دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای سعید ورزندیان پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **یافتن محل نقاط دسترسی در شبکه WiFi** در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۹ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد کنترل پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر سجاد ازگلی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر امین رمضانی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمد صنیعی آباده	استادیار	
استاد ناظر	دکتر بابك نجار اعرابی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمد صنیعی آباده	استادیار	

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.

«اینجانب سعید ورزندیان دانشجوی رشته.مهندسی برق گرایش نظریه کنترل ورودی سال تحصیلی ۱۳۹۰ مقطع کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی برق کامپیوتر متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:

تاریخ: ۹۲/۱۱/۲۶

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 مهندسی برق گرایش نظریه کنترل است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر سجاد ازگلی و مشاوره جناب آقای دکتر امین رمضانی 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 را به 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 سعید ورزندیان دانشجوی رشته مهندسی برق گرایش نظریه کنترل مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: سعید ورزندیان

تاریخ و امضا: ۹۲/۱۱/۲۶

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامهٔ دورهٔ کارشناسی ارشد مهندسی برق – کنترل

یافتن محل نقاط دسترسی در شبکهٔ WiFi

سعید ورزندیان

استاد راهنما:

دکتر سجاد ازگلی

استاد مشاور:

دکتر امین رمضانی

زمستان ۱۳۹۲

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

سپاسگزاری

نگارنده بر خود لازم می‌داند تا از همهٔ افرادی که در طول انجام این پژوهش به روش‌های مختلف وی را یاری کرده‌اند سپاسگزاری کند. دلگرمی‌های ارزشمند خانواده به‌ویژه پدر و مادر، راهنمائی‌های مؤثر جناب آقای دکتر ازگلی و صرف زمان قابل توجه توسط ایشان برای پیشرفت این پژوهش، نظرات تکمیلی جناب آقای دکتر رمضانی، ایده‌های کارگشای دوست و همراه گرامی، جناب آقای مهندس ذاکری در گام‌های آغازین این پژوهش، مشاوره‌های دوستان خوب، آقایان مهندس حسینی و مهندس مهردادیان در زمینهٔ رفع نگرانی‌های پیاده‌سازی‌های عملی، باریک‌بینی و نکته‌سنجی دوستان، جناب آقای مهندس خیری و سرکار خانم مهندس محمدحسنی در رفع مشکلات فنی و نگارشی این گزارش، همراهی و همیاری دوستان عزیز در آزمایشگاه سیستم‌های کنترل پیشرفته، و مجموعهٔ گروه کنترل همگی دشواری‌های راه را بر نگارنده آسان نمود و امید است همگی در لحظه لحظهٔ زندگی، تحت عنایات حضرت حق ایامی پربار و به شادکامی و پیروزی پیش رو داشته باشند.

سعید ورزندیان
آذرماه ۱۳۹۲

چکیده

آگاهی از محل نصب نقطه‌های دسترسی[1] شبکه‌های محلی بی‌سیم[2] (WLAN) در یک ساختمان بزرگ و یا محیط‌های وسیع برای مدیران شبکه بسیار حائز اهمیت است. آگاهی یافتن از موقعیت نقطه‌های دسترسی در شبکه (که می‌تواند به عنوان یک گام ابتدایی برای اجرای الگوریتم‌های مکان‌یابی افراد/اجسام متحرک در نظر گرفته شود)، شناسایی نقاطی که بدون هماهنگی وارد شبکه شده‌اند و شناسایی نقاطی با آنتن‌دهی و کیفیت سیگنال مطلوب و نامطلوب از جمله کاربردهای دانستن پارامتر محل نقاط دسترسی است. در این پژوهش هدف آن است که کاربر یا ربات جستجو کنندهٔ نقطهٔ دسترسی، محیط پیرامون خود را به طور مؤثری جستجو کند و به جای یک جستجوی تصادفی، روشی نظام‌مند برای یافتن هدف ارائه شود.

روش ارائه شده از پارامتر شدت سیگنال دریافت شده[3] (RSS) از منبع انتشار سیگنال و همچنین از موقعیت نسبی نقاط اندازه‌گیری شدت سیگنال برای یافتن موقعیت نقطهٔ دسترسی استفاده می‌کند. در روش پیشنهادی از این واقعیت استفاده می‌شود که بیشترین شدت سیگنال دریافتی از منبع سیگنال، در محل منبع سیگنال دیده می‌شود. بنابراین می‌توان مسألهٔ «یافتن موقعیت نقطهٔ دسترسی در محیط» را یک مسألهٔ «یافتن مختصات بیشینهٔ مطلق در صفحه» در نظر گرفت.

