بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

آقای محمدعلی سلیمانی باغشاه پایان‌نامه ۹ واحدی خود را با عنوان **تعیین موقعیت کاربر در شبکه‌های بیسیم** در تاریخ ۱۳۹۰/۳/۲۲ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مخابرات پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنمای اصلی	دکتر احمد رضا شرافت	استاد	
استاد ناظر	دکتر پائیز عزمی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حمید سعیدی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر علی الفت	استادیار	
نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر پائیز عزمی	استادیار	

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

نام و نام خانوادگی
محمدعلی سلیمانی باغشاه
تاریخ و امضا
۱۳۹۰/۳/۲۵

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته **مخابرات سیستم** است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده **مهندسی برق و کامپیوتر** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای **دکتر احمدرضا شرافت** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰% بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **محمدعلی سلیمانی باغشاه** دانشجوی رشته **مخابرات سیستم** مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی
محمدعلی سلیمانی باغشاه
تاریخ و امضا
۱۳۹۰/۳/۲۵

دانشگاه تربیت مدرّس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات

تعیین موقعیت کاربر در شبکه‌های بیسیم

محمدعلی سلیمانی باغشاه

استاد راهنما:

دکتر احمدرضا شرافت

بهار 1390

تقدیم

خدای را بسی سپاس که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایهٔ درخت پر بار وجودشان بیاسایم، از ریشهٔ آنها شاخ و برگ گیرم و از سایهٔ وجودشان در راه فراگیری دین و دانش بهره گیرم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود مقدس پس از پروردگار، مایهٔ هستی‌ام بوده‌اند، دستم را گرفتند و در این وادی پر فراز و نشیب زندگی، چگونه راه رفتن را به من آموختند.

خواهران و برادران مهربانم که همواره از پشتیبانی و تشویق آنان بهره‌مند بوده‌ام.

آموزگارانی که برایم زندگی و انسان بودن را معنا کردند.

همه آنان که از جان خود گذشتند تا ما ایستاده بمانیم.

حال این برگ سبزی است تحفهٔ درویش تقدیم به آستان آنان

سپاسگزاری و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم که از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر احمدرضا شرافت، که در نوع نگاه به مسائل نگرش جدیدی در بنده ایجاد کردند و همچنین به خاطر کمک‌های بی‌دریغ و راهنمایی‌های ارزشمندشان در راستای انجام این پایان‌نامه صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

این پایان‌نامه با حمایت و پشتیبانی

مرکز تحقیقات مخابرات ایران انجام شده‌است.

چکیده

تعیین موقعیت کاربر در شبکه‌های بیسیم، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است و کاربردهای گسترده‌ای دارد، اما با چالش‌هایی همراه است، زیرا عواملی از قبیل نویز اندازه‌گیری و خطای مربوط به مسیرهای غیرمستقیم انتشار امواج (NLOS)، باعث ایجاد خطای زیادی در تخمین موقعیت می‌شوند. یک راه مقابله با خطای NLOS، تشخیص و کم کردن تاثیر آن در فرایند تخمین موقعیت است. در این پایان‌نامه ابتدا یک روش تشخیص NLOS را با استفاده از اندازه‌گیری‌های قدرت سیگنال دریافتی (RSS)، ارایه می‌کنیم که استفاده از آن، مستلزم تعداد زیاد اندازه‌گیری است. سپس یک روش دیگر با استفاده از ترکیب اندازه‌گیری‌های TOA و RSS را ارایه می‌کنیم که از تفاوت ماهوی این دو نوع اندازه‌گیری در شرایط NLOS استفاده کرده و دو تابع چگالی احتمال تحت شرایط LOS و NLOS را حاصل می‌کند. نشان می‌دهیم که با استفاده از این توابع چگالی احتمال و اعمال روش‌های آشکارسازی، با اندازه احتمال زیاد می‌توان NLOS را تشخیص داد. سپس از این روش تشخیص NLOS استفاده کرده و موقعیت کاربر را با دقت خوبی تخمین می‌زنیم. در شرایطی که تعداد ایستگاه‌های پایه با مسیر LOS برای مکان‌یابی، کمتر از تعداد مورد نیاز (سه تا) باشد، یک روش هندسی برای تخمین موقعیت کاربر با استفاده از اندازه‌گیری‌های در بر دارنده خطای NLOS پیشنهاد می‌کنیم که بر خلاف بسیاری از روش‌های موجود، مستلزم LOS بودن مسیر با هیچ کدام از ایستگاه‌های پایه نیست و فقط به سه ایستگاه پایه نیاز دارد. در این رویکرد ما از اندازه‌گیری‌های زمانی و زاویه ورود سیگنال در ایستگاه پایه، و مدل‌های توزیع مکانی پراکنده‌سازها استفاده می‌کنیم و مسیر LOS را از روی اندازه‌گیری‌های در بردارنده خطای NLOS بازسازی می‌کنیم. به صورت تحلیلی نشان می‌دهیم که مسیرهای بازسازی شده، همواره خطای NLOS کمتری در مقایسه با اندازه‌گیری‌های اصلی دارند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که دقت تخمین موقعیت با رویکرد پیشنهادی، بهبود قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش‌های موجود دارد.

