

# بهبود دقت تعیین موقعیت در شبکه بی سیم مبتنی بر کشف الگو در محیط مسقف

محسن احمدخانی<sup>۱</sup> محمدرضا ملک<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۲/۱۱

\*\*\*\*\*

## چکیده

با وجود گسترده‌گی استفاده از سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS، 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. اما توجه به این نکته ضروری است که برخی از این روش‌ها برای محیط داخل که محیط پیچیده‌ای است، مناسب نیستند. روش‌های مبتنی بر زمان دریافت سیگنال، اختلاف زمان دریافت سیگنال و زاویه دریافت سیگنال برپایه‌ی تکنیک‌های مثلث‌بندی هستند که نیاز به دید مستقیم فرستنده و 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 مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش اثرانگشت مکانی برای تخمین موقعیت دستگاه همراه کاربر از توان سیگنال دریافتی استفاده می‌کند. برای این روش الگوریتم‌های مختلفی جهت کشف الگوی مکانی نقاط نمونه به کار برده می‌شود که از آنها به روش‌های احتمالاتی، روش نزدیک‌ترین همسایگی و الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی می‌توان اشاره کرد. در این مقاله این سه روش با یکدیگر مقایسه شده و در نهایت یک روش بهبود یافته نزدیک‌ترین همسایگی ارائه شده است. با مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش‌ها، برتری روش پیشنهادی تأیید می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سیستم اطلاعات مکانی همراه، سیستم تعیین موقعیت محیط مسقف، اثرانگشت، نزدیک‌ترین همسایگی، شبکه عصبی، GIS، RMSE.

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (نویسنده مسئول)

mahmadkhani@mail.kntu.ac.ir

۲- دانشیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی mrmalek@kntu.ac.ir

## ۱- مقدمه

فراهم است بنابراین در این روش‌ها، زمان و زاویه دریافت سیگنال می‌توانند تحت تاثیر پدیده چندمسیری<sup>۷</sup> قرار گیرند و باعث تولید خطا شوند (Townsend, Fenton: 1995)؛ 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 با استفاده از سنجش قدرت سیگنال دریافتی<sup>۸</sup> که بدون هزینه قابل تعیین است، مورد استفاده قرار گیرد. این روش نیازی به وجود خط دید مستقیم نداشته و برای تمام محیط‌های مسقف با هر نوع پیچیدگی معماری قابل استفاده است. حسن بسیار مهم این روش اتکا به زیرساخت شبکه محلی بی‌سیم بوده که نه تنها در بسیاری از ساختمان‌های مهم وجود دارند بلکه ایجاد آن نیز بسیار سریع و کم هزینه خواهد بود.

در سال‌های اخیر روش‌هایی بر مبنای واحدهای اندازه‌گیری جاذبه<sup>۹</sup> (IMU) توسعه داده شده است (Wang, Lenz: 2007 & Wang, S en: 2012). این روش‌ها که اغلب روش ناوبری کور عابر پیاده نامیده می‌شوند<sup>۱۰</sup> (PDR) عموماً با استفاده از سنجنده‌های اندازه‌گیری جاذبه مانند شتاب‌سنج، ژيروسکوپ و حتی سنجنده مغناطیس بهره می‌برند (Chen, Wu: 2014) و همین امر در راستای تحقق اهداف سیستم‌های همه جاگاه به عنوان یک محدودیت بزرگ تلقی می‌شود، چرا که سرویس تعیین موقعیت محدود به کاربرانی با سکوهای مجهز به سنجنده‌های ذکر شده خواهد گردید: لذا در این تحقیق تلاش شده تا با تجهیزات معمول و حداقلی کاربران، دقت روش‌های سنتی بهبود داده شده و نیازی به استفاده از دستگاه‌هایی با سنجنده‌های مدرن و گاهاً پرهزینه نباشد.

