

دانشكده مهندسي برق

بهبود دقت موقعیت‌یابی مبتني بر RSS با استفاده از الگوریتم‌های يادگيري گروهي

پايان‌نامه براي دريافت درجه کارشناسی‌ارشد

در رشته مهندسي برق گرايش کنترل

نام دانشجو

حمید عرب سرخی

استاد راهنما:

دكتر سعید عباداللهی

خردادماه 1403



دانشكده مهندسي برق

بهبود دقت موقعیت‌یابی مبتني بر RSS با استفاده از الگوریتم‌های يادگيري گروهي

پايان‌نامه براي دريافت درجه کارشناسی‌ارشد

در رشته مهندسي برق گرايش کنترل

نام دانشجو

حمید عرب سرخی

استاد راهنما:

دكتر سعید عباداللهی

خردادماه 1403



تأييديه‌ی هیئت داوران جلسه‌ي دفاع از پايان‌نامه/رساله

نام دانشكده:

نام دانشجو:

عنوان پايان‌نامه يا رساله:

تاريخ دفاع:

رشته:

گرايش:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| رديف | سمت | نام و نام خانوادگي | مرتبه دانشگاهي | دانشگاه يا مؤسسه | امضا |
| 1 | استاد راهنما |  |  |  |  |
| 3 | استاد مشاور |  |  |  |  |
| 5 | استاد مدعو خارجي |  |  |  |  |
| 6 | استاد مدعو خارجي |  |  |  |  |

تأييديه‌ي صحت و اصالت نتايج

**باسمه‌تعالی**

اينجانب حمید عرب سرخی به شماره دانشجويي 400616148 دانشجوي رشته مهندسی برق گرایش کنترل مقطع تحصيلي کارشناسی‌ارشد تأييد مي‌نمايم كه كليه‌ی نتايج اين پايان‌نامه/رساله حاصل كار اينجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار ديگران را با ذكر كامل مشخصات منبع ذكر كرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخيص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاكم (قانون حمايت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تكثير كتب و نشريات و آثار صوتي، ضوابط و مقررات آموزشي، پژوهشي و انضباطي...) با اينجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مكتسب و تشخيص و تعيين تخلف و مجازات را از خويش سلب مي‌نمايم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگويي به اشخاص اعم از حقيقي و حقوقي و مراجع ذي‌صلاح (اعم از اداري و قضايي) به عهدة اينجانب خواهد بود و دانشگاه هيچ‌گونه مسئولیتی دراین‌خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگي:

امضا و تاريخ:

مجوز بهره‌برداري از پايان‌نامه

بهره‌برداري از اين پايان‌نامه در چهارچوب مقررات كتابخانه و باتوجه‌به محدوديتي كه توسط استاد راهنما به شرح زير تعيين مي‌شود، بلامانع است:

🞎 بهره‌برداري از اين پايان‌نامه/ رساله براي همگان بلامانع است.

🞎 بهره‌برداري از اين پايان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

🞎 بهره‌برداري از اين پايان‌نامه/ رساله تا تاريخ .................................... ممنوع است.

نام استاد راهنما: دکتر سعید عباداللهی

تاريخ:

امضا:

تشكر و قدرداني: (اختياري)

..........................................................................................................

چکیده

واژه‌های کلیدی:

فهرست مطالب

عنوان شماره صفحه

[فصل 1: مقدمه 1](#_Toc155648597)

[1˗1˗ پس‌زمینه 2](#_Toc155648598)

[1˗2˗ مروری بر کارهای انجام شده 3](#_Toc155648599)

[1˗3˗ بیان مسئله 5](#_Toc155648600)

[1˗4˗ اهداف و دستاوردهای پژوهش 6](#_Toc155648601)

[1˗5˗ مروری بر فصل‌های پایان‌نامه 7](#_Toc155648602)

[فصل 2: مفاهیم و تعاریف 8](#_Toc155648603)

[2˗1˗ مقدمه 9](#_Toc155648604)

[2˗2˗ مفاهیم و تعاریف موقعیت‌یابی 9](#_Toc155648605)

[2˗2˗1˗ خدمات مبتنی بر مکان 9](#_Toc155648606)

[2˗2˗2˗ سیستم تعیین موقعیت داخلی 9](#_Toc155648607)

[2˗2˗3˗ موقعیت و مکان 10](#_Toc155648608)

[2˗2˗4˗ نقطه دسترسی 10](#_Toc155648609)

[2˗3˗ انواع داده در موقعیت‌یابی 10](#_Toc155648610)

[2˗3˗2˗ قدرت سیگنال دریافتی (RSS) 11](#_Toc155648611)

[2˗3˗3˗ زمان ورود (ToA) 12](#_Toc155648612)

[2˗3˗4˗ زمان تفاضلی رسیدن (TDoA) 13](#_Toc155648613)

[2˗3˗5˗ زاویه رسیدن (AoA) و زاویه تفاضلی رسیدن (ADoA) 13](#_Toc155648614)

[2˗3˗6˗ فاز رسیدن (PoA) و فاز تفاضلی رسیدن (PDoA) 14](#_Toc155648615)

[2˗3˗7˗ اطلاعات حالت کانال (CSI) 14](#_Toc155648616)

[2˗3˗8˗ قدرت و کیفیت سیگنال مرجع دریافتی (RSRP و RSRQ) 15](#_Toc155648617)

[2˗4˗ فناوری‌های موقعیت‌یابی مبتنی بر RSS 15](#_Toc155648618)

[2˗5˗ روش‌های پایه در موقعیت‌یابی 15](#_Toc155648619)

[2˗6˗ الگوریتم‌های یادگیری ماشین 15](#_Toc155648620)

[2˗7˗ جمع بندی 16](#_Toc155648621)

[فصل 3: راهکارهای پیشنهادی بهبود دقت در تعیین موقعیت 17](#_Toc155648622)

[3˗1˗ مقدمه 18](#_Toc155648623)

[فصل 4: شبیه سازی و ارزیابی نتایج 19](#_Toc155648624)

[4˗1˗ مقدمه 20](#_Toc155648625)

[فصل 5: جمع‌بندی و پیشنهادها 21](#_Toc155648626)

[5˗1˗ جمع‌بندی 22](#_Toc155648627)

[5˗2˗ پیشنهادها 22](#_Toc155648628)

[مراجع 23](#_Toc155648629)

فهرست اشکال

عنوان شماره صفحه

[شکل (2˗1) داده‌های سیستم موقعیت‌یابی برای اندازه‌گیری‌های فاصله و جهت[3] 11](#_Toc155648590)

[شکل (2˗2) روش مثلث‌بندی مبتنی برای دادگان RSSI [3] 12](#_Toc155648591)