کلمات کلیدی: تشخیص NLOS، بازسازی مسیر LOS، زاویه ورود (AOA)، زمان دریافت سیگنال(TOA)، مدل توزیع مکانی پراکنده‌سازها، تخمین موقعیت کاربر

فهرست مطالب

فهرست مطالب ..... **أ**

فهرست جداول ..... **د**

فهرست شکل‌ها ..... **ه**

فصل ۱ **مقدمه** **۱**

۱-۱- کلیات ۱

۱-۲- بیان مساله و راهکارها ۲

۱-۳- مروری بر روش‌های موجود و مشکلات آنها ۲

۱-۴- نوآوری‌های پایان‌نامه ۷

۱-۴-۱- تشخیص وجود NLOS و استفاده از آن در تخمین موقعیت کاربر ۷

۱-۴-۲- تخمین موقعیت با استفاده از اندازه‌گیری‌های در بردارنده خطای NLOS ۸

۱-۵- ساختار پایان‌نامه ۹

فصل ۲ **مروری بر کاربردها، دسته‌بندی و روش‌های تعیین موقعیت** **۱۱**

۲-۱- کاربردهای مکان‌یابی در سیستم سلولی ۱۱

۲-۲- دسته‌بندی سیستم‌های مکان‌یابی ۱۲

۲-۲-۱- دسته‌بندی سیستم‌های مکان‌یاب بر اساس مکان اندازه‌گیری‌ها و مکان استفاده از اطلاعات ۱۲

۲-۲-۲- دسته‌بندی سیستم‌های مکان‌یاب بر اساس معماری شبکه ۱۳

۲-۲-۳- دسته‌بندی سیستم‌های مکان‌یاب بر اساس وضعیت فعال و وضعیت غیرفعال ۱۶

۲-۳- روش‌های تعیین موقعیت کاربر در شبکه‌های بیسیم ۱۷

۲-۳-۱- روش مبتنی بر شماره سلول ۱۷

۲-۳-۲- روش AOA ۱۸

۲-۳-۳- روش TOA ۱۹
۲-۳-۴- روش TDOA ۲۰
۲-۳-۵- روش استفاده از میزان تضعیف قدرت سیگنال دریافتی ۲۱
۲-۴- روش‌های پیشنهادی در این پایان‌نامه ۲۳
۲-۵- خلاصه فصل ۲۴

فصل ۳ **تخمین موقعیت با استفاده از تشخیص NLOS** **۲۶**
۳-۱- مدل سیستم ۲۷
۳-۲- تشخیص NLOS با استفاده از اندازه‌گیری‌های TOA ۳۰
۳-۳- تشخیص NLOS با استفاده از اندازه‌گیری‌های RSS ۳۱
۳-۴- تشخیص NLOS با استفاده همزمان از اندازه‌گیری‌های TOA و RSS ۳۶
۳-۵- شبیه‌سازی ۴۳
۳-۶- استفاده از تشخیص NLOS برای مکان‌یابی ۵۱
۳-۷- خلاصه فصل ۵۳