فرقر و همکاران با استفاده از روش نوین و تلفیقی محلی‌سازی و نقشه‌برداری همزمان هوشمند<sup>۱۱</sup>، موقعیت‌یابی محیط داخل را انجام دادند. در مطالعه آنها عمر باتری سکوی

همه روزه میلیون‌ها کاربر در نقاط مختلف دنیا به نحوی از سیستم‌های تعیین موقعیت استفاده می‌کنند و به ضرورت وجود این سرویس‌ها پی برده‌اند. مهمترین سیستم تعیین موقعیت، سیستم تعیین موقعیت جهانی<sup>۱</sup> است. این سیستم که با ارسال امواج الکترومغناطیس حاوی اطلاعات در تمام جهات، امکان تعیین موقعیت مکانی را با دقت‌های قابل قبول ممکن کرده است دارای یک نقص بزرگ است. با توجه به طیف این امواج الکترومغناطیسی، این امواج به علت مسافت طولانی بسیار ضعیف بوده و برای تعیین موقعیت در محیط‌های مسقف نمی‌توانند به عنوان زیرساختی مناسب برای توسعه سیستم تعیین موقعیت استفاده شوند (Kjergaard, Blunck, Godsket al: 2010). از دیگر سو همه‌گیر شدن دستگاه‌های هوشمند همراه امکان توسعه سیستم‌های مختلف همه جاگاه<sup>۲</sup> را فراهم کرده است و ضرورت توسعه این گونه سیستم‌ها برکسی پوشیده نیست؛ لذا برای حل این مشکل نیاز به استفاده از زیرساخت‌های دیگری خواهد بود. روش‌های مختلفی برای توسعه چنین سیستم‌هایی وجود دارد که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به روش‌هایی نظیر زمان دریافت سیگنال<sup>۳</sup>، اختلاف زمان دریافت سیگنال<sup>۴</sup>، زاویه دریافت<sup>۵</sup> و اثرانگشت مکانی<sup>۶</sup> اشاره کرد (Lin, T.N, Lin, P.C: 2005). اما توجه به این نکته ضروری است که برخی از این روش‌ها برای محیط داخل که محیط پیچیده‌ای است مناسب نیستند. روش‌های مبتنی بر زمان دریافت سیگنال، اختلاف زمان دریافت سیگنال و زاویه دریافت سیگنال بر پایه‌ی تکنیک‌های مثلث‌بندی هستند که نیاز به دید مستقیم فرستنده و گیرنده خواهد بود (Lin, T.N, Lin, P.C: 2005). برای اکثر محیط‌های مسقف مانند مراکز تجاری و موزه‌ها به ندرت دید مستقیم بین فرستنده ثابت و گیرنده‌ای که می‌تواند متحرک باشد

1- GPS

2- Ubiquitous Systems

3- Time Of Arrival (TOA)

4- Time Difference Of Arrival (TDOA)

5- Angle Of Arrival (AOA)

6- Location Fingerprinting

7- Multipath Phenomena

8- Received Signal Strength (RSS)

9- Inertial Measurement Units (IMUs)

10- Pedestrian Dead Reckoning (PDR)

11- Smart SLAM

عصبی<sup>۸</sup> تکنیک‌هایی هستند که معمولاً در پروسه کشف الگو به کار گرفته می‌شوند. (Lin, T.N., Lin, P.C.:2005) یوسف و همکاران روش خوشه‌بندی اتصالات<sup>۹</sup> برای محیط‌های داخل را ارائه دادند که روشی احتمالاتی است. در نتیجه تولید سیستم تعیین موقعیت آنها دقت ۷ فوت معادل ۲/۱۳ متر حاصل شد (Youssef, Agrawala:2003). بهل و همکاران نیز با استفاده از تکنیک نزدیکترین همسایگی روش رادار<sup>۱۰</sup> را برای محیط‌های مسقف ارائه کردند و توانستند سرویس تعیین موقعیت محیط مسقف را با دقت ۲ تا ۳ متر ارائه نمایند (Bahl, Padmanabhan:2000). شبکه عصبی نیز برای کشف بهترین الگوی مکانی توسط بتیتی و همکاران استفاده گردید که طی آن دقتی معادل ۲/۳ متر حاصل شد (Battiti, Le:2002).

در این تحقیق سیستم تعیین موقعیت بر اساس همه روش‌های اشاره شده با یک پایگاه داده مشخص پیاده‌سازی شده و دقت خروجی آنها با یکدیگر مقایسه و رتبه‌بندی روش‌ها بر اساس کمترین خطا صورت پذیرفت و روش نزدیکترین همسایگی به عنوان دقیق‌ترین روش معرفی شد. با توجه به پیشینه تحقیق انجام شده، کاهش میزان خطا به عنوان یکی از اهداف مهم این مطالعه لحاظ شد لذا به منظور افزایش هرچه بیشتر دقت خروجی، با تغییر در الگوریتم برنامه، رویه‌ی مشخصی برای انتخاب نقاط همسایه به برنامه معرفی شد. نتایج حاصل از مقایسه و بررسی خروجی روش‌ها، بهبود محسوس دقت در روش توسعه داده شده را اثبات نمود.