فهرست جداول

عنوان شماره صفحه

[جدول (2˗1) بررسی فناوری‌های ارتباطی بی‌سیم مبتنی بر RSS برای موقعیت‌یابی داخلی 16](#_Toc155644833)

فهرست علائم اختصاری

|  |  |
| --- | --- |
| Location Based Services | LBS |
| IPS Indoor Positioning System | IPS |
| Non-Line of Sight | NLoS |
| Line-of sight | LoS |
| Received Signal Strength | RSS |
| Received Signal Strength Index | RSSI |
| Time Difference of Arrival | TDoA |
| Time of Arrival | ToA |
| Channel State Information | CSI |
| Angel of Arrival | AoA |
| Global Positioning System | GPS |
| Ultra WideBand | UWB |
| Phase of Arrival | PoA |
| Phase Difference of Arrival | PDoA |
| Angel of Arrival | AoA |
| Angel Difference of Arrival | ADoA |
| Radio Frequency IDentification | RFID |
| Reference Signal Received Power | RSRP |
| Reference Signal Received Quality | RSRQ |
| Carrier-sense multiple access with collision avoidance | CSMA/CA |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

1. مقدمه
   1. پس‌زمینه

باتوجه‌به افزایش سریع تعداد گوشی‌های هوشمند و گسترش دستگاه‌های بی‌سیم مختلف در دهه گذشته، اینترنت اشیا (IoT) به‌عنوان یک حوزه بااهمیت برای انواع صنایع به وجود آمده است. نظارت بر ترافیک، دستگاه‌های قابل پوشش، مراقبت‌های بهداشتی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی تنها چندین حوزه از بسیاری از زمینه‌های کاربردی مختلف برای IoT هستند. افزودن سیستم‌های مبتنی بر موقعیت (LBS) به چنین حوزه‌ی در حال توسعه‌ای، خدماتی با غنی‌ترین و دقیق‌ترین مشخصات را به کاربران نهایی ارائه می‌دهد.

فناوری‌های مبتنی بر موقعیت مانند GPS و Galileo به‌عنوان ابزارهای مهم و معتمد در سناریوهای فضای باز ثابت شده‌اند. بااین‌وجود، در فضای داخلی که نیاز به دقت بیشتری نسبت به دقت چند متری موقعیت‌یابی در فضای باز دارند، انتقال چندمسیره اطلاعات انتقالی، نقش حیاتی را در عملکرد سیستم موقعیت‌یابی ایفا می‌کند. GPS و Galileo به دلیل عملکرد ضعیف در محیط‌های داخلی استفاده نمی‌شود؛ بنابراین، فناوری‌هایی مانند Wi-Fi و BLE برای مواجهه با مسائل موقعیت‌یابی در داخل استفاده شوند که با مشکلات ایجاد شده توسط انتشار چندمسیره[[1]](#footnote-2) به دلیل وجود اشیا در هر اتاق مواجه است.

موقعیت‌یابی داخلی یک حوزه تحقیقاتی بوده که بیش از ۳۰ سال است موردمطالعه قرار گرفته و درعین‌حال، فناوری‌های جدید به طور مداوم در حال توسعه هستند. بسته به نوع سیگنال و محیط، برخی از فناوری‌های موقعیت‌یابی داخلی موجود نتایج بهتری ارائه می‌دهند. الزامات سیستمی مانند مصرف انرژی و پیچیدگی محاسباتی نیز نقش مهمی در تصمیم‌گیری در مورد استفاده از کدام تکنولوژی برای موقعیت‌یابی داخلی ایفا می‌کنند.

انگیزه‌ی معرفی یادگیری ماشین به‌عنوان تخمین‌گر مکان، توان فوق‌العاده‌ای است که این روش‌ها برای سازگاری با سناریوهای مختلف را دارد. این ویژگی‌ها، یادگیری ماشین‌ را در بسیاری از زمینه‌های کاربردی، از جمله مهندسی، اقتصاد، و حتی پزشکی، کارا می‌سازد. دلیل اصلی این جاذبه این است که یادگیری ماشین در اصل، آمار و مهندسی اعداد است که در هر جنبه‌ای از زندگی به شکل دادگان حضور دارند. استفاده از این دادگان برای بهبود درک یک سیستم از نحوه تولید یک خروجی، مفید است؛ زیرا سیستم نه‌تنها با داده سازگار می‌شود، بلکه نیز به‌وسیله آن یاد می‌گیرد که چگونه از طریق تنوع گسترده‌ای از روش‌های یادگیری ماشین که امروزه شناخته شده‌اند، داده را یاد بگیرد، پردازش کند و استفاده کند.

الگوریتم‌های یادگیری گروهی، یکی از مهم‌ترین راهکارهای بهبود عملکرد سیستم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین هستند. این الگوریتم‌ها باتوجه‌به مفهوم یادگیری توسط گروه یا جمعیت، به سیستم‌ها امکان می‌دهند تا از تجربیات و دانش گسترده‌تری بهره‌مند شوند. در این الگوریتم‌ها، یک گروه از مدل‌های یادگیری ماشین به طور هم‌زمان و همکاری با یکدیگر آموزش می‌بینند. این تعامل بین مدل‌ها، امکان به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات و تجربیات را فراهم می‌کند که می‌تواند به بهبود دقت و کارایی سیستم منجر شود [1].

رویکرد گروهی به سیستم اجازه می‌دهد تا از زمینه‌های گسترده‌تری اطلاعات جذب کرده و در مقابل مسائل ناشناخته، بهبود یابد. علاوه‌برآن، این الگوریتم‌ها می‌توانند در مواقعی که داده‌های محدودی در دسترس هستند، عملکرد بهتری نسبت به روش‌های تک مدل ارائه دهند. ازاین‌رو، الگوریتم‌های یادگیری گروهی به‌عنوان یک راهکار کلان و مؤثر در بهبود عملکرد سیستم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین موردتوجه قرار گرفته‌اند.

* 1. مروری بر کارهای انجام شده

موقعیت‌یابی در مکان‌های سرپوشیده همواره با چالش‌های جدی چندمسیره شدن انتشار سیگنال، تضعیف سیگنال، حضور و یا عدم حضور افراد و اثرات تغییرات تدریجی محیط همراه بوده است که این چالش‌ها مانعی بر گسترش سیستم‌های مبتنی بر موقعیت شده است؛ لذا از سال میلادی1990 این موضوع به طور گسترده مورد تحقیق و توسعه پژوهشگران قرار گرفته است [2]. با رشد تکنولوژی و فناوری های ارتباطی بی سیم زمینه رشد در سیستم های موقعیت یابی نیز افزایش یافت. روش های مختلفی برای هر یک از این فناوری و متاسب با ویژگی های آن ارائه شده اند. روش های رایج تعیین محدوده مبتنی بر قدرت سیگنال دریافتی (RSS)، زمان ورود (ToA)، زمان ورود تفاضلی (TDoA)، زاویه رسیدن (AoA) و اطلاعات حالت کانال (CSI) پیشنهاد شده است مقالات مرتبط با این روش ها در [3] معرفی و بررسی شده اند.