فصل ۴ **تخمین موقعیت کاربر با کاهش اثر خطای NLOS** **۵۴**
۴-۱- مدل سیستم ۵۵
۴-۲- روش LS و 2-Step-LS ۵۸
۴-۳- روش LLOP ۵۹
۴-۴- روش پیشنهادی ۶۰
۴-۵- کاهش هندسی دقت **(GDOP)** ۶۳
۴-۶- شبیه‌سازی ۶۴
۴-۷- خلاصه فصل ۷۷

فصل ۵ **جمع‌بندی و پیشنهادها** **۷۸**
۵-۱- جمع‌بندی ۷۸
۵-۲- پیشنهادها ۸۰

پیوست أ- مروری بر برخی دیگر از روش‌های مکان‌یابی **۸۱**

مکان‌یابی با کمک به GPS ۸۱
روش همبستگی بانک اطلاعات ۸۳
پیوست ب- برخی اثبات‌های مربوط به فصل سوم ۸۶
پیوست ج- محاسبه کواریانس خطای موقعیت برای روش‌های LS، 2-Step-LS و روش‌های پیشنهادی TOA/AOA و 2Step-TOA/AOA ۸۹
پیوست د- آمارگان فاصله طی شده و زاویه ورود سیگنال در محیط‌های پراکنده‌سازی ۹۳
فهرست مراجع ۱۱۹
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۱۲۴
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۱۲۷

فهرست جداول

جدول ۳-۱. مقادیر $\xi(\kappa)$ برای مقادیر مختلف κ ۳۹
جدول ۴-۱. مقایسه حساسیت روش پیشنهادی با سایر روش‌ها نسبت به مختصات قرار گرفتن کاربر ۷۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱. نحوه قرار گرفتن پراکنده‌سازهای متناظر یک NLOS مشخص در محدوده دایره در برگیرنده پراکنده‌سازها ۹

شکل ۲-۱. مکان‌یابی با استفاده از زاویه ورود ۱۹

شکل ۲-۲. تعیین موقعیت کاربر با استفاده از روش TOA [۲] ۲۰

شکل ۲-۳. مکان‌یابی به روش TDOA با استفاده از سه ایستگاه پایه [۲] ۲۱

شکل ۲-۴. محو شدگی سیگنال های رادیویی کاربر [۴۶] ۲۲

شکل ۳-۱. نحوه تصمیم‌گیری در خصوص LOS یا NLOS ۳۳

شکل ۳-۲. نمای قیاسی توابع چگالی احتمال $D_{\mathrm{L,LOS|LOS}}$ و $D_{\mathrm{L,LOS|NLOS}}$ ۴۰

شکل ۳-۳. احتمال تشخیص صحیح نسبت به احتمال هشدار خطا با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمان به روش [۱۸] ۴۴

شکل ۳-۴. احتمال تشخیص صحیح و احتمال هشدار خطا نسبت به آستانه‌های مختلف ۴۵

شکل ۳-۵. تشخیص NLOS با استفاده از اندازه‌گیری‌های RSS با روش تست فرض ۴۶

شکل ۳-۶. تشخیص NLOS با استفاده از اندازه‌گیری‌های RSS با روش تست فرض، نسبت به تعداد اندازه‌گیری‌ها ۴۷

شکل ۳-۷. تشخیص NLOS با استفاده از اندازه‌گیری‌های RSS در حالتی که هیچ شناختی از η_{NLOS} وجود ندارد ۴۸

شکل ۳-۸. تشخیص NLOS با استفاده از اندازه‌گیری‌های RSS در حالتی که فقط نوع تابع چگالی احتمال η_{NLOS} معلوم است ۴۹