روند کلی تحقیق در فلوچارت نگاره ۱ ترسیم و شمایی از مراحل عملی پروژه نمایش داده شده است.

## ۲- تکنیک‌های تعیین موقعیت مبتنی بر اثرانگشت مکانی

اصلی‌ترین مسأله در تفاوت سیستم‌های تعیین موقعیت مکانی بر مبنای روش اثرانگشت مکانی، استفاده از الگوریتم‌های مختلف جهت کشف الگوی مکانی است. در

سنجنده همراه و همچنین دقت قابل قبول، مدنظر قرار داده شده است. آنها مفاهیم تلفیق سنجنده‌ها که بر اساس فیلتر کالمن می‌باشد را مطرح و در تحقیق خود استفاده نمودند که در نتیجه منجر به دقتی بهتر از دقت روش‌های قدیمی شد (Faragher, Harle:2013). آنها همچنین در مطالعه‌ای دیگر سیستم تعیین موقعیت محیط مسقف دیگری با استفاده از سیستم بلوتوث کم مصرف<sup>۱</sup> توسعه دادند که کاهش مصرف انرژی، دسترسی زیاد از جمله ویژگی‌های سیستم آنها ذکر شد، اما دقت سیستم نسبت به سیستم تعیین موقعیت وای-فای بهبودی معنی‌داری ثبت نکرد. آنها همچنین در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که وجود شبکه وای-فای فعال در منطقه باعث بروز برخی اختلالات در روند تعیین موقعیت بلوتوث کم مصرف می‌شود. (Faragher, Harle:2014) زو و همکاران نیز در سال ۲۰۱۴ سیستم تعیین موقعیت محیط مسقف را با استفاده از روش نوین ماشین یادگیری عمیق پیوسته و آنلاین<sup>۲</sup> توسعه دادند. یکی از مزایای روش مورد استفاده آنها سرعت بالای پروسه تعیین موقعیت بود که منجر به کاهش هزینه و زمان شد. در نهایت ارزیابی دقت آنها بالاتری نسبت به روش‌های سنتی نشان داد. (Zou, Jiang:2014)

پروسه تعیین موقعیت بر پایه محاسبه قدرت سیگنال دریافتی دارای دو بخش کلی آنلاین<sup>۳</sup> و آفلاین<sup>۴</sup> است که در بخش آفلاین نقاط نمونه برای تشکیل زیرساخت الگو در نقاط مختلف محیط با پراکندگی مناسب وارد پایگاه داده می‌شوند و در بخش آنلاین، مشاهدات گیرنده کاربر وارد پروسه کشف الگو<sup>۵</sup> می‌شود و در نهایت شبیه‌ترین الگو به عنوان موقعیت کاربر نمایش داده می‌شود.

روش احتمالاتی<sup>۶</sup>، روش نزدیکترین همسایگی<sup>۷</sup> و شبکه

1- Bluetooth Low Energy

2- Online Sequential Extreme Learning Machine

3- Online

4- Offline

5- Pattern Recognition

6- Probabilistic method

7- K Nearest Neighbor

8- Artificial Neural Network

9- Joint Clustering

10- RADAR

n نمونه مشاهده و در پایگاه داده ثبت شده‌اند. اگر بردار  $\bar{S}$  برداری شامل قدرت سیگنال‌های دریافتی از فرستنده‌ها در مرحله آنلاین باشد و  $\omega_i$  نقطه کاندید شده به عنوان موقعیت دقیق کاربر باشد آنگاه رابطه (۱) بررسی می‌شود:

$$Decide \omega_i \text{ if } P(\omega_i | \bar{S}) < P(\omega_j | \bar{S}), \quad (1)$$

for  $i, j = 1, 2, 3, \dots, n; j \neq i$

و همچنین طبق قضیه بیز رابطه زیر برقرار است:

$$P(\omega_i | S) = \frac{P(\bar{S} | \omega_i)P(\omega_i)}{P(\bar{S})} \quad (2)$$