روش پیشنهادی از دو جنبه حائز اهمیت است. این روش به مدل انتشار سیگنال در محیط وابسته نیست و همچنین هیچ گونه وابستگی به تعداد نقاط دسترسی موجود در محیط ندارد.

محاسبات این روش بسیار ساده است و نیاز به پردازشگر قوی ندارد. محاسبات تنها شامل عملیات منطقی، جمع، تفریق و عملیات ماتریسی هستند. این روش نیاز به سخت افزار خاصی ندارد و می‌توان آن را بدون صرف هزینه خاصی بر روی رایانهٔ همراه[4]، رایانهٔ لوحی[5] و تلفن همراه و یک کارت شبکهٔ بی‌سیم که امروزه همه جا در دسترس هستند پیاده کرد و در قالب یک نرم افزار همیشه همراه خود داشت.

کلید واژه: موقعیت‌یابی بی‌سیم[6] ، تخمین موقعیت[7]، مکان‌یابی[8]، نقطهٔ دسترسی

---

1 Access points
2 Wireless Local Area Network
3 Received Signal Strength
4 Laptop
5 Tablet PC
6 Wireless positioning
7 Location estimation
8 Localization

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... د
فهرست جدول‌ها ..... ه
فهرست شکل‌ها ..... و

مقدمه ۱

فصل ۱- الگوریتم‌ها و سامانه‌های تعیین موقعیت ۳
۱-۱- مقدمه ۳
۱-۲- مدل‌سازی کانال انتشار امواج رادیوئی در محیط‌های داخل ساختمان ۴
۱-۳- مثلث‌بندی ۶
۱-۳-۱- روش‌های اندازه‌گیری جوانب ۷
۱-۳-۱-۱- زمان رسیدن (TOA) ۷
۱-۳-۱-۲- اختلاف زمان رسیدن (TDOA) ۸
۱-۳-۱-۳- روش مبتنی بر RSS (مبتنی بر تضعیف سیگنال) ۹
۱-۳-۱-۴- زمان انتشار رفت و برگشت (RTOF) ۱۰
۱-۳-۱-۵- روش فاز سیگنال دریافتی ۱۱
۱-۳-۲- روش‌های اندازه‌گیری زوایا (تخمین AOA) ۱۲
۱-۴- کاوش محل ۱۳
۱-۴-۱- روش‌های احتمالاتی ۱۴
۱-۴-۲- نزدیک‌ترین k همسایگی (kNN) ۱۵
۱-۴-۳- شبکه‌های عصبی ۱۵
۱-۴-۴- ماشین بردار پشتیبانی (SVM) ۱۶
۱-۴-۵- کوچک‌ترین چندضلعی M رأسی (SMP) ۱۶
۱-۵- الگوریتم‌های مبتنی بر مجاورت ۱۶
۱-۶- معیارهای کارآیی ۱۷
۱-۶-۱- دقت مکان‌یابی ۱۷
۱-۶-۲- دقت عملکرد ۱۷
۱-۶-۳- پیچیدگی ۱۸
۱-۶-۴- مقاوم بودن ۱۸
۱-۶-۵- مقیاس‌پذیری ۱۹
۱-۶-۶- هزینه ۱۹
۱-۷- مروری بر زیرساخت‌های سامانه‌های مکان‌یابی ۱۹
۱-۷-۱- سامانه‌های مبتنی بر GPS ۲۰

۱-۷-۲- RFID ۲۱
۱-۷-۳- سامانه‌های سلولی ۲۳
۱-۷-۴- UWB ۲۳
۱-۷-۵- WLAN(IEEE 802.11) ۲۴
۱-۷-۶- Bluetooth(IEEE 802.15) ۲۷
۱-۷-۷- سایر سامانه‌ها ۲۸
۱-۷-۷-۱- راه‌حل‌های اختصاصی با استفاده از UHF ۲۸
۱-۷-۷-۲- مکان‌یابی با استفاده از چند واسط ۲۸
۱-۷-۷-۳- مکان‌یابی با استفاده از سامانه تلفن بی‌سیم ۳۰
۱-۷-۷-۴- مکان‌یابی با استفاده از روش‌های شبکه حسگر بی‌سیم ۳۰