شکل ۳-۹. تشخیص NLOS با استفاده از اندازه‌گیری‌های RSS در حالتی که نوع تابع چگالی احتمال η_{NLOS} معلوم است، نسبت به تعداد اندازه‌گیری‌ها ۴۹

شکل ۳-۱۰. تشخیص NLOS با استفاده از ترکیب اندازه‌گیری‌های TOA و AOA ۵۰

شکل ۳-۱۱. موقعیت واقعی کاربر، و موقعیت‌های تخمین زده شده: a و b موقعیت‌های تخمین زده شده را بدون استفاده و با استفاده از تشخیص NLOS نشان می‌دهند، و دایره‌های c و d، ۶۷ درصد از موقعیت‌های تخمین زده شده با کمترین خطا را در حالت a و b نشان می‌دهند. ۵۲
شکل ۳-۱۲. میانگین خطای تخمین موقعیت با استفاده از روش کمترین مربعات در دو حالت: یکی با استفاده از تشخیص NLOS و دیگری بدون استفاده از تشخیص NLOS، نسبت به افزایش NLOS ۵۳
شکل ۴-۱. مکان‌یابی در مختصات دو بعدی ۵۷
شکل ۴-۲. موقعیت واقعی کاربر، و موقعیت‌های تخمین زده شده: a و b موقعیت‌های تخمین زده شده را با استفاده از روش 2-Step-LS و روش پیشنهادی نشان می‌دهند، و دایره‌های c و d، ۶۷ درصد از موقعیت‌های تخمین زده شده با کمترین خطا را در حالت a و b نشان می‌دهند. ۶۵
شکل ۴-۳. مقایسه خطای روش پیشنهادی با سایر روش‌های ارایه شده، بر حسب افزایش حداکثر خطای NLOS با واریانس نویز ۱۰۰ متر مربع ۶۶
شکل ۴-۴. در سایه قرار گرفتن موانع پشت یک مانع دیگر ۶۷
شکل ۴-۵. مقایسه خطای روش‌های پیشنهادی TOA/AOA و 2-Step-TOA/AOA با سایر روشهای ارایه شده، بر حسب افزایش حداکثر خطای NLOS، در NLOSهای بالا، با واریانس نویز ۱۰۰ متر مربع ۶۷
شکل ۴-۶. مقایسه GDOP روش‌های پیشنهادی TOA/AOA و 2-Step-TOA/AOA با GDOP روش‌هایLS و 2-Step-LS، بر حسب NLOS با حداکثر خطای NLOS ۶۰۰ متر ۶۸
شکل ۴-۷. مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش‌های ارایه شده بر حسب افزایش واریانس نویز با حداکثر خطای NLOS ۶۰۰ متر ۶۹
شکل ۴-۸. تاثیر شعاع دایره پراکنده‌سازها بر روی دقت مکان‌یابی با روش پیشنهادی با حداکثر خطای NLOS ۶۰۰ متر و واریانس نویز ۱۰۰ متر مربع ۷۰
شکل ۴-۹. بررسی پایوری روش پیشنهادی در مقابل عدم شناخت شعاع دایره پراکنده‌سازها در حالتی که اطلاعاتی از محیط داریم، با حداکثر خطای NLOS ۶۰۰ متر و واریانس نویز ۱۰۰ متر مربع ۷۱

شکل ۴-۱۰. بررسی پایوری روش پیشنهادی در مقابل عدم شناخت شعاع دایره پراکنده‌سازها در حالتی که هیچ اطلاعاتی از محیط نداریم، با حداکثر خطای NLOS ۶۰۰ متر و واریانس نویز ۱۰۰ متر مربع ۷۲
شکل ۴-۱۱. مقایسه روش پیشنهادی با سایر روشهای ارایه شده بر حسب درصد تعداد آزمایش‌ها، با حداکثر خطای NLOS ۵۰۰ متر و واریانس نویز ۱۰۰ متر مربع ۷۳
شکل ۴-۱۲. مقایسه روش پیشنهادی با سایر روشهای ارایه شده بر حسب تعداد ایستگاه‌های پایه، با حداکثر خطای NLOS ۶۰۰ متر و واریانس نویز ۱۰۰ متر مربع..... ۷۴
شکل ۴-۱۳. سطح ALE برای موقعیت‌های مختلفی که کاربر در محدوده ایستگاه‌های پایه می‌گیرد. الف، ب و پ برای روش‌های 2-Step-LS، LLOP (QO) و روش پیشنهادی TOA/AOA، با حداکثر خطای NLOS ۶۰۰ متر. واریانس خطای نویز در همه حالات ۱۰۰ متر مربع است..... ۷۶

