های مختلف (PDP) ..... ۱۴

۲-۵-۳- محو شدگی مقیاس کوچک ..... ۱۵

فصل ۳- مکان‌یابی گره در شبکه های حسگر بی سیم با استفاده از سیگنال های UWB

۳-۱- مقدمه ..... ۱۷

۳-۲- تکنیک های رایج مسافت یابی ..... ۱۹

۳-۲-۱- مسافت یابی بر اساس TOA ..... ۱۹

۳-۲-۱-۱- روش ناهمگن (آشکار ساز انرژی) ..... ۲۰

۳-۲-۱-۲- ارزیابی تکنیک TOA و رابطه آن با افزایش پهنای باند ..... ۲۲

۳-۲-۲- مسافت یابی بر اساس RSS ..... ۲۳

۳-۲-۲-۱- مدل آماری افت مسیر در کانال UWB ..... ۲۴

۳-۲-۲-۲- ارزیابی تکنیک RSS و رابطه آن با افزایش پهنای باند ..... ۲۶

۳-۲-۲-۳- معایب استفاده از تکنیک RSS ..... ۲۷

۳-۳- الگوریتم های موقعیت یاب ..... ۲۸

۳-۳-۱- مقدمه ..... ۲۸

۳-۳-۲- روش های غیر تکراری ..... ۲۸

۳-۳-۳- الگوریتم least squares (LS) ..... ۲۹

۳-۳-۴- الگوریتم weighted least squares (WLS) ..... ۳۰

۳-۳-۴-۱- محاسبه ماتریس وزن دهی تکنیک WLS مبتنی بر اندازه‌گیری RSS ..... ۳۰

۳-۴- معیارهای ارزیابی الگوریتم های مکان یابی ..... ۳۲

فصل ۴- مسافت‌یابی بر اساس RSS باند بسیار وسیع


۴-۱- مقدمه ..... ۳۳
۴-۲- مسافت یابی RSS مبتنی بر خوشه بندی توان ..... ۳۴
۴-۲-۱- نگاشت توان خوشه به توان کل ..... ۳۵
۴-۲-۲- نتایج شبیه سازی ..... ۳۵
۴-۲-۲-۱- نسبت ارسال سه به یک ..... ۳۶
۴-۲-۲-۲- نسبت ارسال یک به یک ..... ۳۸
۴-۳- موقعیت یابی WLS بر اساس مسافت یابی RSS مبتنی بر خوشه بندی و ایجاد گره‌های مجازی ..... ۳۹
۴-۳-۱- محاسبه ماتریس کوواریانس تکنیک WLS مبتنی بر خوشه بندی ..... ۴۰
۴-۳-۲- تعریف گره های مجازی ..... ۴۰
۴-۳-۳- شبیه سازی ..... ۴۱
۴-۳-۳-۱- سناریوی شبیه سازی ..... ۴۱
۴-۳-۳-۲- نسبت ارسال یک به یک ..... ۴۱
۴-۳-۳-۳- نسبت ارسال سه به یک ..... ۴۳


فصل ۵- مکان‌یابی هایبرید


۵-۱- مقدمه ..... ۴۵
۵-۲- مکان یابی TOA، RSS با تخمین ML ..... ۴۷
۵-۲-۱- تخمین ML مبتنی بر RSS ..... ۴۸
۵-۲-۱-۱- تابع توزیع احتمال توان سیگنال دریافتی $P_{1,j}$ ..... ۴۸
۵-۲-۱-۲- ماتریس فیشر و حدکرامر رائو ..... ۴۹
۵-۲-۲- تخمین ML مبتنی بر TOA ..... ۵۰
۵-۲-۲-۱- ماتریس فیشر و حدکرامر رائو ..... ۵۰
۵-۲-۳- نتایج عددی ..... ۵۱
۵-۳- تکنیک هایبرید (شبکه های همگن و ناهمگن) ..... ۵۳
۵-۳-۱- تخمین ML مبتنی بر هایبرید RSS/TOA ..... ۵۴
۵-۳-۱-۱- نتایج عددی ..... ۵۴
۵-۳-۲- هایبرید RSS/TOA با تخمین LS ..... ۵۵
۵-۳-۲-۱- اندازه گیری دقت ..... ۵۷
۵-۳-۲-۲- نتایج عددی ..... ۵۹


فصل ۶- عوامل کاهش دقت مکان‌یابی


۶-۱- مقدمه ..... ۶۲
۶-۲- هندسه های مناسب و نامناسب ..... ۶۳
۶-۳- محاسبه GDOP ..... ۶۶

۶-۴- بررسی های انجام شده در زمینه GDOP ..... ۶۷
۶-۵- بهبود مقدار GDOP ..... ۶۹
۶-۵-۱- الگوریتم CG ..... ۷۰
۶-۵-۲- الگوریتم MG ..... ۷۱
۶-۵-۳- الگوریتم های پیشنهادی ..... ۷۳
۶-۵-۳-۱- الگوریتم بر مبنای تقارن (VA-S) ..... ۷۴
۶-۵-۳-۲- الگوریتم بر مبنای نگاشت چرخشی (VA-RM) ..... ۷۴
۶-۵-۴- نتایج عددی ..... ۷۵