احتمال شرطی پسین  $P(\omega_i | \bar{S})$  ترکیبی از احتمال شباهت  $P(\bar{S} | \omega_i)$ ، احتمال پیشین  $P(\omega_i)$  و احتمال مشاهده  $P(\bar{S})$  می‌باشد. از آنجایی که مقدار  $P(\bar{S})$  و  $P(\omega_i)$  برای تمام نقاط طی پروسه تعیین موقعیت مقدار ثابتی دارد لذا خروجی الگوریتم وابسته به احتمال شباهت خواهد داشت:

$$Decide \omega_i \text{ if } P(\bar{S} | \omega_i) > P(\bar{S} | \omega_j), \quad (3)$$

for  $i, j = 1, 2, 3, \dots, n; j \neq i$

فرض می‌شود که شباهت هر نقطه کاندید دارای توزیع گوسی باشد، بنابراین میانگین و انحراف معیار هر نقطه می‌تواند با استفاده از نقاط نمونه محاسبه گردد. از طرفی اگر فرض شود که نقاط نمونه اخذ شده در مرحله آفلاین از هم مستقل باشند، آنگاه شباهت کلی نقطه مشاهده شده می‌تواند مستقیماً از حاصلضرب شباهت‌ها برای همه‌ی نقاط الگو محاسبه شود:

$$P(\bar{S} | \omega_i) = P(S_1 | \omega_i) \times P(S_2 | \omega_i) \times \dots \times P(S_m | \omega_i) \quad (4)$$

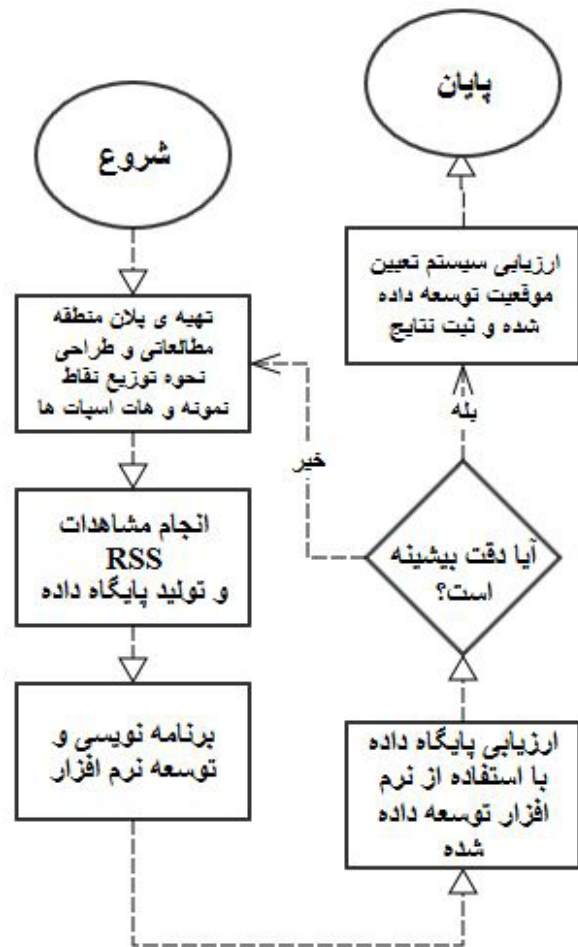
که در آن m تعداد نقاط اخذ شده در مرحله آفلاین بوده و  $S_j$  نشان‌دهنده قدرت سیگنال دریافتی در j امین نقطه است

(Lin, T.N, Lin, P.C.:2005).

## ۲-۲- نزدیکترین همسایگی

روش نزدیکترین همسایگی اختلاف بین قدرت سیگنال دریافتی از هر فرستنده با قدرت دریافت همان سیگنال در

این بخش سه روش موجود برای کشف الگو معرفی شده و مورد بررسی قرار خواهند گرفت. نکته قابل توجه این است که تمام این الگوریتم‌ها در بخش آنلاین و با استفاده از داده‌های قدرت سیگنال دریافتی از پیش ثبت شده در

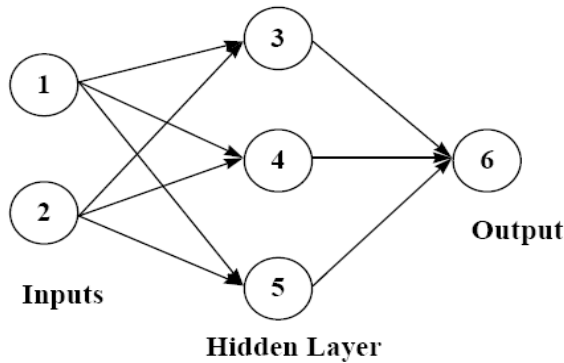


پایگاه داده منجر به تعیین الگو می‌شوند. در ادامه به بررسی هر کدام از الگوریتم‌های سه گانه پرداخته می‌شود.  
 نگاره ۱: فلوچارت تحقیق انجام شده