فصل ۱ مقدمه

۱-۱- کلیات

امروزه با گسترش روزافزون شبکه‌های بی‌سیم و فراگیر بودن آن، بحث مکان‌یابی کاربر با استفاده از تجهیزات بی‌سیم بسیار مورد توجه قرار گرفته است. سیستم مکان‌یابی جهانی (GPS[1]) یکی از سیستم‌های تعیین موقعیت است که به خوبی توسعه پیدا کرده و به صورت تجاری در دسترس است. اگر چه GPS به طور گسترده در سیستم‌های تعیین موقعیت استفاده می شود اما این سیستم در محیط‌های شهری با ساختمان‌های بلند و همچنین در محیط‌های سرپوشیده دقت خوبی ندارد زیرا گیرنده GPS نیاز به دید مستقیم از حداقل سه ماهواره GPS دارد و در محیط‌های مذکور چنین امکانی به ندرت فراهم می‌شود.

از طرف دیگر شبکه‌های سلولی به خاطر پوشش گسترده‌ای که دارند و امکانات بالقوه‌ای که برای تعیین موقعیت در آنها وجود دارد، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. کمیسیون فدرال ارتباطات (FCC[2]) الزام می‌کند که ارایه‌دهندگان سرویس‌های بی‌سیم، باید بتوانند موقعیت کاربران شبکه‌های سلولی را با دقت ۱۲۵ متر، در ۶۷ درصد از موارد تخمین بزنند [۱]. تعیین موقعیت کاربران در شبکه‌های بی‌سیم، کاربردهای بسیاری از جمله در سرویس‌های اضطراری، سیستم حمل و نقل جاده‌ای، رهیابی [۲]، طراحی و بهینه‌سازی شبکه‌های سلولی و کمک به عمل دست به دست کردن[3] در شبکه‌های سلولی دارد. بنابراین استفاده از شبکه‌های سلولی، برای تعیین هر چه دقیق‌تر موقعیت کاربر، یک موضوع تحقیقی جذاب برای بسیاری از محققان و شرکت‌های مخابراتی است.

[1] Global Positioning System

[2] Federal Communicaion Commission

[3] Handover

۱-۲- بیان مساله و راهکارها

برای مکان‌یابی یک کاربر در شبکه سلولی، ابتدا باید فاصله آن تا چند ایستگاه پایه (حداقل سه‌تا) تخمین زده شود، متناظر با هر یک از این فاصله‌ها، یک دایره به دور ایستگاه پایه مربوطه تشکیل می‌شود که موقعیت کاربر بر روی آن قرار می‌گیرد و محل تقاطع این دایره‌ها موقعیت کاربر را مشخص می‌کند. یکی از مهمترین موضوعات در بحث مکان‌یابی در شبکه‌های سلولی، مساله خطای NLOS است که بواسطه اینکه سیگنال در اثر برخورد با موانع، فاصله بیشتری از مسیر واقعی بین کاربر و ایستگاه پایه می‌پیماید بوجود می‌آید. خطای بوجود آمده در بدست آوردن فاصله دقیق بین کاربر و ایستگاه پایه، باعث ایجاد خطای زیادی در تخمین موقعیت کاربر می‌شود. بنابراین، هدف پیدا کردن راهکارهایی برای مقابله با خطای NLOS است، که در این پایان‌نامه، دو راهکار ارایه می‌کنیم. یک راهکار، تشخیص ایستگاه‌های پایه با مسیر NLOS و حذف آنها از عملیات مکان‌یابی است. این راهکار برای محیط‌هایی کاربرد دارد که تعداد ایستگاه‌های پایه موثر در مکان‌یابی زیاد است و تعداد کمی از آنها خطای NLOS قابل توجهی دارند. در بعضی از محیط‌ها، ایستگاه‌های پایه‌ای که خطای NLOS ندارند یا خطای NLOS آنها کم باشد، به تعداد کافی وجود ندارد، بنابراین در راهکار دوم، به دنبال روشی هستیم که مسیر LOS را از روی فاصله‌های NLOS اندازه‌گیری شده، بازسازی کند، سپس با استفاده از فاصله‌های LOS بازسازی شده، موقعیت کاربر را تخمین می‌زنیم.

