



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)  
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

پروپوزال پروژه کارشناسی

نام دانشجو  
اشکان گهرفر

استاد پروژه کارشناسی  
دکتر مهدی راستی

موضوع پروژه کارشناسی  
طراحی، پیاده سازی و ارزیابی یک سامانه تعیین موقعیت مکانی در محیط مسقف با  
استفاده از شبکه‌های بی سیم و مبتنی بر یادگیری ماشین

پاییز ۱۳۹۹

## مقدمه

اینترنت اشیاء یک سیستم برقراری ارتباط و انتقال داده بین دستگاه‌های مختلف دیجیتال و مکانیکی است. از جمله کاربردهای آن هوشمندسازی خانه‌ها، صنعت حمل و نقل، فروشگاه‌ها، خطوط تولید و... است. با روی کار آمدن صنعت اینترنت اشیاء استفاده از تکنولوژی مکان یابی در محیط‌های بسته روز افزون شد. مطابق با گزارشات موسسه‌ی IndustryARC، بازار جهانی مکان یابی در محیط‌های بسته در سال ۲۰۱۷، ۶/۹۲ میلیارد دلار ارزیابی شده است و پیش بینی می‌شود در سال ۲۰۲۳ به میزان ۱۳/۱۵ میلیارد دلار رشد کند. این امر نشان می‌دهد که این تکنولوژی به تازگی وارد عرصه‌ی اقتصادی شده است و سودآوری این سیستم را در صنایع گوناگون رشد بسیاری خواهد داشت [۶].

جامعه‌ی هدف سیستم مکان یابی در محیط‌های سر پوشیده فروشنده‌ها می‌باشند، بدین ترتیب که صاحبان فروشگاه‌ها با قرار دادن این سیستم در فروشگاه خود می‌توانند نواحی و غرفه‌های پر ازدحام و خلوت را در بازه‌های زمانی و روزهای مختلف شناسایی کنند و در صورت نیاز برای غرفه‌های خلوت در ساعات گوناگون روز چاره‌ای بیندیشند، به طور مثال می‌توانند در آن ساعات روز برای غرفه‌های خلوت تخفیف روی اجناس قرار دهند.

با وجود گستردگی استفاده از سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)<sup>۱</sup>، این سیستم برای محیط‌های بسته و مسقف قابل استفاده نیست. روش‌های مختلفی برای توسعه‌ی سیستم تعیین موقعیت محیط‌های مسقف ارائه شده که عموماً بر اساس دریافت امواج رادیویی ارسالی از فرستنده‌هایی با موقعیت مشخص هستند. زمان دریافت سیگنال، اختلاف زمان دریافت سیگنال، زاویه دریافت و اثرانگشت مکانی از جمله این روش‌ها هستند. روش‌های مبتنی بر زمان دریافت سیگنال، اختلاف زمان دریافت سیگنال و زاویه دریافت سیگنال برپایه تکنیک‌های مثلث بندی هستند که نیاز به دید مستقیم فرستنده وب گیرنده خواهد بود. همچنین سنجش دقیق زمان و زاویه سیگنال دریافتی نیاز به ابزارهای خاص دارند که در بیشتر مواقع گران و پرهزینه هستند. در نهایت روش اثرانگشت مکانی می‌تواند به عنوان روشی بهینه مورد استفاده قرار گیرد. روش اثرانگشت مکانی به علت عدم نیاز به زیرساخت ویژه و امکان ایجاد ساده‌تر، به عنوان یک روش رایج

---

<sup>۱</sup> Global Positioning System

مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش اثر انگشت مکانی برای تخمین موقعیت دستگاه همراه کاربر از قدرت سیگنال دریافتی (RSS)<sup>۱</sup> استفاده می‌کند.

هدف این پروژه طراحی و تحلیل سیستم سخت افزاری مبتنی فرستنده‌های بی‌سیم بلوتوث کم مصرف (BLE)<sup>۲</sup> و وای-فای جهت جمع‌آوری داده‌های قدرت سیگنال دریافتی بواسطه‌ی یک Raspberry Pi می‌باشد. سپس با به کار گیری روش اثر مکانی<sup>۳</sup> جهت سنجش قدرت سیگنال دریافتی و پیاده سازی روش‌های یادگیری ماشین اعم از الگوریتم K نزدیک ترین همسایگی<sup>۴</sup> (KNN) و شبکه عصبی جهت تعیین مکان‌های پیموده شده توسط Raspberry Pi مکان‌های پر تردد در زمان‌های گوناگون نمایش داده شود.