## ۲-۱- الگوریتم‌های احتمالاتی

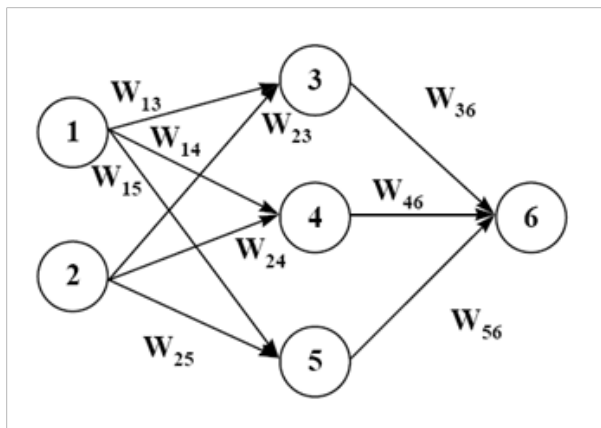
فرض کنید تعداد n نقطه به نام‌های  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$  به عنوان موقعیت کاربر نامزد شده باشند. این بدان معناست که تعداد n کلاس وجود دارد که بهترین آنها با استفاده از روش احتمال شرطی معرفی می‌شود. در مرحله آفلاین این

است. نگاره ۲ نمونه‌ای از شبکه‌های عصبی با یک لایه نهان را نشان می‌دهد.



نگاره ۲: شبکه عصبی با یک لایه نهان

با توجه به نگاره ۳، هر یال که بین گره‌های X, Y است دارای یک وزن است که با W<sub>X,Y</sub> نمایش داده می‌شود. این وزن‌ها در محاسبات لایه‌های میانی استفاده می‌شوند و طرز استفاده آنها به این صورت است که هر نود در لایه‌های میانی دارای چند ورودی از چند یال مختلف می‌باشد. همانطور که گفته شد هر کدام یک وزن خاص دارند.



نگاره ۳: شبکه عصبی به همراه وزن بین نودها

هر نود لایه میانی میزان هر ورودی را در وزن یال مربوطه آن ضرب کرده و حاصل این ضرب‌ها را با هم جمع می‌کند، سپس یک تابع از پیش تعیین شده به نام تابع فعال‌سازی روی

تمام نقاط پایگاه داده را محاسبه می‌کند. با فرض اینکه  $S_i$ ،  $j$  امین نقطه نمونه پایگاه داده از  $i$  امین فرستنده باشد و  $S_i$  قدرت سیگنال دریافتی از  $i$  امین فرستنده در فاز آنالین باشد و همچنین داشته باشیم  $i = 1, 2, \dots, m$  و همچنین  $j = 1, 2, \dots, n$  که در آن  $m$  تعداد فرستنده‌های سیگنال در محیط و  $n$  تعداد نقاط نمونه در پایگاه داده باشد، اختلاف بین  $S_i$  و  $S_{ij}$  برای تمام فرستنده‌ها برابر است با:

$$d_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m (S_i - s_{ij})^2}, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

بعد از محاسبه این مقدار برای تمام نقاط پایگاه داده، نقطه‌ای با کمترین  $d_j$  به عنوان موقعیت کاربر انتخاب می‌شود (Küpper:2005).

### ۲-۳- شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی به این منظور ایجاد شده‌اند که نگاهت غیرخطی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها برقرار سازند و همچنین در زمینه‌هایی نظیر کلاسه‌بندی و تخمین کاربرد دارند (Haykin:1999). پرسپترون چندلایه<sup>۱</sup> نمونه‌ای از شبکه‌های عصبی است که از الگوریتم آموزش نظارت شده استفاده می‌کند. شبکه‌های عصبی از پرکاربردترین و عملی‌ترین روش‌های مدل‌سازی مسائل پیچیده و بزرگ که شامل صدها متغیر هستند می‌باشد. شبکه‌های عصبی می‌توانند برای مسائل کلاسه‌بندی یا مسائل رگرسیون استفاده شوند. هر شبکه عصبی شامل یک لایه ورودی<sup>۲</sup> است. که هر گره در این لایه معادل یکی از متغیرهای پیش‌بینی می‌باشد. گره‌های موجود در لایه میانی وصل می‌شوند به تعدادی گره در لایه نهان<sup>۳</sup>. هر گره ورودی به همه گره‌های لایه نهان وصل می‌شود. گره‌های موجود در لایه نهان می‌توانند به گره‌های یک لایه نهان دیگر وصل شوند یا می‌توانند به لایه خروجی<sup>۴</sup> وصل شوند. لایه خروجی شامل یک یا چند متغیر خروجی