۱-۳- مروری بر روش‌های موجود و مشکلات آنها

برای مکان‌یابی در شبکه‌های بی‌سیم، روش‌های زیادی مبتنی بر زمان انتشار سیگنال (TOA[1] و TDOA[2])، زاویه ورود سیگنال (AOA[3]) ، میزان تضعیف قدرت سیگنال دریافتی و استفاده از بانک‌های اطلاعاتی حاوی مکان ایستگاه‌های پایه (BS[4]) در شبکه سلولی ارایه شده است.

در روش TOA، زمان انتشار سیگنال بین کاربر و ایستگاه پایه اندازه‌گیری می‌شود و با ضرب شدن در سرعت نور، فاصله بین کاربر و ایستگاه پایه بدست می‌آید. بنابراین فاصله بین کاربر و ایستگاه پایه iام از رابطه $r_{\mathrm{LOS}} = c\,t_i$ بدست می‌آید که c سرعت نور و t_i زمان انتشار سیگنال بین کاربر و iامین

[1] Time of Arrival
[2] Time Difference of Arrival
[3] Angle of Arrival
[4] Base Station

ایستگاه پایه به خط مستقیم (LOS[1]) است. اگر فاصله اندازه‌گیری شده عاری از نویز و بدون خطای (NLOS[2]) باشد، موقعیت کاربر بر روی یک دایره به مرکز ایستگاه پایه و شعاع r_{LOS} خواهد بود. در این حالت با استفاده از سه ایستگاه پایه می‌توان موقعیت کاربر را که حاصل تقاطع سه دایره است به طور یکتا تخمین زد.

در روش TDOA، به جای استفاده از زمان انتشار سیگنال بین کاربر و ایستگاه پایه، تفاوت زمان دریافت سیگنال ورودی از دو ایستگاه پایه به کاربر اندازه‌گیری شده و یک معادله هذلولی حاصل می‌شود که موقیت کاربر بر روی آن قرار می‌گیرد. با دو معادله هذلولی می‌توان موقعیت کاربر را به طور یکتا تخمین زد.

در روش‌های مذکور، زمان اندازه‌گیری شده در گیرنده کاربر، به دلیل کافی نبودن قدرت سیگنال دریافتی و همچنین عدم هم‌زمانی دقیق فرستنده و گیرنده همراه با خطا است. برای مثال در روش TOA، فاصله اندازه‌گیری شده بین کاربر و ایستگاه پایه iام به صورت $r_i = r_{\mathrm{LOS}} + n_i$ است، که n_i نویز اندازه‌گیری است. بنابراین در این حالت دایره‌هایی که موقعیت کاربر بر روی آنها قرار می‌گیرد در یک نقطه همدیگر را قطع نمی‌کنند و باید به دنبال راه حلی برای تعیین موقعیت از روی این اندازه‌گیری‌های همراه با خطا بود.