## مروری بر تحقیقات مرتبط

مقالات متعددی در زمینه‌ی به کارگیری دانش هوش مصنوعی در پیش بینی مکان‌ها به چاپ رسیده‌اند. در مقاله ای تعیین موقعیت گوشی موبایل را با جمع‌آوری داده‌ها با روش اثر انگشت مکانی و به کار گیری شبکه عصبی کانولوشنال پیاده سازی نموده‌اند [۱]. در مقاله ای دیگر به منظور مکان یابی داده‌ها توسط یک گوشی موبایل هوشمند از تمامی سخت افزارهای مجهز به فرستنده بلوتوث اعم از Beacon ها و سایر گوشی‌های هوشمند به بلوتوث جمع‌آوری شده است سپس روش‌های یادگیری ماشین بر روی داده‌ها به کار گرفته شده است [۲]. مقاله‌ی دیگری با هدف جمع‌آوری داده‌های دستگاه‌های Beacon اطراف گوشی موبایل، مجموعه داده‌ای را فراهم آورد و داده‌ها را به عنوان ورودی شبکه عصبی LSTM<sup>۵</sup> قرار داده و از روی نتیجه‌ی شبکه عصبی سیستم پیشنهاد مسیر برای رسیدن به مقصد در محیط‌های بسته ارائه داده است [۴]. آخرین مقاله [۵] که مقاله‌ی پر ارجاعی نیز می‌باشد، روش‌های متعددی را برای پیش بینی مکان‌های پیموده شده پیشنهاد داده است و یکی از روش‌هایی که در آن نتیجه‌ی مطلوبی مشاهده شده

---

<sup>۱</sup> Received Signal Strength

<sup>۲</sup> Bluetooth Low Energy

<sup>۳</sup> Location Fingerprinting

<sup>۴</sup> K Nearest Neighbor

<sup>۵</sup> Long Short-Term Memory

است، به کار گیری شبکه عصبی کانولوشنال و اعمال روش های طبقه بندی<sup>۱</sup> جهت پیش بینی است. مقاله ی دیگری با هدف به کار گیری روش K نزدیک ترین همسایگی و شبکه عصبی بر روی داده های جمع آوری شده از مکان ها با روش اثر انگشت مکانی نتایج مطلوبی ارائه داده است [۳] و این پروژه در صدد به کار گیری برخی از رویکردهای مطرح شده در این مقاله می باشد.

## سیستم های طراحی شده برای این منظور

روش های مختلفی برای جمع آوری داده های ارسالی از فرستنده های بی سیم وجود دارد که هر یک مزایا و معایبی دارند و در ادامه ی توضیحات به شرح آن ها می پردازیم.

روش اول جمع آوری داده ها بواسطه ی سیستم های مجهز به فرستنده ی بی سیم از قبیل گوشی های موبایل است. با طراحی یک اپلیکیشن موبایل می توان داده های مربوط به قدرت سیگنال دریافتی را از فرستنده های بلوتوث دریافت کرد، اما عیب این روش در این است که اپلیکیشن باید تمام وقت در گوشی موبایل در حال اجرا باشد و گوشی موبایل نیز خاموش نباشد، این شرایط در حالیه که کاربران اپلیکیشن موظف نیستند گوشی خود را تمام وقت روشن بگذارند و بدین خاطر جمع آوری داده ها کمی دشوار خواهد شد. بدین منظور با قرار دادن Raspberry pi بر روی چرخ دستی این امکان به وجود می آید که بدون دخالت کاربر، Raspberry pi داده های قدرت سیگنال دریافتی دریافت شود و سیستم برای همیشه بتواند روشن بماند.