فصل ۷- نتیجه گیری و پیشنهادها

۷-۱- نتیجه گیری ..... ۷۸
۷-۲- پیشنهادها ..... ۷۹

پیوست ۱

۱-۱- محاسبه متوسط $e^{-T_l/\Gamma}\ 10^{0.1M_{cluster}}$ ..... ۸۰
۱-۲- محاسبه واریانس $e^{-T_l/\Gamma}\ 10^{0.1M_{cluster}}$ ..... ۸۱
۱-۳- محاسبه میانگین $\frac{\Omega_l}{\mu_l}$ در روش خوشه بندی توان ..... ۸۲
۱-۴- محاسبه میانگین $\hat{r} = \frac{\Omega_l}{\mu_l}$ در روش خوشه بندی توان ..... ۸۲

پیوست ۲

۲-۱- محاسبه میانگین متغییر تصادفی $(S_i - 1)^2$ ..... ۸۳
۲-۲- محاسبه ماتریس کوواریانس خطا تکنیک WLS مبتنی بر خوشه بندی ..... ۸۴
۲-۳- محاسبه میانگین متغییر تصادفی $\left(\hat{S}_l - 1\right)^2$ ..... ۸۴
۲-۳-۱- محاسبه عبارت $E[\hat{S}_l]$ ..... ۸۵
۲-۳-۲- محاسبه عبارت $E[\hat{S}_i^2]$ ..... ۸۵

پیوست ۳

۳-۱- محاسبه ماتریس فیشر (RSS) ..... ۸۷
۳-۲- محاسبه ماتریس فیشر (TOA) ..... ۸۸

واژه نامه ..... ۸۹
مراجع ..... ۹۲

## فهرست شکل‌ها


شکل ۲-۱- تعیین محدوده انتشار توان بر حسب EIRP توسط FCC ..... ۷
شکل ۲-۲- تعیین محدوده انتشار توان بر حسب EIRP در اروپا ..... ۷
شکل ۲-۳- تخصیص طیف فرکانسی معروف‌ترین سیستم‌های بی‌سیم ..... ۸
شکل ۲-۴- خوشه ها و مؤلفه های چند مسیره ..... ۱۲
شکل ۳-۱- تخمین TOA با استفاده از آشکارساز انرژی ..... ۲۱
شکل ۳-۲- خطای مسافت یابی با تکنیک RSS بر حسب CRLB در مسافت های مختلف ..... ۲۷
شکل ۴-۱- تابع توزیع تجمعی خطا مسافت یابی برای کانال دید مستقیم با R=۳ ..... ۳۶
شکل ۴-۲- تابع توزیع تجمعی خطا مسافت یابی برای کانال دید غیر مستقیم با R=۳ ..... ۳۷
شکل ۴-۳- تابع توزیع تجمعی خطا مسافت یابی برای کانال دید مستقیم با R=1 ..... ۳۸
شکل ۴-۴- تابع توزیع تجمعی خطا مسافت یابی برای کانال دید غیر مستقیم با R=1 ..... ۳۹
شکل ۴-۵- تابع توزیع تجمعی خطا موقعیت یابی برای کانال دید مستقیم با R=1 ..... ۴۲
شکل ۴-۶- تابع توزیع تجمعی خطا موقعیت یابی برای کانال دید غیر مستقیم با R=1 ..... ۴۲
شکل ۴-۷- تابع توزیع تجمعی خطا موقعیت یابی برای کانال دید مستقیم با R=۳ ..... ۴۳
شکل ۴-۸- تابع توزیع تجمعی خطا موقعیت یابی برای کانال دید غیرمستقیم با R=۳ ..... ۴۴
شکل ۵-۱- تکنیک های هایبرید ..... ۴۶
شکل ۵-۲- حد کرامر رائو خطای اندازه گیری در مکان یابی ML با تکنیک مسافت یابی RSS ..... ۵۲
شکل ۵-۳- حد کرامر رائو خطای اندازه گیری در مکان یابی ML با تکنیک مسافت یابی TOA ..... ۵۲
شکل ۵-۴- حد کرامر رائو خطای اندازه گیری در مکان یابی ML با تکنیک هایبرید TOA/RSS ..... ۵۵
شکل ۵-۵- حد کرامر رائو خطای اندازه گیری در روش مکان یابی WLS با تکنیک هایبرید TOA/RSS ..... ۵۹
شکل ۵-۶- سناریوی شبیه سازی مکان یابی WLS با تکنیک هایبرید، با معیار تابع توزیع تجمعی خطا ..... ۶۰
شکل ۵-۷- تابع توزیع تجمعی خطا مکان یابی WLS با تکنیک هایبرید ..... ۶۱
شکل ۶-۱- چگونگی تأثیر موقعیت جغرافیایی بد گره های مرجع بر روی دقت مکان یابی ..... ۶۴
شکل ۶-۲- دسته بندی کلی برای توپولوژی های بد گره های مرجع ..... ۶۵
شکل ۶-۳- ترسیم سه بعدی GDOP ($\theta_1 = 0\ , \theta_2, \theta_3 \in [0,2\pi]$) ..... ۶۸
شکل ۶-۴- الگوریتم بر مبنای تقارن ..... ۷۴
شکل ۶-۵- الگوریتم بر مبنای نگاشت چرخشی ($\pi/2$ رادیان) ..... ۷۵
شکل ۶-۶- تابع توزیع تجمعی خطای مکان‌یابی الگوریتم‌های پیشنهادی برای توپولوژی ۱ ..... ۷۶
شکل ۶-۷- تابع توزیع تجمعی خطای مکان‌یابی الگوریتم‌های پیشنهادی برای توپولوژی ۲ ..... ۷۷

## فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱- مقادیر پارامترهای مدل کانال UWB ..... ۱۶
جدول ۴-۱- مقادیر پارامترهای شبیه سازی در شرایط محیطی مختلف ..... ۳۶
جدول ۵-۱- مقادیر پارامترهای شبیه سازی در اندازه گیری های RSS و TOA ..... ۵۱
جدول ۵-۲- مقادیر پارامترهای شبیه سازی در مکان یابی WLS با تکنیک هایبرید ..... ۶۰

# فصل اول : پیشگفتار

مسئله پیدا کردن مکان متحرک بی‌سیم، مقارن است با عملیات‌های نظامی در طول جنگ جهانی دوم، به طوری که در آن زمان یافتن مکان سربازها در مواقع اضطراری امری حیاتی بوده است. حدود ۲۰ سال بعد در طول نبرد ویتنام، وزارت دفاع آمریکا یک سری از ماهواره‌های سیستم موقعیت-یاب جهانی (GPS[1]) را برای حمایت نبردهای نظامی در مناطق جنگی، راه اندازی کرد. در سال ۱۹۹۰ سیگنال‌های ماهواره های GPS در دسترس سازمان‌های خصوصی و برای کاربردهای تجاری از قبیل مدیریت ناوگان دریایی قرار گرفت. امروزه این فناوری به طور وسیع در دسترس بازارهای دادوستد

[1] Global Positioning Systems

شخصی برای کاربردهای راهبری شخصی قرار گرفته است. با وجود موفقیت این فناوری، دقت مکان-یابی آن در مناطق مسکونی و محیط‌های داخلی و در جایی که سیگنال‌های دریافتی نمی‌توانند از اثرات کانال چند مسیره[1] و بلوکه شدن در امان باشند، به طور چشم گیر مورد چالش قرار گرفت. در سال ۱۹۹۶، FCC، مقررات لازم برای ارائه دهندگان سرویس های بی سیم را به طوری که قادر باشند مکان تماس گیرنده‌های تلفن همراه را در موقعیت‌های اضطراری با دقت نامی ۱۰۰ متر در ۶۷ درصد زمان‌ها پیدا کنند، پایه گذاری کرد. این سرویس اضطراری در امریکا E-911 و در بسیاری از کشورهای دیگر E-112 نامیده شد.

در سال‌های اخیر توجه زیادی به استفاده از شبکه‌های پیشآ[2] و حسگر بی سیم برای مکان‌یابی در محیط‌های داخلی شده است. توسعه فناوری سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS[3])، و همچنین پیشرفت در الکترونیک دیجیتال و ارتباطات بی سیم، امکان طراحی گره‌های حسگر بی سیم انرژی‌کارآمد[4]، ارزان و با اندازه کوچک را فراهم کرده است، به طوری که بتواند در محیط‌های مختلف و با شرایط محیطی سخت، برای کاربردهای متفاوت توسعه پیدا کنند. به دلیل اینکه گره‌های حسگر توزیع شده در یک منطقه مورد نظر، معمولاً برای اهداف مسیریابی و وظایف خاص کاربردی از قبیل مانیتورینگ دما و فشار، به اطلاعات موقعیت خود نیاز دارند، مکان‌یابی گره، یک فناوری توانا ساز برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم خواهد بود [۱]. در بسیاری از کاربردها، یک شبکه حسگر بی‌سیم برای کمک به بهبود دقت مکان‌یابی در محیط‌هایی که شرایط کانال (مانند وجود اثر چند مسیره شدید که باعث ایجاد شرایط مسیر مستقیم آشکار نشده[5] (UDP) می گردد) چالشی را برای تخمین فاصله به دنبال خواهد داشت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این قبیل کاربردها می‌توان به روش مکان‌یابی مشارکتی حسگرهای بی سیم و شبکه های پیشآ اشاره کرد [۲]. در کاربردهای تجاری نیاز به مدیریت اموال در انبارها، مواد و تجهیزات در کارخانه ها و بیمارستان ها باعث ورود این شبکه ها در این نوع موارد شده است. برای اهداف امنیت عمومی و نظامی، وجود سیستم های مکان‌یابی داخلی برای ردیابی اشخاص در زندان‌ها و معادن، کامل شدن مأموریت افراد پلیس، آتش‌نشان ها و سربازان در داخل ساختمان ها ضروری است. در نمونه های ذکر شده، مکان‌یابی گره حسگر نقش مهمی را در این شبکه ها ایفا می‌کند.