فصل ۲- مکان‌یابی داخل ساختمان و سامانه‌های مبتنی بر WiFi ۳۲

۲-۱- ملزومات روش‌های مختلف مکان‌یابی در محیط‌های داخل ساختمان ۳۲
۲-۲- تغییرات قدرت سیگنال WiFi در محیط‌های داخل ساختمان ۳۵
۲-۳- در نظر گرفتن موانع ۳۵
۲-۴- ایجاد نقشه‌های اثر انگشت دقیق در شبکهٔ WiFi ۳۶
۲-۵- تعیین موقعیت در ربات‌ها ۳۷
۲-۶- بهبود تخمین‌های مبتنی بر RSS ۳۷
۲-۷- مکان‌یابی با استفاده از آنتن‌های هوشمند ۳۹
۲-۸- روش بیشترین شباهت ۳۹
۲-۹- اتصال سامانه‌های مکان‌یابی مختلف به یکدیگر ۴۱
۲-۱۰- ترکیب مدل‌های دینامیکی با سامانه‌های WiFi ۴۲
۲-۱۱- مکان‌یابی با نقاط دسترسی مجهول ۴۲
۲-۱۲- جمع بندی ۴۴

فصل ۳- مکان‌یابی نقطهٔ دسترسی: رویکرد مبتنی بر مدل ۴۵

۳-۱- رویکرد مبتنی بر مدل ۴۶
۳-۲- جمع‌بندی ۵۹

فصل ۴- مکان‌یابی نقطهٔ دسترسی: رویکرد ناوابسته به مدل ۶۰

۴-۱- مسألهٔ یافتن مختصات بیشینهٔ محلی ۶۱
۴-۱-۱- ملاک رسیدن به نقطهٔ بیشینهٔ محلی ۶۱
۴-۱-۲- نقاط اندازه‌گیری پیشین و برخورد با موانع ۶۱
۴-۱-۳- تصحیح حرکت ۶۲
۴-۱-۴- معرفی روال‌های الگوریتم ۶۲
۴-۲- جمع‌بندی ۶۵

فصل ۵- پیاده‌سازی ۶۷

فصل ۶- جمع‌بندی و پیشنهادها ۷۸
۶-۱- جمع‌بندی ۷۸
۶-۲- چالش‌ها ۷۹
۶-۳- پیشنهادها ۸۰
۶-۴- دستاوردها ۸۱
فهرست مراجع ۸۲
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۸۷
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۹۲

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
انحراف معیار	σ
تأخیر فاز	φ_i
تابع هزینه	$F(x)$
تابع همبستگی مشترک دو فرآیند x_i و x_j	$\hat{R}_{x_i,x_j}(\tau)$
توان دریافت شده	P_{RX}
توان ارسال شده	P_{TX}
توان اتلاف مسیر	η
سرعت نور	c
شدت سیگنال دریافت شده	RSS
ضریب هم‌پوشانی میان دو فرآیند با توزیع گوسی	$O(\cdot)$
فاصله	d
متغیر تصادفی گوسی	N
مشابهت	S