در سال‌های اخیر، تکنیک‌های یادگیری ماشین در تعیین موقعیت مکان‌های سرپوشیده به کار رفته است و اثربخشی این تکنیک‌ها در استخراج داده، یادگیری و بهبود دقت موقعیت‌یابی مشاهده شده است [4]. این رویکردها نسبت به روش های سنتی ریاضی برای مسائل غیرخطی پیچیده که با معادلات دست نویس بسیار دشوار هستند، بسیار مؤثر است. تکنیک های یادگیری ماشین همچنین توانسته است راه حلی برای مقیاس پذیری مدل در فضاهای داخلی بزرگ را فراهم کند. چراکه مدل های یادگیرنده به راحتی می تواند با مجموعه داده های جدید به روزرسانی شود[4-6].

برخلاف رویکردهای آماری، الگوریتم‌های یادگیری ماشین به‌سهولت قابل‌گسترش هستند تا عملکرد پایداری را در شرایط محیطی مختلف ارائه کنند. ارائه مدل برای شرایط مختلف محیطی با استفاده از روش‌های یادگیری گروهی امکان‌پذیر است. ازاین‌رو گرایش به سمت استفاده از الگوریتم‌های یادگیری گروهی افزایش یافته است. چرا که این روش‌ها می‌توانند اطلاعات شرایط مختلف را تجمیع کنند و اعلام موقعیت را با دقت بیشتر انجام دهند. قابلیت یادگیری آنلاین نیز از دیگر مزایای استفاده از روش‌های یادگیری گروهی است و امکان تطبیق گام‌به‌گام با تغییرات محیطی را نیز فراهم می‌کند. درصورتی‌که این فرایند با روش‌های سنتی بسیار دشوار است [7, 8]. بنابراین، تکنیک‌های یادگیری ماشین گروهی مانند Bagging و Boosting برای شرایط مختلف محیطی بسیار مناسب هستند.

در روش Bagging، [9] یک سیستم موقعیت‌یابی با رده‌بندی مبتنی بر دو روش Bagging و روش ترکیبی Bagging با فضای تصادفی استفاده کرده است. همچنین [10] یک سیستم موقعیت‌یابی داخلی بلادرنگ را با استفاده از Bagging و درخت تصمیم مبتنی بر یادگیری گروهی معرفی کرده است. در میان رده‌بندهای مختلف، جنگل تصادفی بهترین نتیجه را در دقت داشته است، بااین‌حال در بسته کردن برخی نمونه‌های آموزش ممکن است بارهاوبارها در کیسه‌های اشتباه طبقه‌بندی شوند. همچنین در برخی موارد جنگل تصادفی با تغییر کوچک در داده‌ها دچار تغییر در ساختار عظیم آن می‌شود و ناپایدار می‌گردد.

در روش Boosting، [11] از یادگیرندگان ضعیف که به‌صورت متوالی بر اساس عملکرد یادگیرنده قبلی تولید می‌شوند استفاده کرده است. برخلاف روش Bagging نمونه‌ها با پیش‌بینی نادرست، در فرایند انتخاب احتمال انتخاب بیشتری را دارند. به طور مشابه در کارهای [12, 13] از یک مدل مبتنی بر روش AdaBoost برای تعیین موقعیت نامعلوم کاربر معرفی شده است. روش‌های Boosting پیچیدگی سیستم را افزایش می‌دهد، به‌علاوه روش AdaBoost به‌شدت نسبت به داده‌های نویزی حساس است و از داده‌های پرت بسیار متأثر می‌گردد.

جدا از این دو روش، برخی از تحقیقات نیز برای بهبود دقت موقعیت‌یابی با استفاده از ترکیب رده‌بندهای گوناگون یادگیری ماشین انجام شده است. به‌عنوان‌مثال در [14, 15] روی دادگان RSSI در شرایط مختلف جمع‌آوری شده است و بهبود دقت از حدود 58 درصد الی 85 درصد با به‌کارگیری چندین نوع از رده‌بندها به‌دقت حدودی 93 درصد رسیده است. در [16] با استفاده از یک الگوریتم وزن‌دهی ابداعی به رده‌بندهای KNN، SVM، دقت رده‌بندی به حدود 94 درصد رسیده است.

* 1. بیان مسئله

در یک سیستم تعیین موقعیت داخلی، کارکرد ساده و هزینه پایین، از معیار‌های اصلی سنجش عملکرد آن است؛ بنابراین باتوجه‌به فراگیری فناوری‌های Wi-Fi و BLE استفاده از این فناوری‌ها برای کاهش هزینه کارآمد است. در بین این دو فناوری نیز باتوجه‌به پوشش سیگنال فناوری Wi-Fi (در حدود ۵۰ الی ۱۰۰ متر) نسبت به پوشش سیگنال فناوری BLE (در حدود ۱۰ الی ۲۰ متر) در فضای داخلی بزرگ، فناوری Wi-Fi مورد استقبال بیشتری قرار گرفته است. باتوجه‌به ویژگی‌های سیگنال این دو فناوری، داده سطح توان سیگنال دریافتی (RSS) به دلیل سادگی در محاسبات و صرف هزینه پایین‌تر در پژوهش‌های گوناگون به کار رفته است. اما این ویژگی بسیار متأثر از شرایط محیطی است و با اندک تغییراتی در محیط قدرت سیگنال تغییر می‌کند. ازاین‌رو برای مواجهه با این موضوع، ناگزیر به استفاده از تکنیک‌هایی هستیم که بتواند اثرات این تغییرات را کنترل کند.

بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین به‌واسطه پتانسیل مدل‌سازی غیرخطی در تعیین موقعیت کاربر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین مدل‌های به‌دست‌آمده از این الگوریتم‌ها می‌توانند در مقابل چالش‌های موجود اعم از تداخلات محیطی، محوشدگی چندمسیره شدن و غیره مقاومت خوبی نشان دهند. مدل‌های پایه یادگیری ماشین برخلاف روش‌های سنتی تخمین موقعیت بهتری در شرایط مختلف محیطی دارند، اما همچنان با تغییرات این شرایط محیطی، نیازمند کالیبراسیون دوره‌ای هستند.