روش دوم قرار دادن پارامتر فاصله Raspberry pi با فرستنده ی بی سیم در مجموعه ی داده به جای پارامتر قدرت سیگنال دریافتی است، پارامتر فاصله طبق فرمولی بر حسب دو پارامتر قدرت سیگنال دریافتی و پارامتر تنظیم توان خروجی<sup>۲</sup> بدست می آید. با بدست آمدن فاصله ی هر فرستنده بی سیم با Raspberry pi در هر لحظه می توان بواسطه ی حداقل سه فرستنده مختصات Raspberry pi را بدست آورد. این امر یک مزیت مهم دارد و این مزیت بدست آمدن نقشه ی مکان بسته ای است که Raspberry pi در حال حرکت در آن است، به خصوص در شرایطی که نقشه ی مکان و دکوراسیون محل در حال تغییر باشد. اما

---

<sup>۱</sup> Classification

<sup>۲</sup> TX-Power

این روش از معایبی نیز برخوردار است و یکی از این عیب‌ها بار محاسباتی سنگینی است که بر دوش Raspberry pi در لحظه‌ی دریافت داده‌های از فرستنده‌ها و پیاده سازی روش‌های یادگیری ماشین گذاشته می‌شود و در نهایت ممکن است خروجی مطلوبی از سیستم بدست نیاید.

با بیان معایب روش‌های اول و دوم بهترین روش برای سبک کردن بار محاسباتی بر دوش Raspberry pi دریافت قدرت سیگنال دریافتی از فرستنده‌ها در هر لحظه بدون پیش بینی مکان در همان لحظه است. بدین منظور می‌توان از روش‌های یادگیری ماشین برای برچسب گذاری مکان‌های پیموده شده توسط Raspberry pi استفاده نمود. در نتیجه پس از اعمال یادگیری بر روی مجموعه داده‌ی بدست آمده ؛ در زمان دریافت داده‌های جدید، الگوریتم حاصل شده از فرآیند یادگیری را برای داده‌های دریافتی جدید در لحظه با بار محاسباتی کم به کاربرد و به خروجی مطلوب رسید.

## سیستم و معماری پیشنهادی

### الف) نحوه‌ی عملکرد سیستم

رویکرد کلی حل مساله در این پروژه تحلیل داده‌های حاصل از تردد یک چرخ دستی در نواحی گوناگون یک فروشگاه در چندین ساعت خواهد بود. در این راستا با قرار دادن یک Raspberry pi بر روی یک چرخ دستی و حرکت دادن چرخ دستی جهت عبور در نواحی گوناگون فروشگاه در هر لحظه فاصله Raspberry pi با فرستنده‌های بی‌سیم اطرافش در مجموعه داده ذخیره شود. در واقع فرستنده‌های بی‌سیم به عنوان نقاط مرجعی که مکانشان ثابت است لحاظ می‌شوند و در هر لحظه داده‌ای را به Raspberry pi ارسال می‌کنند، با ارسال داده به Raspberry pi میزان قدرت سیگنال دریافتی ارسالی از هر فرستنده توسط Raspberry pi دریافت و در در مجموعه داده ذخیره می‌شود.

### ب) جمع آوری مجموعه داده

در زمینه جمع آوری داده در پروژه قرار است چند عدد فرستنده بی‌سیم، برای مثال ۵ عدد به کار برده شود؛ آنگاه مجموعه داده حاوی ۷ سطر خواهد بود که یک ستون آن به نام time است که زمان دریافت داده در آن ذخیره می‌شود. ستون بعدی location است که برچسب مکانی که Raspberry pi در آن