معادلات دایروی و هذلولی بدست آمده از روش‌های TOA و TDOA، غیرخطی هستند و نویز اندازه‌گیری اضافه شده به این معادلات نیز، منجر به پیچیده شدن تخمین موقعیت کاربر می‌شود. روش‌های بسیاری برای حل این معادلات غیرخطی در برگیرنده نویز ارایه شده است. در [۳] و [۴]، معادلات غیرخطی TDOA، با استفاده از بسط سری تیلور به صورت معادلات خطی بازنویسی شده‌اند. روش مبتنی بر سری تیلور می‌تواند به دقت مناسبی برسد اما پیچیدگی آن زیاد است، زیرا مبتنی بر تکرار بوده و در هر بار تکرار از تخمین کمترین مربعات (LS[3]) استفاده می‌کند که محاسبات زیادی دارد. ایراد دیگر روش‌های مبتنی بر سری تیلور، همگرایی آن است، یعنی برای همگرایی نیاز به یک حدس اولیه مناسب دارد. در [۵] و [۶]، روش درونیابی کروی (SI[4]) ارایه شده است که یک تقریب

[1] Line of Sight
[2] Non Line of Sight
[3] Least Square
[4] Spherical Interpolation

کمترین مربعات از روش بیشترین احتمال (ML[1])، برای مکان‌یابی است. این روش با استفاده از یک متغیر میانی که خود تابعی از مختصات کاربر است، معادلات غیرخطی TDOA را به معادلات خطی تبدیل می‌کند. ایراد این روش آنست که تنها از LS استفاده می‌کند و رابطه بین متغیر میانی و مختصات موقعیت را در نظر نمی‌گیرد. برای در نظر گرفتن این رابطه و بهبود دقت تخمین، الگوریتم دو مرحله‌ای LS (2-Step-LS)، برای روش‌های TDOA، TOA و Hybrid TDOA/AOA به ترتیب در [۷]، [۸] و [۹] ارایه شده است. در این روش ابتدا معادلات غیرخطی با فرض مستقل بودن متغیرها به معادلات خطی تبدیل می‌شوند، و با استفاده از تقریب LS یک تخمین اولیه از مختصات موقعیت زده می‌شود. در مرحله دوم، رابطه بین متغیرها با یک تقریب LS دیگر اعمال می‌شود و دقت تخمین را بهبود می‌بخشد. در [۱۰] و [۱۱]، یک دیدگاه هندسی متفاوت ارایه شده است که به جای معادلات مکانی دایروی که غیرخطی هستند از معادلات مکانی خطی استفاده می‌کند، که نیاز به خطی‌سازی ندارد و محاسبات آن ساده‌تر است.

بسیاری از روش‌های یاد شده در شرایطی که نویز اندازه‌گیری کوچک باشد با دقت بسیار خوبی موقعیت کاربر را تعیین می‌کنند. همچنین به کمک این روش‌ها می‌توان از تعداد ایستگاه‌های پایه بیشتری استفاده کرد و دقت موقعیت را افزایش داد. دقت این روش‌ها فقط در شرایطی قابل قبول است که خطای NLOS وجود نداشته و نویز اندازه‌گیری کوچک باشد. اما بر مبنای آزمایش‌های گسترده میدانی توسط شرکت نوکیا [۱۲]، نشان داده شده است که واریانس خطای NLOS بیشتر از واریانس خطای نویز است و موثرترین خطا در تخمین موقعیت کاربر، خطای NLOS است که به دلیل عدم وجود مسیر مستقیم بین ایستگاه پایه و کاربر بوجود می‌آید. بنابراین فاصله اندازه‌گیری شده در روش TOA، از رابطه زیر بدست می‌آید که علاوه بر خطای نویز، در برگیرنده خطای NLOS نیز هست.

$$r_i = r_{\mathrm{LOS},i} + n_{\mathrm{NLOS},i} + n_i$$

مثبت بودن خطای NLOS و اینکه بزرگتر از خطای نویز اندازه‌گیری است، موجب افزایش شعاع دایره‌ها می‌شود و در نتیجه موقعیت کاربر به جای اینکه بر روی دایره قرار بگیرد، داخل آن قرار می‌گیرد. به این ترتیب در هنگام استفاده از سه یا بیشتر از سه ایستگاه پایه، موقعیت کاربر در

[1] Maximum Likelihood