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: چیدمان‌های مختلف سامانه‌های مکان‌یابی ۴
جدول ۱-۲: نسخه‌های مختلف فناوری WiFi [۴۰] ۲۴
جدول ۱-۳: برخی از سامانه‌ها/راه‌حل‌های موقعیت‌یابی بی‌سیم برای محیط‌های داخل ساختمان [۲] ... ۳۱
جدول ۲-۱: مقایسه روش‌های مختلف مکان‌یابی در سامانه‌های مبتنی بر WiFi [۶۰] ۳۲
جدول ۳-۱: ضرایب به دست آمده برای چند جمله‌ای معادلهٔ (۳-۱) ۴۹
جدول ۵-۱: نتایج آزمون الگوریتم پیشنهادی در محیط‌های مختلف ۷۷
جدول ۶-۱: کارآیی روش پیشنهاد شده ۷۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: اندازه‌گیری تجربی RSS برای اختلاف فاصله میان دو گره [۸] ۵
شکل ۱-۲: مکان‌یابی بر مبنای سنجش TOA/RTOF ۷
شکل ۱-۳: مکان‌یابی بر مبنای سنجش TDOA ۹
شکل ۱-۴: مکان‌یابی بر مبنای RSS ۱۰
شکل ۱-۵: مکان‌یابی بر مبنای فاز سیگنال ۱۱
شکل ۱-۶: مکان‌یابی بر مبنای سنجش AOA ۱۲
شکل ۱-۷: طرح کلی سامانه‌های موقعیت‌یابی بی‌سیم [۲] ۲۰
شکل ۲-۱: تخمین موقعیت حلقوی [۶۰] ۳۴
شکل ۲-۲: تخمین موقعیت هذلولوی [۶۰] ۳۴
شکل ۲-۳: چگونگی تشکیل یک نقشهٔ اثر انگشت با در نظر گرفتن وجود موانع [۶۹] ۳۶
شکل ۲-۴: مثالی از محاسبات روش بیشترین شباهت [۲۵] ۴۰
شکل ۲-۵: نمایش مسیرهای پیش‌بینی شده با WiFi و فیلتر کالمن [۷۳] ۴۳
شکل ۳-۱: یافتن موقعیت نقطهٔ هدف با یک روش سادهٔ اندازه‌گیری جوانب ۴۷
شکل ۳-۲: نمودار میانگین RSS به ازای فاصله از منبع سیگنال برای نقطهٔ دسترسی HUAWEI BM632w با استفاده از کارت شبکهٔ TP-LINK WN7200ND ۴۸
شکل ۳-۳: مدل انتشار سیگنال چند جمله‌ای مرتبهٔ هفت ۴۹
شکل ۳-۴: امکان وجود چندین فاصلهٔ متناظر به ازای یک RSS مشخص در مدل غیر یکنوای انتشار سیگنال ۵۰
شکل ۳-۵: احتمال یافتن چند نقطهٔ هدف هنگام استفاده از مدل غیر یکنوای انتشار سیگنال ۵۰
شکل ۳-۶: اندازه‌گیری میزان RSS در روش مثلث‌بندی ۵۱
شکل ۳-۷: حذف سه‌تائی‌های غیر متقاطع (راست) از میان نامزدهای موقعیت ۵۱
شکل ۳-۸: تأثیر خطای اندازه‌گیری بر عملیات مثلث‌بندی – ایجاد ناحیهٔ تقاطع به جای نقطهٔ تقاطع .. ۵۲
شکل ۳-۹: خطای اندازه‌گیری و نادیده گرفتن فاصلهٔ واقعی متناظر با RSS ۵۳
شکل ۳-۱۰: در نظر گرفتن کران خطا هنگام یافتن فاصله‌های متناظر ۵۳
شکل ۳-۱۱: موقعیت‌یابی نقطهٔ دسترسی با چهار نقطهٔ اندازه‌گیری ۵۵
شکل ۳-۱۲: موقعیت‌یابی نقطهٔ دسترسی با چهار نقطهٔ اندازه‌گیری (عدم موفقیت) ۵۶
شکل ۳-۱۳: موقعیت‌یابی نقطهٔ دسترسی با پنج نقطهٔ اندازه‌گیری ۵۷
شکل ۳-۱۴: موقعیت‌یابی نقطهٔ دسترسی با پنج نقطهٔ اندازه‌گیری (عدم موفقیت) ۵۷
شکل ۳-۱۵: تغییر RSS در یک نقطهٔ ثابت در طول زمان ناشی از اثر واحد کنترل خودکار بهره ۵۸
شکل ۳-۱۶: مقادیر اندازه گیری شده در آزمون راهرو برای یافتن مدل انتشار سیگنال ۵۹