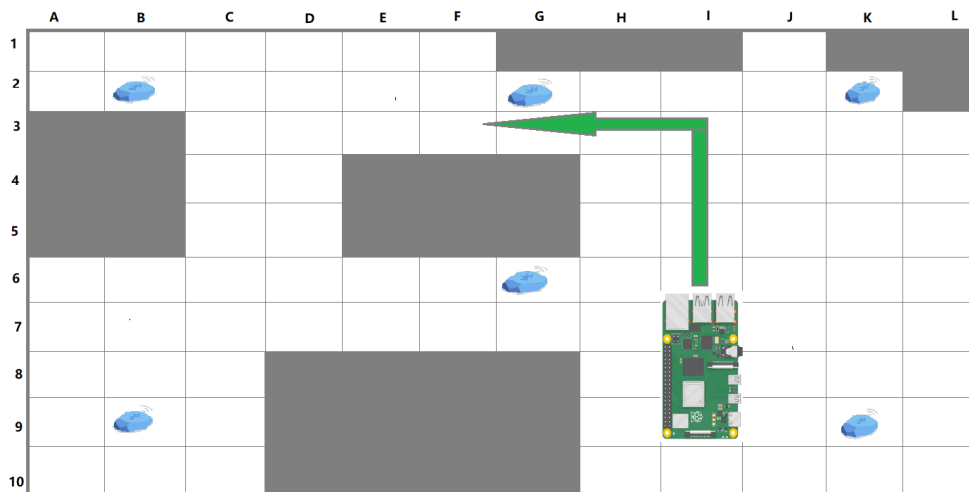
لحظه در آن قرار داشته است، می‌باشد و پس از جمع آوری مجموعه داده‌ی اولیه به صورت دستی مقدار دهی می‌شود. ۶ ستون بعدی میزان قدرت سیگنال دریافتی از هر کدام از فرستنده‌های بی‌سیم در هر لحظه خواهد بود. پس از ایجاد مجموعه داده‌ی اولیه، مکانی که Raspberry pi در هر لحظه در آن بوده در ستون location در مجموعه داده اولیه به صورت دستی مقدار دهی خواهد شد.

در مرحله‌ی بعد به طور مجدد با Raspberry pi فرآیند جمع آوری داده را انجام می‌دهیم تا مجموعه‌ی داده‌ی دوم که حجم بیشتری نسبت به مجموعه داده‌ی اول خواهد داشت بدست آید، با این تفاوت که این بار ستون location برچسب دهی نخواهد شد و با به کار گیری روش‌های یادگیری ماشین و طبقه بندی این ستون برچسب گذاری خواهد شد.

## ج) نحوه‌ی راه اندازی سیستم

مطابق با توضیحات قید شده برای طراحی سخت افزار سیستم اینترنت اشیا ارائه شده، سه نوع سیستم سخت افزاری یکی مبتنی بر ماژول بلوتوث nRF52832، دیگری مبتنی بر ماژول بلوتوث nRF24 و دیگری مبتنی بر فرستنده وای-فای طراحی خواهند شد. سپس جهت جمع آوری داده بواسطه‌ی Raspberry pi کدی به زبان برنامه نویسی پایتون ارائه خواهد شد که روی Raspberry pi قابل اجرا باشد و داده‌های مربوط به قدرت سیگنال دریافتی هر فرستنده در هر لحظه را دریافت و در مجموعه داده‌ای از جنس فایل CSV ذخیره کند.

جهت اجرای فرآیند جمع آوری داده ابتدا چند عدد فرستنده بی‌سیم در تمامی نواحی در محیط یک فروشگاه قرار می‌دهیم، بدین منظور محیط فروشگاه را به چندین مربع با ضلع به طول ۱.۲ الی ۳ تقسیم می‌کنیم. سپس به تعداد فرستنده‌های بی‌سیم موجود مربع‌هایی را انتخاب می‌کنیم و فرستنده‌ها را در مرکزشان قرار می‌دهیم با این شرط که دو فرستنده‌ی بی‌سیم مجاور هم فاصله‌ای به طول ۵ الی ۸ متر از یکدیگر داشته باشند مشابه آنچه که در شکل (۱) مشاهده می‌کنید. با اتصال Raspberry pi به چرخ دستی و عبور چرخ دستی در نواحی گوناگون در فروشگاه Raspberry pi در هر لحظه داده‌ی قدرت سیگنال دریافتی از هر فرستنده بی‌سیم را در مجموعه داده ذخیره می‌کند. جهت نام گذاری مکان‌ها همانند صفحه‌ی شطرنج از برچسب‌های A تا L برای طول فروشگاه و اعداد ۱ تا ۱۰ برای عرض فروشگاه استفاده خواهد شد. نمونه‌ای از مدل قرار گیری فرستنده‌ها در اطراف Raspberry pi و حرکت Raspberry pi جهت بدست آمدن مکان آن را نیز به صورت شکل (۱) به نمایش در آمده است.