هدف این پایان‌نامه استفاده از زیرمجموعه‌ای از الگوریتم‌های یادگیری با عنوان الگوریتم‌های یادگیری گروهی است که بتواند با شرایط مختلف محیطی، بهترین کارکرد را داشته باشد. الگوریتم‌های یادگیری گروهی با بهره‌گیری از نظر جمعی از مدل‌ها می‌تواند تصمیم بهتری در تبیین موقعیت کاربر اعلام کند. این مدل‌ها لزوماً موظف به اعلام بهترین پاسخ را اعلام نیستند؛ ازاین‌رو به آن‌ها یادگیرنده ضعیف[[2]](#footnote-3) می‌گویند.

نظر جمعی این یادگیرنده‌های ضعیف، یک سیستم با پاسخ مطلوب را نتیجه می‌دهد.

گرچه استفاده از الگوریتم‌های یادگیری گروهی سیستم را به سمت پاسخ مطلوب‌تر سوق می‌دهد، اما باید در نظر داشت که استفاده از آن‌ها، هزینه سخت‌افزاری بالایی را به همراه خواهد داشت و می‌تواند در سرعت پاسخ سیستم تعیین موقعیت اثر منفی بگذارد. چرا که تعداد زیاد یادگیرنده‌های ضعیف در حافظه موقت واحد پردازش داده، فضای زیادی را اشغال می‌کند و همچنین تعیین موقعیت نهایی مستلزم اجرا و اعلام موقعیت هر یک از آن‌ها است که برای یک سیستم موقعیت‌یاب بلادرنگ مناسب نیست. برای رویارویی با این مسئله، می‌بایست با تعیین ابرپارامترها[[3]](#footnote-4) و یا پیش‌پردازش داده‌ها به یک مدل بهینه با سرعت و دقت مناسب دست یافت که برای یک سیستم موقعیت‌یاب مطلوب باشد. بدین منظور، لازم است یک تابع هزینه معرفی شود تا محدودیت‌های دقت، زمان و سایر هزینه‌ها در آن منظور شود و مدل را به سمت مدل بهینه سوق دهد.

* 1. اهداف و دستاوردهای پژوهش

هدف این پایان‌نامه بهبود موقعیت‌یابی مبتنی بر RSS در مکان‌های سرپوشیده با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری گروهی است. بدین منظور ابتدا باید باتوجه‌به محدودیت‌های فناوری‌های ارتباطی بی‌سیم، فناوری متداول و کم‌هزینه بررسی شود. در دهه اخیر، باتوجه‌به رشد دستگاه‌های تلفن همراه و استفاده عموم از آن‌ها، فناوری‌های ارتباطی آن‌ها نظیر بلوتوث و Wi-Fi در کاربرد موقعیت‌یابی بیشتر مورد توجه است؛ بنابراین جمع‌آوری مجموعه‌ای مشتمل بر قدرت سیگنال دریافتی از یکی از این دو فناوری گام ابتدایی حل مسئله است. مجموعه‌دادگان جمع‌آوری شده می‌بایست شامل اطلاعاتی از محیط که در شرایط مختلف گردآوری شده است باشد تا مدل یادگیرنده نسبت به این شرایط مقاوم باشد. همچنین نیاز است فاقد داده‌های بدون برچسب موقعیت نیز باشد. تعداد و تنوع داده‌ها در یادگیری بهتر مدل مؤثر است، لذا دادگان از نظر تعداد و تنوع باید غنی باشد.

در گام دوم تحلیل دادگان جمع‌آوری شده با معیار‌های آماری برای انتخاب راهکار و مدل یادگیری گروهی در حل مسئله حائز اهمیت است. در گام بعدی، مدل‌های یادگیری گروهی و نحوه آموزش و آزمایش آن‌ها معرفی می‌شود و این مدل‌ها با بخشی از دادگان جمع‌آوری شده که به‌عنوان «دادگان آموزش» شناخته می‌شود، آموزش می‌بینند و بر آن منطبق می‌شود. پس از آن، با بخش دیگری از دادگان جمع‌آوری شده به‌عنوان «دادگان آزمایش»، مدل‌های آموزش‌دیده آزمایش می‌شوند و نتایج حاصل از آن با انتخاب معیار مناسب ارزیابی، از نظر دقت و سرعت سنجیده می‌شوند و در نهایت الگوریتم‌های یادگیری گروهی با یکدیگر مقایسه شده و نتایج آن تفسیر و تحلیل می‌شود.

باتوجه‌به چالش‌ها و محدودیت‌های موجود در روش‌های یادگیری گروهی، تعیین ابرپارامتر‌های این مدل‌ها در سرعت، دقت و پیاده‌سازی سخت‌افزاری آن‌ها نقش کلیدی دارد؛ بنابراین برای مواجهه با این موضوع، دو راهکار پیشنهادی برای تعیین ابرپارامتر‌ها بیان می‌شود. راهکار پیشنهادی اول، کاهش ابعاد مجموعه‌دادگان است. در این راهکار، با توجه میزان اهمیت و اثرگذاری ویژگی‌های مجموعه‌دادگان در فضای اولیه، به فضای ثانویه با ابعاد کمتر منتقل می‌شود. با انجام این کار، به طور غیرمستقیم، زمان یادگیری و آزمایش در الگوریتم‌های یادگیری گروهی کاهش می‌یابد، به‌علاوه نیازمندی سیستم موقعیت‌یاب به سخت‌افزار قوی برای ذخیره و یا انتقال به حافظه موقت و پردازش داده حجیم نیز برطرف می‌شود.

راهکار پیشنهادی دوم، تعیین تابع هزینه و استفاده از الگوریتم ژنتیک[[4]](#footnote-5) برای به‌دست‌آوردن مقادیر بهینه ابرپارامتر‌ها است. تابع هزینه برای منظورکردن پارامتر‌های ارزیابی، نظیر دقت، سرعت و محدودیت‌های سخت‌افزاری تعیین می‌شود. الگوریتم ژنتیک بر اساس اصول تکامل و انتخاب طبیعی عمل می‌کند و با تولید و ترکیب جمعیت از ابرپارامتر‌ها، به دنبال یافتن مقادیر بهینه می‌گردد. این رویکرد امکان تنظیم هوشمندانه پارامتر‌ها را فراهم می‌آورد و به سیستم اجازه می‌دهد تا با تغییرات در محیط یا وظایف مختلف، به بهینه‌ترین تنظیمات ممکن برسد. با استفاده از این راهکار، امکان بهبود عملکرد سیستم در مقابل چالش‌ها و محدودیت‌های مختلف استفاده از الگوریتم‌های یادگیری گروهی فراهم می‌شود و بهره‌وری سیستم افزایش می‌یابد.