تکنولوژی‌های بی‌سیم متنوعی نظیر واسطه‌های صوتی، مادون قرمز و باند بسیار وسیع برای اهداف مکان‌یابی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مکان‌یابی صوتی محدوده کاربری وسیعی دارد، که بیشتر

[1] Multipath
[2] Ad-Hoc
[3] Micro Electro Mechanical Systems
[4] Energy Efficient
[5] Undetected Direct Path

شامل ردیاب صوتی زیردریایی غیر فعال[1]، تست و آنالیز منبع نویز، کاربردهای پدافندی، ردیابی بلندگو[2] (منبع صوت) می‌باشد. مکان‌یاب صوتی غیر فعال از چندین سنسور برای آشکارسازی صوت منتشر شده توسط هدف، استفاده می‌کند و سپس مکان منبع با روش‌های تخمین مختلف، محاسبه می‌شود [۳]. امروزه در میان تکنیک‌های موجود، مسافت‌یابی بر مبنای زمان دریافت سیگنال با پهنای باند بسیار وسیع، مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۱۵-۴]. علاوه بر ارتباطات سرعت بالای آن، UWB به عنوان یک کاندیدای موجود برای مسافت‌یابی و مکان‌یابی دقیق انتخاب شده است. اساساً این به دلیل پهنای باند زیاد است که منجر به تفکیک‌پذیری بالای زمانی می‌شود و لذا برای کاربردهایی با دقت های حدود چندین سانتی‌متری، توان پایین و کم هزینه مجاز شمرده می‌شود [۱۶و۱۵]. با وجود آنکه عملکرد این تکنیک به وجود سیگنال مسیر مستقیم بین دو گره حسگر وابسته است، اما در حضور مسیر مستقیم بین فرستنده و گیرنده، یعنی شرایط دید مستقیم[3] رنج کوتاه، دقت تخمین UWB TOA به دلیل تفکیک‌پذیری زمانی بالا در رنج چند سانتی‌متر خواهد بود [۱۷]. قابل ذکر است که در مقایسه با تکنولوژی مادون قرمز، UWB مزیت عبور از ساختمان‌ها را نیز دارد به طوری که ارتباطات بی‌سیم را تسهیل می‌نماید و همچنین در محیط‌هایی با مسافت کم، این سیستم‌ها عمدتاً ارزان تر و راحت‌تر می‌باشند.

مفهوم UWB نخستین بار توسط مارکونی در اوایل دهه ۱۹۰۰ معرفی شد. در آن زمان با استفاده از فرستنده‌های تولیدکننده جرقه‌های شدید[4] دنباله کدهای مرس[5] در امتداد اقیانوس اطلس ارسال می‌گردید (هر چند که در آن زمان مزایای پهنای باند زیاد و قابلیت استفاده از سیستم‌های چند کاربره اصلاً در نظر گرفته نمی‌شد). این فرستنده‌ها سیگنال‌های پالسی تداخلی با پهنای باند بسیار زیاد بوجود می‌آوردند. به همین دلیل چند سال بعد (سال ۱۹۲۷) مخابرات جهانی استفاده از آنها را به نفع فرستنده‌های باند باریک و رادیویی که در تخصیص باندها به خوبی عمل می‌کردند، ممنوع کرد. در دهه ۱۹۶۰ سازمان نظامی آمریکا با تصمیم‌گیری بر ارسال پالس در مخابرات امن خود جرقه‌ای دوباره به این سیستم‌ها زد و در نهایت در اوایل دهه ۱۹۹۰ این مفهوم به صورت گسترده‌ای مطرح شد. همزمان با آن تکنولوژی ساخت آنها نیز پیشرفت قابل ملاحظه‌ای کرد که در نتیجه آن، سیستم‌های UWB به صورت تجاری در آمدند. این نظریه که سرویس های بی سیم با توان پایین می‌توانند در کنار سایر سیستم‌ها کار کنند عاملی برای قبول این سیستم توسط FCC شد و در فوریه ۲۰۰۲، اولین اجازه شروع به کار این سیستم‌ها تحت قواعد بخش پانزده FCC با اندکی محدودیت صادر گردید [۱۸].