شکل ۱ : نحوه‌ی قرار گیری ۶ فرستنده بی‌سیم در مکان‌هایی با برچسب K2، G2، B2، K9 و G6 در محیط فروشگاه برای مثال در نقشه فروشگاه به نمایش در آمده است.

برای بخش پیش بینی و تحلیل داده‌های مربوط به مکان طی شده توسط Raspberry pi، یک رویکرد مناسب پیاده سازی روش به کار گرفته شده در مقاله [۳] می‌باشد. در این مقاله روشی جهت پیش بینی برچسب مکان‌های پیموده شده توسط Raspberry pi پیشنهاد شده است که در آن ابتدا مجموعه داده‌ی اولیه جمع آوری شده، سپس برچسب گذاری شده و در مرحله‌ی بعد با جمع آوری داده‌هایی با حجم بیشتر در همان مکان بسته، ستون location در مجموعه داده‌ی دوم برچسب گذاری خواهد شد. از روش‌های موثر به کار گرفته شده در این امر، به کار گیری الگوریتم k نزدیک ترین همسایگی و شبکه عصبی می‌باشد. با به کار گیری الگوریتم k نزدیک ترین همسایگی می‌توان ستون location را در مجموعه داده‌ی دوم برچسب گذاری کرد و سربار محاسبات بر دوش Raspberry pi را کاهش داد و همچنین در توان مصرفی نیز صرفه جویی نمود.

این پیاده سازی یک راهکار صنعتی برای یک فروشگاه با ابعاد وسیع و تعداد چرخ دستی زیاد نمی باشد چراکه می بایست روی هر چرخ دستی یک Raspberry pi قرار داد. بدین صورت نیاز به یک باتری یا یک پاور بانک<sup>۱</sup> جهت تامین جریان مصرفی Raspberry pi می باشد. همچنین Raspberry pi دستگاه گرانی است و اگر تعداد چرخ دستی‌ها در فروشگاه زیاد باشد، هزینه بالایی می بایست صرف پیاده سازی سیستم نمود. بدین خاطر این پروژه در صورت تمایل پژوهران قابلیت توسعه یافتن دارد. به طور مثال برای

<sup>۱</sup> Power Bank

پیاده سازی سیستمی که بتوان از آن در یک فروشگاه بزرگ با تعداد زیادی چرخ دستی استفاده نمود می بایست، سخت افزاری طراحی نمود که حاوی یک میکروکنترلر و یک عدد از هر یک از فرستنده های بلوتوث و وای-فای باشد. بدین صورت فرستنده ی بلوتوث داده های قدرت سیگنال دریافتی را می گیرد و بواسطه ی فرستنده ی وای-فای داده را به سرور ارسال می کند و پس از ذخیره آن در پایگاه داده، روش های یادگیری ماشین را بر روی آن اعمال کند.

## د) ایجاد رابط کاربری

پس از انجام فرآیندهای مطرح شده، جهت برآوردن سیستم کاربردی و صنعتی برای مصارف گوناگون، داده ها در پایگاه داده ای ذخیره خواهند شد و برای نمایش داده های دریافتی وب سایتی فراهم آورده خواهد شد که حاوی نمودارهای گوناگون از میزان قدرت سیگنال های دریافتی و تغییرات آنها در هر بازه های زمانی باشد. همان گونه که در بخش قبل اشاره شد اگر پروژه در آینده نیاز باشد که به صورت صنعتی تولید شود، برای داشتن یک بورد ارزان تر از Raspberry pi می توان با طراحی یک سخت افزار حاوی فرستنده های بلوتوث، وای-فای و یک میکروکنترلر این امکان بوجود می آید که کاری مشابه با Raspberry pi جهت دریافت داده و ارسال آن به سرور را بواسطه ی سخت افزار انجام داد.