* 1. مروری بر فصل‌های پایان‌نامه

متن

1. مفاهیم و تعاریف

* 1. مقدمه

هدف از این فصل آشنایی با تعاریف و مفاهیم موقعیت‌یابی و ارائه انواع داده‌های مورداستفاده در تعیین موقعیت اشیا در مکان‌های سرپوشیده است. استفاده از هرکدام از انواع دادگان بسته به کاربرد و تکنولوژی مورداستفاده می‌تواند مزایا و محدودیت‌هایی داشته باشد و بر اساس معیارهای ارزیابی انتخاب می‌گردد. همچنین در این فصل به بررسی فناوری‌های مورد استقبال در موقعیت‌یابی مبتنی بر RSS پرداخته شده است و چالش‌های موقعیت‌یابی مبتنی بر RSS ارائه می‌گردد.

در این فصل الگوریتم‌هایی که با استفاده از دادگان موقعیت‌یابی، محاسبه موقعیت را انجام می‌دهد، به دو بخش الگوریتم‌های پایه و یادگیری ماشین تقسیم‌بندی شده‌اند. الگوریتم‌های پایه در حوزه محاسبه موقعیت از روابط ریاضیاتی سنتی برای محاسبه فاصله و موقعیت استفاده می‌کنند. این الگوریتم‌ها عمدتاً بر اساس اصول هندسی عمل می‌کنند و معمولاً برای محاسبات در محیط‌های کم پیچیده و با داده‌های موقعیت دقیق و کمترین نویز مناسب هستند. در مقابل الگوریتم‌های یادگیری ماشین با استفاده از داده‌های موقعیت‌یابی به صورت خودکار مدل‌های پیچیده‌تری را ایجاد می‌کنند. در انتهای این فصل به این دو بخش پرداخته می‌شود.

* 1. مفاهیم و تعاریف موقعیت‌یابی

برخی تعاریف و مفاهیم اولیه در موقعیت‌یابی در زیر ذکر شده است.

* + 1. خدمات مبتنی بر مکان

خدمات مبتنی بر مکان (LBS) به خدماتی اشاره دارد که به ادغام موقعیت جغرافیایی (مختصات فیزیکی) با مفهوم عام خدمت اشاره می‌کند. مانند خدمات اضطراری، سیستم‌های ناوبری خودرو، خدمات توریستی.

* + 1. سیستم تعیین موقعیت داخلی

سیستم تعیین موقعیت داخلی (IPS)، سیستمی است که به طور بلادرنگ و پیوسته می‌تواند موقعیت اجسام یا افراد را در یک فضای فیزیکی سرپوشیده مشخص کند. بر اساس این تعریف، این سیستم‌ها باید در همه زمان‌ها موقعیت را به‌روز کند.

* + 1. موقعیت[[5]](#footnote-6) و مکان[[6]](#footnote-7)

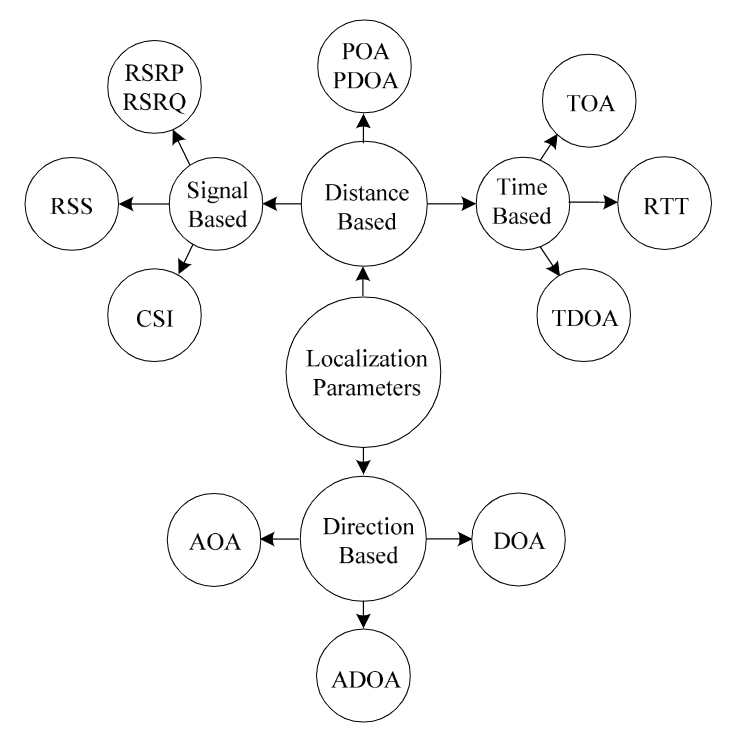
موقعیت به مختصات یک نقطه مشخص در سیستم مختصاتی مانند عرض و طول و ارتفاع اشاره دارد. مکان موقعیت را می‌دهد، اما در چهارچوب نقطه خاص، مانند قرارگرفتن یک مغازه در یک پاساژ. مکان، نسبی است و می‌تواند نسبت به یک جسم متحرک و یا ثابت بیان شود.

* + 1. نقطه دسترسی[[7]](#footnote-8)

یک نقطه دسترسی (AP) در سیستم موقعیت‌یابی با فناوری Wi-Fi به دستگاهی در شبکه با موقعیت معلوم و ثابت گفته می‌شود که ارتباط بی‌سیم با دستگاه کاربر (موقعیت نامعلوم) را برقرار می‌سازد. در سیستم موقعیت یابی، مکان دقیق نقاط دسترسی، مشخص است.

* 1. انواع داده در موقعیت‌یابی

داده در موقعیت‌یابی به مجموعه‌ای از اطلاعاتی اشاره دارد که به‌منظور محاسبه موقعیت استفاده می‌شود. داده‌های موقعیت‌یابی عمدتاً اطلاعاتی است که از سیگنال‌های فناوری‌های بی‌سیم استخراج می‌گردد. داده‌های فناوری‌های غیر سیگنال‌های مخابراتی بی‌سیم مانند سنسورهای شتاب‌سنج و انکودرها نیز در موقعیت به کار برده می‌شود. سایر داده‌ها نیز وجود دارد که با سنجش فیزیکی سایر پدیده‌ها به دست می‌آید، داده‌های خروجی از نشانگرهای تصویری[[8]](#footnote-9)، سنسورهای مادون‌قرمز، لیزر، لیدار[[9]](#footnote-10) ، سونار[[10]](#footnote-11) و سنسورهای فراصوت نیز داده‌هایی است که در موقعیت‌یابی استفاده‌شده است [17].داده‌ها ‌می‌توانند با هم ترکیب شوند و مجموعه‌داده غنی‌تری از موقعیت را بسازند. ‏شکل(2˗1) داده‌های اندازه‌گیری سیگنال مبتنی بر فاصله و جهت را برای موقعیت‌یابی مکان سرپوشیده نشان می‌دهد. در ادامه این بخش، به برخی از انواع داده‌های دریافتی از فناوری‌های بی‌سیم پرداخته می‌شود و چالش‌های هر یک عنوان خواهد شد.