[1] Passive Sonar
[2] Speaker Tracking
[3] Line Of Sight (LOS)
[4] Spark Gap Transmitter
[5] Morse Code

با توجه به مقدمه ذکر شده، در این پایان‌نامه به دنبال شناخت محدودیت‌های موجود برای داشتن دقت مکان‌یابی مناسب و به دنبال آن، ارائه راهکارهایی برای مقابله با آنها بوده‌ایم. مواردی که در بررسی های صورت گرفته مورد توجه و سؤال قرار گرفت را می توان به ترتیب زیر بیان کرد :

- در گام اول مشاهده و اثبات شد که استفاده از سیگنال‌های UWB تنها برای تکنیک مسافت-یابی TOA مؤثر می‌باشد و این در حالی است که در مورد تکنیک RSS اینگونه نمی‌باشد و تقریباً اثر خنثی دارد. با توجه به این موضوع به دنبال بررسی و ارائه روشی برای داشتن تأثیر مناسب استفاده از سیگنال‌های UWB در تکنیک مسافت‌یابی RSS بودیم. با توجه به مدل کانال S-V ارائه شده برای این سیگنال‌ها، روش خوشه بندی توان پیشنهاد شد که به طور مفصل در فصل چهارم به بیان این روش و نتایج بدست آمده پرداخته شده است.
- در گام بعدی بررسی تکنیک‌های هایبرید و چگونگی کارایی آنها در بهبود دقت مکان‌یابی و در شرایط مختلف مدنظر قرار گرفت. با توجه به یکی از محدودیت‌های موجود مبنی پدیده حداکثر شدن (با شیب زیاد) خطای مکان‌یابی در نزدیکی گره‌های مرجع، و بررسی‌های موجود برای کارایی تکنیک هایبرید برای موقعیت‌یابی با استفاده از تخمین‌زن ML برای رفع محدودیت بیان شده، در ادامه با در نظر داشتن این موضوع که استفاده از الگوریتم‌های خطی موقعیت‌یابی مختلف به جای روش پیچیده تر ML، از اهمیت زیادی برخوردارند، به بررسی کارایی تکنیک هایبرید با استفاده از الگوریتم خطی LS برای پدیده حداکثر شدن پرداخته شد.
- در گام آخر این پایان‌نامه، به دنبال علت اصلی پدیده حداکثر شدن، به بحث پارامتر GDOP و تأثیر چگونگی قرار گرفتن گره‌ها نسبت به یکدیگر وارد شده است. در این رابطه نیز همانطور که در فصل ششم بیان خواهد شد با ارائه الگوریتم‌های مبتنی بر گره‌های مجازی به بهبود کارایی الگوریتم های خطی موقعیت‌یابی پرداخته شده است.

# فصل دوم : معرفی مخابرات باند بسیار وسیع

## ۲-۱- تعریف سیستم‌های باند بسیار وسیع

اصطلاح باند وسیع به طور رایج برای سیستم‌هایی به کار می‌رود که پهنای باند مدوله شده بسیار بالایی دارند، بنابراین به نرخ ارسال داده بسیار زیادی می‌توانند دست یابند. اما منظور ما در اینجا از باند بسیار وسیع استفاده از سیگنال‌های طیف گسترده شده‌ای است که به خودی خود و حتی بدون مدولاسیون داده، پهنای باند فوق العاده زیادی دارند و می‌توانند به کارایی بسیار بالا در مخابرات داخل

ساختمان از جمله تعداد کاربران با نرخ ارسال زیاد دست یابند. با توجه به تعریف FCC به هر تکنولوژی بی‌سیمی که پهنای باند نسبی مورد استفاده آن حداقل ۲۰٪ فرکانس مرکزی‌اش باشد یا کل پهنای باند آن بیشتر از ۰/۵ گیگاهرتز باشد، UWB گفته می‌شود [۱۵]. در برخی مراجع این دو عدد به ترتیب ۲۵٪ و ۱/۵ گیگاهرتز بیان شده‌اند. تکنولوژی UWB معمولاً به صورت پیام رادیویی ضربه-ای[1]، شناخته می‌شود که داده‌ها را با پالس‌های کوتاه ارسال می‌کند [۱۸].

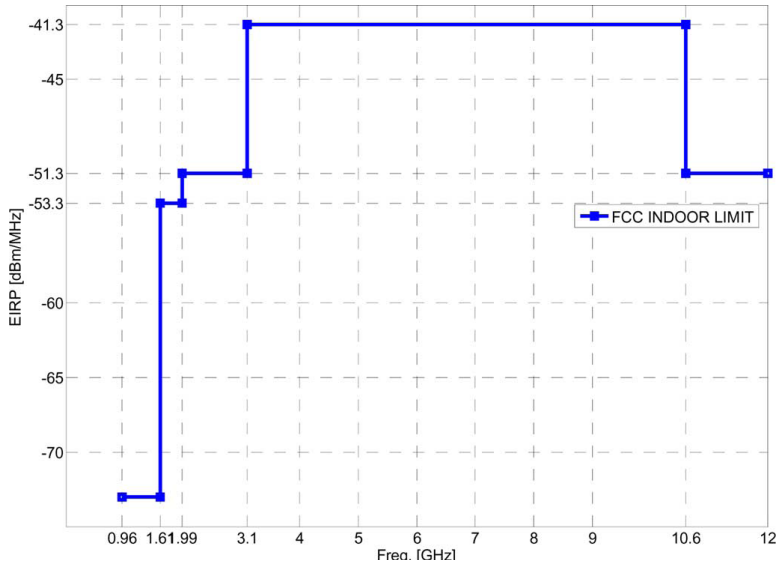
## ۲-۲- مقررات FCC برای سیگنال‌های UWB

در سال ۲۰۰۲ آمریکا فعالیت‌های جهانی در استانداردسازی و تنظیم تکنولوژی UWB را با مجوز شروع به کار وسایل UWB در باندهای فرکانسی مشترک یا غیردولتی، بنیان نهاد. بنابراین FCC اولین مقررات سیستم‌های UWB را در سناریوهای داخل و خارج ساختمانی قرار داد و فروش و استفاده از سه دسته از سیستم‌های UWB را مجاز کرد [۱۹] :