شکل ۴-۱: توزیع دامنهٔ میدان انتشار یافته از یک نقطهٔ دسترسی فرضی و در یک محیط فرضی ۶۰
شکل ۴-۲: روندنمای الگوریتم پیشنهادی ۶۶
شکل ۵-۱: محیط آزمون نخست (راهرو) ۶۷
شکل ۵-۲: آزمون نخست راهرو - شروع از فاصلهٔ ۱۰ متری نقطهٔ دسترسی ۶۸
شکل ۵-۳: آزمون دوم راهرو - شروع از فاصلهٔ ۱۰ متری نقطهٔ دسترسی ۶۹
شکل ۵-۴: آزمون سوم راهرو - شروع از فاصلهٔ ۱۰ متری نقطهٔ دسترسی ۶۹
شکل ۵-۵: آزمون چهارم راهرو - نقطهٔ شروع از فاصلهٔ ۲۰ متری نقطهٔ دسترسی ۷۰
شکل ۵-۶: آزمون پنجم راهرو - نقطهٔ شروع از فاصلهٔ ۲۰ متری نقطهٔ دسترسی ۷۰
شکل ۵-۷: آزمون ششم راهرو - نقطهٔ شروع از فاصلهٔ ۲۰ متری نقطهٔ دسترسی ۷۱
شکل ۵-۸: آزمون هفتم راهرو - نقطهٔ شروع از فاصلهٔ ۳۰ متری نقطهٔ دسترسی ۷۲
شکل ۵-۹: پیاده‌سازی الگوریتم در نرم‌افزار MATLAB و ارزیابی عملی آن ۷۲
شکل ۵-۱۰: نقشه محیط دوم – بخشی از یک ساختمان ۷۳
شکل ۵-۱۱: آزمون نخست محیط دوم ۷۳
شکل ۵-۱۲: آزمون دوم محیط دوم ۷۴
شکل ۵-۱۳: نقشه محیط سوم –فضای آزاد با یک محیط بسته در مرکز ۷۵
شکل ۵-۱۴: آزمون نخست محیط سوم - شروع از نقطهٔ ۱ ..... ۷۵
شکل ۵-۱۵: آزمون دوم محیط سوم - شروع از نقطهٔ ۲ ..... ۷۶

مقدمه

سامانه‌های مکان‌یابی کاربردهای وسیعی در زندگی امروز بشر دارند. بخش مهمی از سامانه‌های مکان‌یابی بر مبنای فناوری‌های ارتباطی بی‌سیم توسعه یافته‌اند. در فناوری‌های بی‌سیم همواره سخت‌افزارهایی برای ارسال و دریافت سیگنال‌های ارتباطی وجود دارد. در شبکه‌های بی‌سیمی که تعداد کاربران در آن‌ها قابل توجه است سخت‌افزاری به نام نقطهٔ دسترسی[1] وجود دارد که وظیفهٔ برقراری ارتباط با کاربران را بر عهده می‌گیرد. در این میان اگر کاربران شبکه بخواهند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند این ارتباط از طریق نقطهٔ دسترسی برقرار می‌شود. در بسیاری از سامانه‌های مکان‌یابی آگاهی از موقعیت فیزیکی نقطهٔ دسترسی برای شروع عملیات مکان‌یابی امری ضروری است و در بسیاری از اوقات دانسته فرض می‌شود. دانسته فرض کردن این پارامتر کار را برای تعمیم روش‌های مکان‌یابی به محیط‌های مختلف دشوار می‌کند. آگاهی از موقعیت نقاط دسترسی مزیت‌های بسیاری دارد. آگاهی داشتن از محل نصب نقاط دسترسی شبکه‌های محلی بی‌سیم[2] (WLAN) در یک ساختمان بزرگ و یا محیط‌های وسیع برای مدیران شبکه اهمیت بسیاری دارد. آگاهی از موقعیت نقاط دسترسی در شبکه (که می‌تواند به عنوان یک گام ابتدایی برای اجرای الگوریتم‌های مکان‌یابی افراد/اجسام متحرک در نظر گرفته شود)، شناسایی نقاطی که بدون هماهنگی وارد شبکه شده‌اند و شناسایی نقاطی با آنتن‌دهی و کیفیت سیگنال مطلوب و نامطلوب از جمله کاربردهای دانستن پارامتر محل نقاط دسترسی است. در این پژوهش هدف آن است که کاربر یا ربات جستجو کنندهٔ نقطهٔ دسترسی، محیط پیرامون خود را به طور مؤثری جستجو کند و به جای یک جستجوی تصادفی، روشی نظام‌مند برای یافتن نقطهٔ دسترسی ارائه شود.