داده‌های سیستم موقعیت‌یابی برای اندازه‌گیری‌های فاصله و جهت[3]

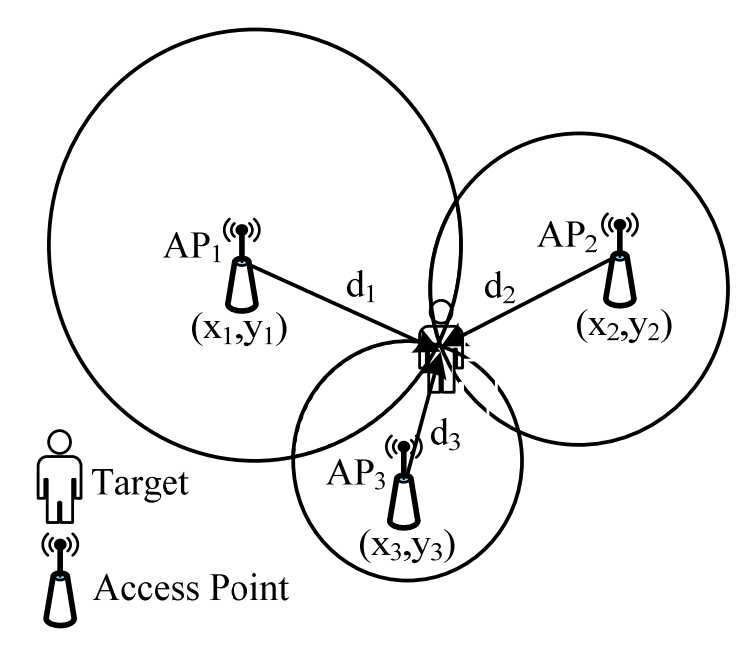
* + 1. قدرت سیگنال دریافتی (RSS)

یکی از معیارهایی که برای استخراج فواصل، در عین دقت پایین، بسیار مورداستفاده قرار می‌گیرد، قدرت سیگنال دریافتی است که تقریباً از تمام سیگنال‌های مخابراتی مانند WiFi، Bluetooth، GSM و ... استخراج می‌شود. ‌می‌توان بر اساس قدرت سیگنال دریافتی فاصله بین گیرنده و فرستنده را تخمین زد. RSS عموماً با واحد (mW) یا دسی‌بل میلی‌وات اندازه‌گیری ‌می‌شود و هر چقدر فاصله بین فرستنده و گیرنده کم باشد، میزان قدرت سیگنال دریافتی RSS بیشتر خواهد بود.

RSSI عموماً واحد ساده‌ای برای اندازه‌گیری است، اما به‌خاطر اثرات محوشدگی[[11]](#footnote-12)، پنهان‌شدن[[12]](#footnote-13)، انعکاس و پراکندگی[[13]](#footnote-14)، بسیار نادقیق است. ازاین‌رو، استفاده از فیلترهایی، مانند فیلتر کالمن توسعه‌یافته (EKF) و سایر روش‌های یادگیری ماشین برای کاهش نوسانات RSSI به‌کاررفته است. برای محاسبه فاصله با RSSI از مدل افت لگاریتمی استفاده می‌شود. مدل افت لگاریتمی چندین متغیر را در دسترس قرار می‌دهد تا بتوان باتوجه‌به شرایط متفاوت مکانی آن‌ها را تنظیم نمود. مدل انتشار از طریق رابطه ‏(2˗1) بیان می‌شود:

که در این ‌رابطه RSSI نشانگر توان سیگنال دریافتی در فاصله ، توان سیگنال دریافتی در فاصله و یک فاصله مشخص از مرجع است. ضریب تلفات توان یا ضریب محیط و *متغیر تصادفی گوسی میانگین صفر است.*

‏شکل(2˗2) روش مثلثی مبتنی بر RSSI را نشان می‌دهد. این روش که به تفصیل در ؟؟؟ به آن اشاره خواهد شد، ‌می‌تواند تنها با سه گره تخمین فاصله را انجام دهد [3].



روش مثلث‌بندی مبتنی برای دادگان RSSI [3]

* + 1. زمان ورود (ToA)

زمان ورود (ToA) که همچنان به‌اختصار ToF شناخته می‌شود، اولین دوره‌ای که در آن سیگنال به گیرنده می‌رسد توصیف می‌شود. طرح‌های مرسوم ToA به حداقل دو یا سه گره مرجع به‌صورت خط دید باهدف نیازمند است. برای رسیدن به دقت بالاتر در موقعیت، گره‌ها می‌توانند همگام[[14]](#footnote-15) و یا غیرهمگام در زمان رسیدن باشند؛ اما سیگنال باید دارای نشان زمانی[[15]](#footnote-16)باشد. برای حل این موضوع روش TDoA که به روش زمان ورود رفت و برگشتی[[16]](#footnote-17) (RToA) نیز شناخته ‌می‌شود معرفی و پیاده‌سازی شد. مکانیزم حوزه TDoA مشابه ToA است، اما نیازی به مرجع زمانی متحد در گره‌ها ندارد. ToA از چندمسیرگی و نویز جمع‌شونده اثر ‌می‌پذیرد، نویز جمع‌شونده در دقت زمان ورود سیگنال اثر می‌گذارد[3].

* + 1. زمان تفاضلی رسیدن (TDoA)

TDoA تکنیکی برای محاسبه اطلاعات فاصله بین دو گره است. TDoA واریانس زمان رسیدن (نشان زمانی) بین گره‌های لنگر[[17]](#footnote-18) در یک بسته ارسالی یکسان از هدف را تعیین می‌کند. این روش به حداقل سه گره لنگر با مختصات معلوم برای یافتن مختصات موقعیت شیء هدف نیاز دارد. گره‌های لنگر به ارسال‌های هدف را دریافت می‌کند و موقعیت تخمین‌زده‌شده را با مقایسه واریانس در زمان رسیدن محاسبه می‌کند. این روش با تعیین تغییرات زمانی بین چند گره لنگر عمل می‌کند [3].