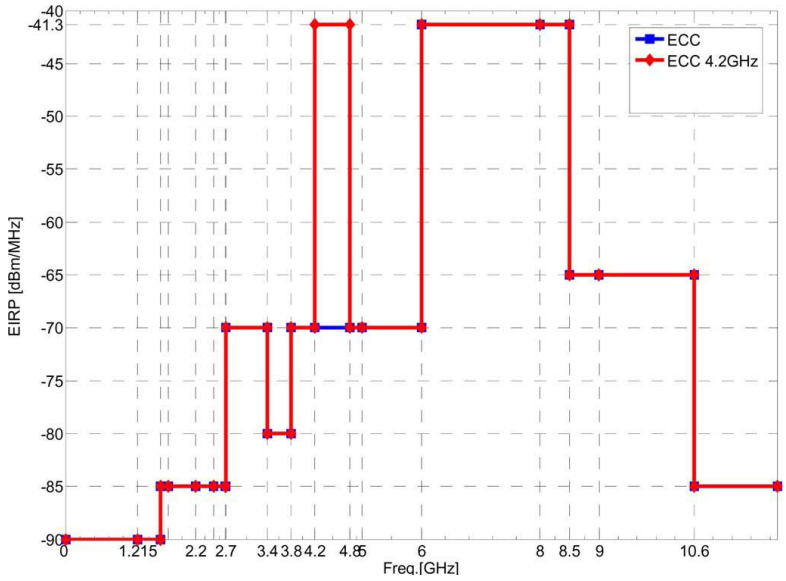
- کاربرد در سیستم‌های مخابراتی و اندازه‌گیری در محدوده ۱۰/۶-۳/۱ گیگاهرتز که نامزد استفاده در مخابرات رنج کوتاه می‌باشد (شامل سیستم‌های خانگی[2] و بیرونی[3]).
- کاربرد در سیستم‌های رادار حمل و نقل در محدوده ۲۹-۲۲ گیگاهرتز با فرکانس مرکزی ۲۴/۰۷۵ گیگاهرتز (سیستم‌های جلوگیری و حفاظت در هنگام برخورد).
- کاربرد در سیستم‌های تصویربرداری در محدوده کمتر از ۹۶۰ مگاهرتز، همچنین محدوده ۱۰/۶-۱/۹۹ برای تصویربرداری پزشکی، تصویربرداری از اعماق زمین با استفاده از رادار و محدوده ۱۰/۶-۳/۱ گیگاهرتز سیستم‌های حفاظتی[4] و سیستم‌های نفوذکننده در دیوارها[5].

محدوده انتشار توان بر حسب EIRP[6] در مقابل فرکانس، در شکل (۲-۱) ترسیم شده است. بعد از FCC توسط بعضی کشورهای دیگر محدوده‌هایی تعیین شد. برای مثال محدودیت‌های انتشار اروپایی که در شکل (۲-۲) آورده شده است :

[1] Impulse Radio
[2] Indoor Systems
[3] Outdoor Systems
[4] Surveillance Systems
[5] Thru-Wall Imaging Systems
[6] Equivalent Isotropically Radiated Power

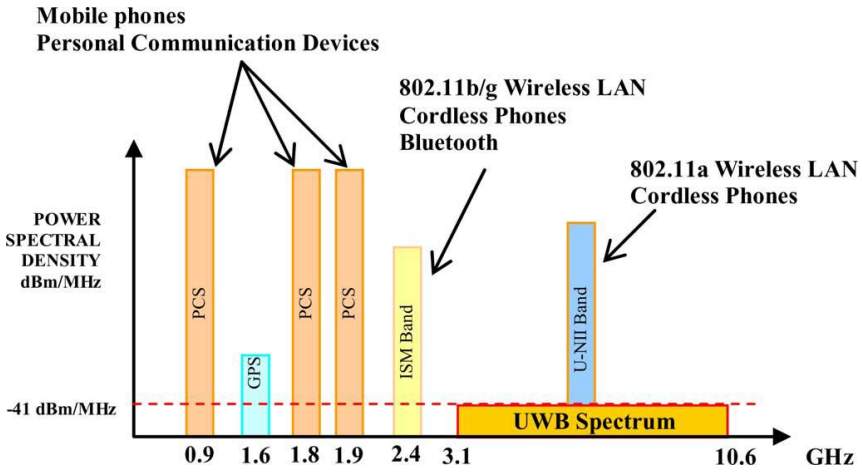



شکل ۲-۱- تعیین محدوده انتشار توان بر حسب EIRP توسط FCC [۲۰]