موفقیت و استفادهٔ گستردهٔ کاربران از روش مکان‌یابی پیشنهادی به هزینهٔ تمام‌شده و دسترس‌پذیری آن وابسته است. بدین منظور روش مکان‌یابی پیشنهادی را بر مبنای استاندارد IEEE 802.11 (معروف به WiFi) که استانداردی پذیرفته شده و فراگیر است توسعه می‌دهیم. از طرف دیگر می‌خواهیم روش ارائه شده در محیط‌های مختلف قابل استفاده باشد. کلی‌ترین دسته‌بندی سامانه‌های مکان‌یابی تقسیم آن‌ها به دو دستهٔ داخل ساختمان[3] و خارج از ساختمان[4] است. سامانه‌های خارج از ساختمان در بیشتر موارد از مدل‌های انتشار سیگنال استفاده می‌کنند در حالی که برای سامانه‌های داخل ساختمان دشواری‌ها و پیچیدگی‌های بیشتری وجود دارد و روش‌های متنوعی نیز برای آن ارائه شده است. بنابراین اگر روش ارائه شده در داخل ساختمان پاسخ مطلوبی داشته باشد، برای پاسخ آن در خارج از ساختمان نگرانی وجود نخواهد داشت.

---

[1] Access point
[2] Wireless Local Area Network
[3] Indoor positioning system
[4] Outdoor positioning system

در فصل نخست مقدمات و روش‌های متداول تعیین موقعیت معرفی می‌شوند. همچنین معیارهای کارآیی سامانه‌های مکان‌یابی معرفی شده و سامانه‌های مختلف بررسی می‌شوند. از آنجا که روش ارائه شده بر مبنای WiFi است، فصل دوم به سامانه‌های مبتنی بر WiFi اختصاص یافته است. در فصل‌های سوم و چهارم به دو رویکرد برای حل مسألهٔ یافتن موقعیت نقطهٔ دسترسی در شبکهٔ WiFi اشاره شده و یک الگوریتم برای حل مسأله ارائه می‌شود. فصل پنجم آزمون‌های عملی الگوریتم پیشنهادی را بررسی کرده و فصل آخر به جمع‌بندی و ارائهٔ چند پیشنهاد می‌پردازد.

فصل ۱– الگوریتم‌ها و سامانه‌های تعیین موقعیت

۱–۱– مقدمه

فرآیند تعیین موقعیت را، اگر از فناوری بی‌سیم برای تعیین موقعیت استفاده شود، location sensing، geolocation، position location یا radiolocation می‌نامند. تعیین موقعیت کاربردهای مختلفی دارد که هر کدام نیازمند اطلاعات مختلفی از موقعیت و محیط است. موقعیت به شیوه‌های مختلفی بیان می‌شود. اصلی‌ترین موقعیت‌ها، موقعیت‌های فیزیکی، نمادین، مطلق و نسبی هستند [۱].

- **موقعیت‌های فیزیکی** در قالب مختصات بیان می‌شوند و به صورت نقاطی در یک نقشهٔ دو یا سه بعدی نمایش داده می‌شوند.
- **موقعیت نمادین** به زبان طبیعی[1] بیان می‌شود؛ مانند داخل دفتر کار، در اتاق خواب طبقه سوم.
- **موقعیت مطلق** یک مختصات مرجع برای تمامی اشیاء در نظر می‌گیرد.
- **موقعیت نسبی** بستگی به چارچوب مرجع خود دارد. اطلاعات موقعیت نسبی معمولاً بر مبنای نزدیکی به یک نقطهٔ مرجع و یا ایستگاه پایه[2] است.

سامانه‌های مکان‌یابی بی‌سیم داخل ساختمان را می‌توان بر دو مبنا دسته‌بندی نمود [۲]:

۱) **الگوریتم موقعیت‌یابی:** به این معنا که از چه روشی برای تعیین موقعیت استفاده می‌کنند و از چه نوع اندازه‌گیری‌هایی از سیگنال از قبیل زمان پرواز[3] (TOF)، زاویه و قدرت سیگنال استفاده می‌کنند.