دقت تخمین TDoA به پهنای باند سیگنال، نرخ نمونه‌برداری گیرنده و وجود خط دید بین فرستنده و گیرنده بستگی دارد. همچنین به هم‌زمان بودن سخت‌گیرانه نیز نیازمند است، اما برخلاف ToA که هم‌زمانی بین گیرنده و فرستنده نیاز بود، در TDoA تنها به هم‌زمانی بین فرستنده‌ها نیاز است [18].

* + 1. زاویه رسیدن (AoA) و زاویه تفاضلی رسیدن (ADoA)

AoA تکنیکی برای تعیین موقعیت اشیا با گرفتن داده‌های زاویه‌ای جهت قرارگیری شیء و گیرنده‌ها است. یک محاسبه ساده از AoA را می‌توان در کارکرد آنتن‌های آرایه‌ای مشاهده کرد. AoA نیز توسط نویز، خط غیر دید و چندمسیرگی مختل می‌شود، همچنین نقص در LoS می‌تواند جدی‌تر از روش‌های مبتنی بر TDoA یا RSS باشد. AoA به فضای بیشتر و سخت‌افزارهای اضافه نیازمند است که اتلاف انرژی بالاتری دارد، اما نیاز به هم‌زمان‌سازی بین گره‌ وجود ندارد [3].

ADoA به اطلاعات زاویه‌ها نیاز ندارد؛ زیرا می‌تواند آن را در واریانس بین دو مقدار AoA نادیده گرفت. این بدان معناست که گیرنده‌ها باید در یک زاویه مشخص قرار بگیرند [3].

* + 1. فاز رسیدن (PoA) و فاز تفاضلی رسیدن (PDoA)

روش PoA برای تخمین فاصله با اندازه‌گیری فاز انتقال‌دهنده سیگنال است. همچنین با نام فاز سیگنال دریافتی[[18]](#footnote-19) (RSP) نیز شناخته می‌شود. تعداد قابل‌توجهی از اندازه‌گیری‌های PoA در سیستم‌های موقعیت‌یابی مبتنی بر RFID وجود دارد.روش‌های مبتنی بر PoA می‌تواند با سایر تکنیک‌ها نظیر RSS، TDoA و ToA تجمیع شود. برای بالارفتن دقت در PoA ممکن است نیاز به خط دید داشته باشد. همچنین ابهامات غیر قابل حذفی ممکن است در طول ارزیابی فاصله صحیح به‌خاطر چندمسیرگی و تناوب فاز به وجود آید [3].

* + 1. اطلاعات حالت کانال (CSI)

روش مبتنی بر CSI از اطلاعات وضعیت کانال لایه فیزیکی یک پیوند ارتباطی استفاده می‌کند. هنگامی که یک هدف در مکان سرپوشیده ظاهر می‌شود، CSI مربوط به آن قابل‌اندازه‌گیری خواهد بود [3].

روش مبتنی بر CSI پایداری خوبی را نشان داده است و می‌تواند به‌دقت مکان بالاتری نسبت به روش مبتنی بر RSSI دست یابد. از طرفی دیگر، طرح Wi-Fi مبتنی بر CSI نیازمند کار فشرده میدانی بیشتر برای کالیبره کردن مکان نقاط دسترسی و جهت آنتن‌های آرایه‌ای است که مانع اجرای آن در دنیای واقعی می‌شود. یکی دیگر از معایب CSI این است که در CSI به فضای بزرگ‌تر و زمان بیشتری نیازمند است که برای اکثر موقعیت‌ها مناسب نیست [3].

* + 1. قدرت و کیفیت سیگنال مرجع دریافتی (RSRP و RSRQ)

دو پارامتر RSRP و RSRQ، پارامترهای داده لایه فیزیکی شبکه 4G است که برای موقعیت کاربر به‌کار می‌رود. محاسبه RSRP مبتنی بر RSSI است که میانگین دستاورد قدرت سیگنال‌های مرجع سلول مشخص را محاسبه می‌کند.

پارامتر RSRQ که مقدار سیگنال‌های دریافتی را در دستگاه هدف ارائه می‌کند و از مقدار RSSI و RSRP توسعه‌یافته است. RSRQ از تداخل ایستگاه‌ها و نویز گرمایی اثر می‌پذیرد و دقت واریانسی کمتری نسبت به RSRP دارد. اما دقت میانگینی آن از RSRP بیشتر است؛ لذا ترکیب این دو، دقت کلی را افزایش می‌دهد[3].

* 1. فناوری‌های موقعیت‌یابی مبتنی بر RSS

متن

* 1. روش‌های پایه در موقعیت‌یابی

متن

* 1. الگوریتم‌های یادگیری ماشین

متن

* 1. جمع بندی

بررسی فناوری‌های ارتباطی بی‌سیم مبتنی بر RSS برای موقعیت‌یابی داخلی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| فناوری‌ها | پارامترها | مزایا | معایب |
| Wi-Fi | RSS/AoA  TDoA/ToA  RTT/CSI | توان مصرفی متوسط (به طور متوسط 216.71 میلی‌وات).  بدون نیاز به سخت‌افزار اضافی.  نصب آسان.  پوشش مناطق بزرگ. | تحت‌تأثیر RSS متغیر با زمان.  دقت وابسته به نقاط دسترسی. |
| Bluetooth | RSS/ToA  TDoA  AoA/ToF | توان مصرفی پایین (به طور متوسط 0.367 میلی‌وات)  نصب آسان.  نرخ داده بالا نسبت ZigBee | نیازمند سخت‌افزار اضافی است.  تحت‌تأثیر RSS متغیر با زمان.  تداخل با باند فرکانسی مشابه.  دقت به دقت نقاط دسترسی وابسته است.  محدوده عملکرد پایین نسبت به ZigBee. |
| RFID | RSS/ToA  DoA/AoA  TDoA  PDoA | بدون تماس و NLoS ذاتی.  خوانش سریع و هم‌زمان چندین تگ.  تاب‌آوری در برابر تغییرات محیطی.  کاهش حساسیت در مورد جهت قرارگیری کاربر. | نیازمند سخت‌افزار اضافی است.  اثر چندمسیرگی و نوسان سیگنال.  افزایش خطا با افزایش تعداد تگ‌های هدف.  قابلیت‌های محدود تگ‌های غیرفعال |
| ZigBee | RSS/ToA  TDoA/AoA | توان مصرفی پایین (به طور متوسط 17.68 میلی‌وات).  عدم نیاز به پهنای باند وسیع.  تأخیر بالا. | نیازمند سخت‌افزار اضافی است.  تداخل و قدرت سیگنال‌ها.  ایجاد ارتباط با تلفن همراه هوشمند دشوار است. |
| UWB | AoA/ToA  TDoA  RSS/DoA | دقت بالا.  عدم تأثیر از تداخل.  اثرات زیستی کمتر بر بدن انسان.  مناسب برای شبکه‌های بدن‌محور و پوشیدنی. | برد کوتاه، هزینه بالا  چالش‌ها در NLoS.  نیازمند سخت‌افزار اضافی است. |
| Cellular | ToA/CSI  TDoA/RSS  RSRP/RSRQ | دور برد.  دقت خوب.  بدون هزینه اضافی. | نیازمند همگام‌سازی ایستگاه‌های پایه. |
| ترکیب فناوری‌ها | RSS/TDoA  RSRQ/RSRP  PDoA/ToA  AoA/DoA | بهبود عملکرد.  غلبه بر محدودیت‌ها.  بهتر نسبت به راه‌حل الگوریتم خالص.  کاهش پیچیدگی سیستم. | اطلاعات کافی با تنها یک شبکه وجود ندارد. |