شکل ۲-۲- تعیین محدوده انتشار توان بر حسب EIRP در اروپا [۲۰]

اگر همه پهنای باند بین ۱۰/۶-۳/۱ گیگا هرتز استفاده شود، توان مجاز ارسال شده برای ارتباطات داخلی ۴۱/۳ dBm/MHz- یا به طور اساسی ۰/۵ mW می‌باشد. این توان بسیار پایین، باید از تداخل با سیستم‌های باند باریک موجود جلوگیری کند، اما باعث می‌شود عملاً برای ارتباطات رنج کوتاه (کمتر از ۱۰m) استفاده شود. تخصیص طیف فرکانسی معروف‌ترین سیستم‌های بی‌سیم در شکل (۲-۳) ترسیم شده است [۲۰].




شکل ۲-۳- تخصیص طیف فرکانسی معروف‌ترین سیستم‌های بی‌سیم [۲۰]

همانطور که از شکل‌های بالا مشاهده می‌شود توان مجاز در باند ۱/۶۱-۰/۹۶ گیگا هرتز برای محافظت از سیستم‌های حساسی مثل GPS و برخی سیستم‌های نظامی در حد پایین‌تری از ۴۱/۳ dBm/MHz- در نظر گرفته شده است. سیستم‌های دیگری نظیر باند ISM[1] مثل تکنولوژی بلوتوث و یا شبکه‌های بی‌سیم محلی (WLAN)[2] مثل IEEE 802.11a که در باند ۱۰/۶-۳/۱ گیگا هرتز کار می‌کنند، نیز به همین ترتیب محافظت شده‌اند.

## ۲-۳- ارسال در سیستم های UWB

اگر چه سیگنال UWB می‌تواند به صورت های متنوعی تولید و ارسال گردد، شناخته شده ترین مدل، تولید سیگنال با روش رادیو ضربه ای می‌باشد. این روش مبتنی بر ارسال ضربه هایی با دوره زمانی کمتر از یک نانو ثانیه و استفاده از تکنیک پرش زمانی یکی از تکنیک‌های دستیابی چندگانه بر پایه تقسیم کد[3] است. در این روش، یک دنباله شبه تصادفی به هر کاربر اختصاص می‌یابد. دنباله شبه-تصادفی در این سیستم زمان ارسال را مشخص می‌کند. به این صورت که زمان ارسال یک بیت به چیپ های کوچکی تقسیم می‌شود، سپس هر فرستنده یک (یا تعدادی) پالس با دوره زمانی کمتر یا مساوی دوره زمانی یک چیپ، در چیپ (یا چیپ هایی) که توسط دنباله شبه تصادفی مخصوص به آن کاربر مشخص شده اند، ارسال می‌کند. به علت متفاوت بودن دنباله های شبه تصادفی برای کاربران مختلف، احتمال ارسال در زمان‌های مشابه برای کاربرهای تداخل کننده، کاهش می‌یابد. از طرف دیگر

[1] Industrial Scientific Medical Band
[2] Wireless Local Area Networks
[3] Code Division Multiple Access (CDMA)

مشاهده می‌شود که گستره طیف فرکانسی هم که متناسب با عکس دوره زمانی یک پالس است، در مقایسه با حالت عادی که دوره زمانی پالس با زمان ارسال سمبل برابر است، بسیار گسترش می‌یابد.
همانطور که در ادامه بحث خواهیم کرد استفاده از سیگنال‌های با پهنای باند گیگاهرتزی، اثر فیدینگ را کاهش می‌دهد که این خود منجر به کاهش توان مورد نیاز برای ارسال می‌گردد. با پهنای باند وسیعی که UWB دارد، در سیستم با دسترسی چندگانه می‌تواند تعداد زیادی از کاربران را حتی در محیط‌های چندگانه پشتیبانی کند.

## ۲-۳-۱- سیگنال ارسالی

شکل موج ارسالی P(t) بر طبق قانون 15.5(d) از قوانین FCC، که بیان می‌دارد "فرستنده هایی که سیگنال های کلاس B (موج های میرا شونده[1]) ارسال می‌کنند، ممنوع می‌باشد"، از انواع شکل موج های نامیرا مانند شکل موج های گوسی و مشتقات آن، رایلی، رایسین، لاپلاسین و مکعبی تک دوره می‌تواند انتخاب گردد [۱۸]. علت نامگذاری این شکل موج ها به نام تک دوره، به این علت است که همه این شکل موج ها تنها دارای یک سیکل از یک موج پریودیک می‌باشند. در حقیقت هدف از به کار بردن این شکل موج ها بدست آوردن یک طیف فرکانسی هموار در پهنایی باند پالس می‌باشد، تا به این طریق، مؤلفه DC نداشته باشیم.
شکل موج یک پالس گوسی تک دوره و مشتق دوم آن به ترتیب به صورت زیر است:

$$f(t) = t\, exp[-2\pi(\frac{t}{t_n})^2] \qquad (۱-۲)$$

$$f(t) = \left[1 - 4\pi\left(\frac{t}{t_n}\right)^2\right] exp[-2\pi(\frac{t}{t_n})^2] \qquad (۲-۲)$$

که $t_n$ ثابت زمانی پالس بوده و پهنایی باند پالس را تعیین می‌کند.