۲) **لایهٔ فیزیکی یا زیرساخت حسگر مکان‌یابی**[4]: به این معنا که از کدام فناوری برای برقراری ارتباط بین تجهیزات ثابت و متحرک استفاده می‌شود. به طور کلی اندازه‌گیری شامل ارسال و دریافت سیگنال بین اجزای سخت‌افزاری سامانه است. یک سامانهٔ مکان‌یابی بی‌سیم درون‌ساختمانی دست‌کم دو سخت‌افزار مجزا دارد: یک «فرستندهٔ سیگنال» و یک «واحد سنجش». واحد سنجش بخش اعظم هوشمندی سامانه را تعیین می‌کند.

برای سامانه‌های تعیین موقعیت چهار نوع چیدمان[5] وجود دارد [۳]. نخستین چیدمان، سامانهٔ «تعیین موقعیت از راه دور» است که در آن فرستنده به صورت متحرک است و تعدادی واحد سنجش به صورت ثابت وجود دارند که سیگنال فرستنده را دریافت می‌کنند. اطلاعات دریافت شده از تمامی واحدهای

---

[1] Natural language
[2] Reference point or base station
[3] Time of flight
[4] Location sensor infrastructure
[5] Topology

سنجش جمع‌آوری شده و در واحد اصلی[1] پردازش می‌شود. ساختار دوم «خودمکان‌یابی[2]» نام دارد که در آن واحد سنجش متحرک است. این واحد سیگنال‌های فرستنده‌های ثابت را که در موقعیت‌های مشخص قرار دارند دریافت می‌کند و این توانایی را دارد که موقعیت خود را با توجه به سیگنال‌های اندازه‌گیری شده تعیین کند. در صورتی که یک پیوند دادهٔ بی‌سیم[3] در سامانهٔ مکان‌یابی وجود داشته باشد، این امکان وجود دارد که نتایج سنجش از واحد سنجش خودمکان‌یاب به مکان دیگری منتقل گردد که در این صورت ساختار سوم به وجود می‌آید و به این ساختار «مکان‌یابی از راه دور غیر مستقیم[4]» گفته می‌شود. اگر نتایج سنجش به وسیله یک پیوند دادهٔ بی‌سیم از یک واحد تعیین موقعیت دوردست به یک واحد متحرک منتقل شود، ساختار چهارم به وجود می‌آید که به آن «خودمکان‌یابی غیر مستقیم» گفته می‌شود. جدول ۱-۱ به طور خلاصه چیدمان‌های مختلف سامانه‌های مکان‌یابی را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱: چیدمان‌های مختلف سامانه‌های مکان‌یابی

	فرستنده	واحد سنجش	محل پردازش و استفاده از اطلاعات
تعیین موقعیت از راه دور	متحرک	ثابت	واحد اصلی
خودمکان‌یابی	ثابت	متحرک	فرستنده
مکان‌یابی از راه دور غیر مستقیم	ثابت	متحرک	انتقال از واحد متحرک به واحد دوردست
خودمکان‌یابی غیر مستقیم	ثابت	متحرک	انتقال از واحد دوردست به واحد متحرک

۱-۲- مدل‌سازی کانال انتشار امواج رادیوئی در محیط‌های داخل ساختمان

یکی از ساده‌ترین و در دسترس‌ترین راه‌های مکان‌یابی، استفاده از قدرت سیگنال دریافتی[5] (RSS) است. دو رویکرد کلی در استفاده از RSS برای مکان‌یابی وجود دارد. رویکرد نخست استفاده از مدل کانال برای ایجاد ارتباطی بین RSS و فاصلهٔ میان دو گره است [۴]. رویکرد دوم استفاده از RSS در روش‌های مبتنی بر اثر انگشت[6] است [۴] و [۵]. این روش‌ها شامل ساختن یک نقشهٔ رادیوئی[7] با مقادیر RSS به دست آمده از گره‌های مختلف در مکان‌های مختلف است. از این نقشه در مرحلهٔ مکان‌یابی برای یافتن نزدیک‌ترین نقطه به نقطهٔ نامعلوم در فضای RSS استفاده می‌شود.