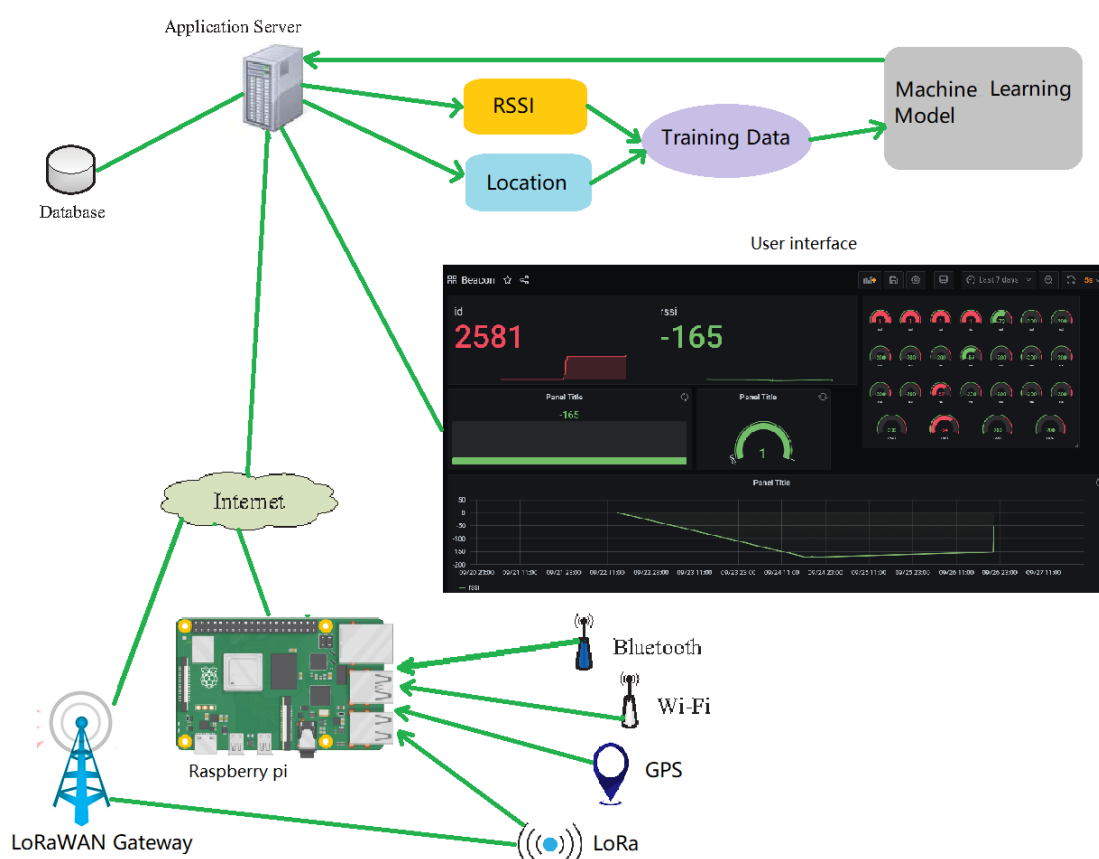
## و) معماری و نحوه ی عملکرد سیستم

از دیگر اهداف این پروژه پیاده سازی معماری برای این سیستم است که با کمک آن بتوان داده های لازم برای مکان یابی در فضای باز با کمک ماژول LoRa در شبکه ی LoRaWAN را نیز مشابه با فرستنده های بلوتوث و وای-فای انجام داد. جهت راه اندازی سخت افزار مبتنی بر ماژول LoRa که با Raspberry pi در ارتباط باشد می بایست پایه های سریال یک ماژول LoRa را به پایه های سریال Raspberry pi متصل نمود، همچنین یک ماژول GPS را از طریق پایه های سریال به Raspberry pi متصل کرد. حال با طراحی کدی به زبان برنامه نویسی پایتون می توان مقدار قدرت سیگنال های دریافتی را که ماژول LoRa هر لحظه از چند Gateway اطراف خود دریافت می کند، همزمان با پارامتر longitude و latitude دریافتی از ماژول GPS را در مجموعه داده ای ذخیره نمود. مجموعه داده ای که از این روش بدست می آید مشابه با مجموعه داده به کار رفته برای فرستنده های مبتنی بر بلوتوث و وای-



فای است، بدین صورت که زمان هر لحظه دریافت داده در ستون time، اطلاعات longitude و latitude در ستون location و قدرت سیگنال های دریافتی در ستون های بعدی ذخیره می شوند.