1. راهکارهای پیشنهادی بهبود دقت در تعیین موقعیت
   1. مقدمه

متن

1. شبیه سازی و ارزیابی نتایج
   1. مقدمه

متن

1. جمع‌بندی و پیشنهادها
   1. جمع‌بندی

متن

* 1. پیشنهادها

متن

مراجع

مراجع

[1] R. Uttarwar and J. Valentín, "Indoor Positioning and Machine Learning Algorithms," 2021.

[2] Z. Li, K. Xu, H. Wang, Y. Zhao, X. Wang, and M. Shen, "Machine-learning-based positioning: A survey and future directions," *IEEE Network,* vol. 33, no. 3, pp. 96-101, 2019.

[3] T. Kim Geok *et al.*, "Review of indoor positioning: Radio wave technology," *Applied Sciences,* vol. 11, no. 1, p. 279, 2020.

[4] H. Zou, B. Huang, X. Lu, H. Jiang, and L. Xie, "A robust indoor positioning system based on the procrustes analysis and weighted extreme learning machine," *IEEE Transactions on Wireless Communications,* vol. 15, no. 2, pp. 1252-1266, 2015.

[5] M. Abbas, M. Elhamshary, H. Rizk, M. Torki, and M. Youssef, "WiDeep: WiFi-based accurate and robust indoor localization system using deep learning," in *2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom*, 2019, pp. 1-10: IEEE.

[6] K. S. Kim, S. Lee, and K. Huang, "A scalable deep neural network architecture for multi-building and multi-floor indoor localization based on Wi-Fi fingerprinting," *Big Data Analytics,* vol. 3, pp. 1-17, 2018.

[7] M. Cooper, J. Biehl, G. Filby, and S. Kratz, "LoCo: boosting for indoor location classification combining Wi-Fi and BLE," *Personal and Ubiquitous Computing,* vol. 20, no. 1, pp. 83-96, 2016.

[8] P. Menéndez, C. Campomanes, K. Trawiński, and J. M. Alonso, "Topology-based indoor localization by means of WiFi fingerprinting with a computational intelligent classifier," in *2011 11th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, 2011, pp. 1020-1025: IEEE.

[9] K. Trawiński, J. M. Alonso, and N. Hernández, "A multiclassifier approach for topology-based WiFi indoor localization," *Soft Computing,* vol. 17, pp. 1817-1831, 2013.

[10] V. Singh, G. Aggarwal, and B. Ujwal, "Ensemble based real-time indoor localization using stray WiFi signal," in *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 2018, pp. 1-5: IEEE.

[11] R. E. Schapire, "The strength of weak learnability," *Machine learning,* vol. 5, pp. 197-227, 1990.

[12] D. Sánchez-Rodríguez, P. Hernández-Morera, J. M. Quinteiro, and I. Alonso-González, "A low complexity system based on multiple weighted decision trees for indoor localization," *Sensors,* vol. 15, no. 6, pp. 14809-14829, 2015.

[13] D. Taniuchi and T. Maekawa, "Robust Wi-Fi based indoor positioning with ensemble learning," in *2014 IEEE 10th International conference on wireless and mobile computing, networking and communications (WiMob)*, 2014, pp. 592-597: IEEE.

[14] Ó. Belmonte-Fernández, R. Montoliu, J. Torres-Sospedra, E. Sansano-Sansano, and D. Chia-Aguilar, "A radiosity-based method to avoid calibration for indoor positioning systems," *Expert Systems with Applications,* vol. 105, pp. 89-101, 2018.

[15] D. Ghosh, P. Roy, C. Chowdhury, and S. Bandyopadhyay, "An ensemble of condition based classifiers for indoor localization," in *2016 IEEE international conference on advanced networks and telecommunications systems (ANTS)*, 2016, pp. 1-6: IEEE.

[16] P. Roy, C. Chowdhury, M. Kundu, D. Ghosh, and S. Bandyopadhyay, "Novel weighted ensemble classifier for smartphone based indoor localization," *Expert Systems with Applications,* vol. 164, p. 113758, 2021.

[17] N. Samama, *Indoor positioning: technologies and performance*. John Wiley & Sons, 2019.

[18] F. Zafari, A. Gkelias, and K. K. Leung, "A survey of indoor localization systems and technologies," *IEEE Communications Surveys & Tutorials,* vol. 21, no. 3, pp. 2568-2599, 2019.

Abstract:

Abstract …

Keywords:



Iran University of Science and Technology

School of Electrical Engineering

Improving the accuracy of RSS-based positioning systems using ensemble learning algorithms

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Science in Control

By:

Hamid Arabsorkhi

Supervisor:

Dr. Saeed Ebadollahi

Advisor:

Dr. -------------

June 2024

1. Multipath Propagation [↑](#footnote-ref-2)
2. Weak Learner [↑](#footnote-ref-3)
3. Hyperparameters [↑](#footnote-ref-4)
4. Genetic Algorithm [↑](#footnote-ref-5)
5. Position [↑](#footnote-ref-6)
6. Location [↑](#footnote-ref-7)
7. Access Point [↑](#footnote-ref-8)
8. Image Markers [↑](#footnote-ref-9)
9. Lidar [↑](#footnote-ref-10)
10. Sonar [↑](#footnote-ref-11)
11. fading [↑](#footnote-ref-12)
12. shadowing [↑](#footnote-ref-13)
13. scattering [↑](#footnote-ref-14)
14. Synchronized [↑](#footnote-ref-15)
15. Timestamp [↑](#footnote-ref-16)
16. Round Trip of Arrival [↑](#footnote-ref-17)
17. Anchors [↑](#footnote-ref-18)
18. Received Signal Phase [↑](#footnote-ref-19)