تاکنون مدل‌های کانال مختلفی برای محیط‌های داخل و خارج ساختمان[8] ارائه شده است [۶]. معروف‌ترین و ساده‌ترین مدل کانال برای مکان‌یابی مبتنی بر RSS، مدل اتلاف مسیر سایه‌گستر lognormal[9] است [۷]، اما مدل‌های دیگر (از قبیل مدل محو شدگی ناکاگامی[10]، مدل محو شدگی

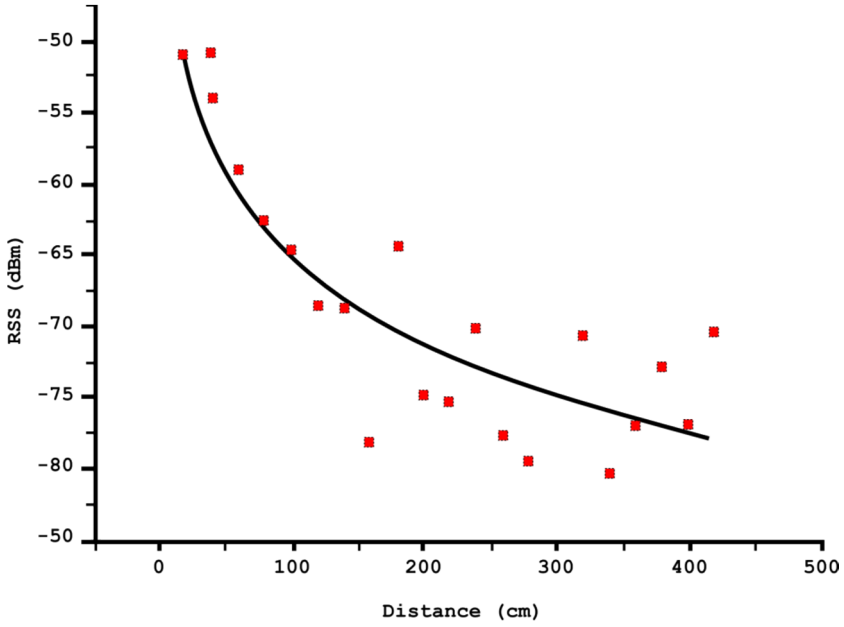
[1] Master station
[2] Self-positioning
[3] Wireless data link
[4] Indirect remote positioning
[5] Received signal strength
[6] Finger-printing
[7] Radio map
[8] Indoor and outdoor environments
[9] Lognormal shadowing path loss model
[10] Nakagami fading model

رایلی[1] محو شدگی Ricean[2] و ...) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر مدل سیگنال به ما امکان می‌دهد تا بتوانیم فاصلهٔ میان گره‌ها را با داشتن قدرت سیگنال دریافتی تخمین بزنیم. مثلاً ارتباط میان قدرت دریافتی P_{RX} و فاصلهٔ میان گره متحرک و گره ثابت برای مدل کانال lognormal به صورت زیر است:

$$P_{RX}(dBm) = P_{TX}(dBm) + A + 10\eta \log\frac{d}{d_0} + N(0,\sigma) \qquad (۱-۱)$$

در معادلهٔ (۱-۱) P_{TX} توان ارسال شده، A یک جملهٔ ثابت، d فاصلهٔ میان گره ثابت و گره متحرک، η توان اتلاف مسیر و N یک متغیر تصادفی گوسی با میانگین صفر و انحراف معیار σ هستند. جملهٔ ثابت A به بهرهٔ آنتن‌های گره‌های ثابت و متحرک و همچنین به اتلاف توان برای یک فاصلهٔ مرجع d_0 بستگی دارد. از سوی دیگر توان اتلاف مسیر η معمولاً بسته به محیط، عددی میان ۲ و ۴ است. مقادیر A و η باید به صورت تجربی تعیین شوند.

شکل ۱-۱ یک نمونه از مدل کانال را نشان می‌دهد. نقطه‌ها نشانگر مقادیر اندازه‌گیری شدهٔ قدرت سیگنال‌های دریافتی هر گره از سایر گره‌ها، به ازای فواصل مختلف میان آن‌ها هستند. منحنی شکل ۱-۱، منحنی برازش شده[3] برای این داده‌ها است. در واقع این منحنی، تخمینی از مدل کانال را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: اندازه‌گیری تجربی RSS برای اختلاف فاصله میان دو گره [۸]

قدرت سیگنال دریافتی به صورت خطی با فاصلهٔ میان گره‌ها ارتباط ندارد. به عنوان مثال، مدل کانال lognormal، به صورت لگاریتمی با فاصله رابطه دارد. بنابراین داشتن یک مقدار خطای معین در

[1] Rayleigh fading
[2] Ricean fading
[3] Fitting curve