همان طور که در شکل (۲) مشاهده می فرمایید، Raspberry pi داده های قدرت سیگنال دریافتی را هر لحظه از مازول های فرستنده می گیرد سپس به سرور request ای با فرمت json که حاوی داده های قدرت سیگنال دریافتی، id متعلق به Raspberry pi و مقادیر longitude و latitude است، ارسال می کند. در نهایت سرور با دریافت داده ها، آن ها را در یک پایگاه داده ذخیره کرده و به کاربر نمایش می دهد. همچنین کدی به زبان پایتون در سرور همواره مشغول به اجرا است و روش های یادگیری ماشین اعم از K نزدیک ترین همسایگی را بر روی داده های جدید اعمال می کند تا مکان ها را برچسب گذاری نماید.



شکل ۲: معماری و نحوه ی برقراری ارتباط میان فرستنده های بی سیم و Raspberry Pi و نمایش داده های دریافتی در پنل به همراه نحوه ی پیاده سازی روش های یادگیری ماشین با دریافت ورودی ها

## معیارهای ارزیابی سیستم

مقالاتی که نام برده شده اند هر یک میزان خطایی را از دقت در برچسب گذاری صحیح مکان‌ها ارائه داده اند. جهت بررسی عملکرد سیستم می‌بایست بخش‌های مختلف در هر مرحله مورد ارزیابی قرار گیرند. بخش اول سخت افزارهای مجهز به ماژول بلوتوث یا وای-فای می‌باشند، جهت بررسی سلامت محصولات می‌بایست پس از طی شدن هر مرحله ولتاژ ورودی و خروجی از سخت افزارهای را با دستگاه مولتی متر اندازه گیری کرد، با توجه به این که سخت افزارها با ولتاژ ۳/۳ ولت کار می‌کنند، این مقدار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در زمان وجود ایراد، افت ولتاژ در سخت افزارها بررسی و تحلیل می‌شود.

بخش دیگر سیستم رابط کاربری آن است و جهت صحت سنجی می‌بایست داده‌های با حجم بالا را در زمان‌های مختلف جمع آوری نمود و داده‌های ثبت شده در مجموعه داده را مورد ارزیابی قرار داد. همچنین کدهای زده شده برای سرور باید در حالات مختلف دسترسی کاربران با هر تعداد، مورد ارزیابی قرار گیرد. در بخش یادگیری ماشین می‌بایست از روی داده‌های اولیه بدست آمده داده‌های ثانویه بدست آمده را مورد ارزیابی قرار داد برای این ارزیابی می‌توان میزان مربعات کمترین خطا<sup>۱</sup> (MSE) را در هر بار یادگیری در شبکه عصبی را محاسبه، بررسی و ذخیره نمود. همچنین آخرین و مهم ترین قدم در ارزیابی این سیستم بررسی دقت در تعیین مکان طی شده در فواصل گوناگون برای الگوریتم  $k$  نزدیک ترین همسایگی و شبکه عصبی و سپس نمایش آن نتایج بر روی نمودار می‌باشد.

---

<sup>۱</sup> Mean Square Error

## مراجع

- [1] Sthapit, P., Gang, H., & Pyurr, J. (2018). Bluetooth Based Indoor Positioning Using Machine Learning Algorithms. *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Asia (ICCE-Asia)*, 206-212.
- [2] K. Konstantinos and T. Orphanoudakis, "Bluetooth Beacon Based Accurate Indoor Positioning Using Machine Learning," *2019 4th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM)*, Piraeus, Greece, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/SEEDA-CECNSM.2019.8908304.
- [3] Yu-Chi Pu and Pei-Chun You. "Indoor positioning system based on BLE location fingerprinting with classification approach". In: *Applied Mathematical Modelling* 62 (2018), pp. 654–663.
- [4] R. R. Tirumalareddy, "BLE Beacon Based Indoor Positioning System in an Office Building using Machine Learning" in *Proc. Int. Conf. Control System Computer Science (CSCS)*, May 2017, pp. 159–164.
- [5] M. Mohammadi, A. Al-Fuqaha, M. Guizani and J. Oh, "Semisupervised Deep Reinforcement Learning in Support of IoT and Smart City Services," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 624-635, April 2018, doi: 10.1109/JIOT.2017.2712560.
- [6] IndustryArc report, <https://www.industryarc.com/Report/43/global-indoor-positioning-navigation-market.html>. Accessed: September 2020.