## ۲-۴- مزایای استفاده از UWB

بر طبق تئوری ظرفیت کانال شانون که پهنای باند وسیع UWB یک ظرفیت کانال بزرگی را بدون طلب کردن توان انتقال زیاد تضمین می‌کند. بنابراین طیف اشغال شده توسط تکنولوژی‌های موجود، می‌تواند توسط UWB و بدون تداخل مضر، استفاده شود [۱۸]. همچنین با توجه به همین قضیه، ظرفیت به صورت خطی با پهنایی باند رشد پیدا کرده و در مقابل به صورت لگاریتمی با کاهش سیگنال به نویز افت می‌کند. این رابطه بیان می‌کند که ظرفیت رادیویی با افزایش پهنای باند بسیار

[1] Damped

سریع‌تر از افزایش سیگنال به نویز بالا می‌رود. بنابراین برای شبکه‌های بی‌سیم شخصی (WPAN)[1] که تنها به ارسال در مسافت‌های کوتاه پرداخته و تلفات مسیر کم و تقریباً ثابتی دارند، ظرفیت بیشتر، با افزایش پهنایی باند راحت‌تر صورت می‌گیرد.

به علاوه آنالیز تحلیلی حد کرامر-رائو کلاسیک برای محاسبه حد پایین واریانس خطای تخمین، نشان می‌دهد که UWB به دلیل پهنای باند بسیار زیادش می‌تواند تفکیک‌پذیری زمانی[2] بالا و در نتیجه قابلیت مکان‌یابی و مسافت‌یابی دقیق‌تری را فراهم می‌کند [۱۵]. به خاطر این ویژگی‌های یکتا، تکنولوژی UWB در ارتباطات با نرخ بالا و رنج کوتاه، رادار، تصویر برداری، مشاهدات بی‌سیم، مکان-یابی و ردگیری دقت بالا جذابیت بیشتر پیدا کند.

با توجه به اینکه کانال‌های بی‌سیم، به دلیل پدیده فیدینگ از شبکه‌های با سیم متمایز می-شوند، تکنیک‌ها و الگوریتم‌های این سیستم‌ها را نیز نمی‌توان به طور مستقیم به سیستم‌های بی‌سیم اعمال نمود. روش‌هایی که در حال حاضر بدین منظور به کار می‌روند، شامل بهره پردازش پیشرفته، ترکیب بهتر اجزاء سیستم (مانند کدینگ، مدولاسیون و آشکارسازی) و استفاده از انواع مختلف دایورسیتی می‌باشد [۲۱].

در کانال‌های مخابرات سیار که به شدت از فیدینگ آسیب‌پذیرند، بدین معنی که در بازه زمانی هر تماس سیگنال‌های کاربران با تغییرات و تضعیف‌های شدیدی مواجه‌اند، با ارسال و پردازش درست و موثر می‌توان دریافت‌های تقریباً مستقلی داشت. بدین ترتیب با استفاده از دایورسیتی ایجاد شده به طور مستقیم با فیدینگ مقابله نمود یا به زبان ساده می‌توان امیدوار بود که حداقل یکی از مسیرهای دریافتی از شرایط خوب کانال عبور کرده باشد.

یکی از روش‌های دایورسیتی شناخته شده دایورسیتی فضایی است که در این روش با استفاده از چندین آنتن فرستنده برای ارسال سیگنال و یا چندین آنتن گیرنده برای دریافت سیگنال، فیدینگ مستقلی برای هر سیگنال دریافت شده از مسیرهای مختلف، ایجاد می‌کند. استفاده از این روش برای سیستم‌های موبایل غیر عملی است چراکه برای ارسال سیگنال‌های ناهمبسته، دو آنتن باید فاصله‌ای به اندازه حداقل نصف طول موج داشته باشند. یکی از راه‌های حل این مسئله استفاده از شبکه‌های مشارکتی[3] است [۲۱]. مبنای این تکنیک بر ایجاد آنتن‌های مجازی با استفاده از به کارگیری گره‌های مجاور گره مورد نظر (آنتن) در شبکه (مانند شبکه‌های حسگر بی‌سیم) و استفاده از مشارکت آنها برای ارسال سیگنال به مقصد می‌باشد.

در سیستم‌های UWB، استفاده از سیگنال‌های با پهنای باند گیگا هرتزی همانطور که در بخش بعدی به طور مبسوط به آن می‌پردازیم، به این معنا است که مولفه‌های چند مسیری دریافت شده در

[1] Wireless Personal Area Networks
[2] Timing Resolution
[3] Cooperative Networks