1- Multilayer Perceptron

2- Input Layer

3- Hidden Layer

4- Output Layer

لایه‌ی پنهان به عنوان بهترین تعداد آن به روش آزمون و خطا انتخاب شد.

### ۳- روش پیشنهادی K-شبه‌ترین

روش نزدیکترین همسایگی که پیشتر اشاره شد در بیشتر مطالعات استفاده شده و بهترین نتایج را در اکثر مقالات نشان داده است، اما مشکل اساسی تعیین موقعیت در محیط‌های مسقف تغییرپذیری محسوس قدرت سیگنال‌های دریافتی با شرایط محیطی است و حتی جهت ایستادن کاربر هنگام قرائت، دستگاه قرائت کننده و ارتفاع دستگاه منجر به عدم ثبات در نتایج می‌گردد. به عنوان مثال دما و رطوبت هوا پارامتر بسیار تعیین‌کننده‌ای خواهد بود و یا میزان تراکم انسانی محیط در لحظه انجام مشاهده تغییراتی را برای قدرت سیگنال دریافتی باعث شد. از آنجا که روش‌های کشف الگوی مکانی بصورت گسسته انجام می‌شوند و تنها نقاط ثبت شده در پایگاه داده را به عنوان موقعیت کاربر معرفی می‌کنند، بروز تغییرات در قدرت سیگنال می‌تواند باعث بروز خطاهای زیادی شوند، به همین دلیل روش نزدیکترین همسایگی با کمی تغییر بازنویسی گردید. به این شکل که به تمامی نقاط مختصات محلی  $x$  و  $y$  تخصیص داده شد و الگوریتم برنامه به این شکل بازنویسی شد که با روش توضیح داده شده در بخش ۲-۲ نقطه‌ای که نزدیکترین الگو به الگوی نقطه مشاهده شده را نشان دهد در برنامه ذخیره شده و از پایگاه داده کنار گذاشته می‌شود، الگوریتم دوباره اجرا شده و اینبار نیز نقطه‌ای با بیشترین شباهت به الگوی نقطه مشاهده شده کشف می‌گردد، در این مرحله میانگین نقطه تعیین شده در مرحله اول و دوم محاسبه شده و  $x$  و  $y$  آن به عنوان موقعیت کاربر نشان داده می‌شود.

### ۴- پیاده‌سازی و ارزیابی

#### ۴-۱- محیط مورد مطالعه و ابزارها

به منظور استفاده از روش‌های ذکر شده و مقایسه عملکرد و دقت آنها نیاز بود قدرت سیگنال دریافتی در

حاصل اعمال و نتیجه را به عنوان خروجی به نودهای لایه بعد می‌دهد. وزن یال‌ها پارامترهای ناشناخت‌های هستند که توسط تابع آموزش<sup>۱</sup> و داده‌های آموزشی که به سیستم داده می‌شود تعیین می‌شوند. تعداد گره‌ها و تعداد لایه‌های نهان و نحوه وصل شدن گره‌ها به یکدیگر معماری یا توپولوژی شبکه عصبی را مشخص می‌کند. برای طراحی شبکه عصبی باید تعداد نودها، تعداد لایه‌های نهان، تابع فعال‌سازی و محدودیت‌های مربوط به وزن یال‌ها تعریف شوند.

توابع فعال‌سازی مختلفی برای شبکه‌های عصبی معرفی شده است که هر کدام به منظور خاصی به کار برده می‌شود. اما معمولاً برای مواقعی که شرایط غیرخطی باشد از تابع‌های سیگموئید<sup>۲</sup> و تانژانت هایپربولیک<sup>۳</sup> استفاده می‌شود که به ترتیب در روابط ۶ و ۷ آمده است.

(۶)

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

(۷)

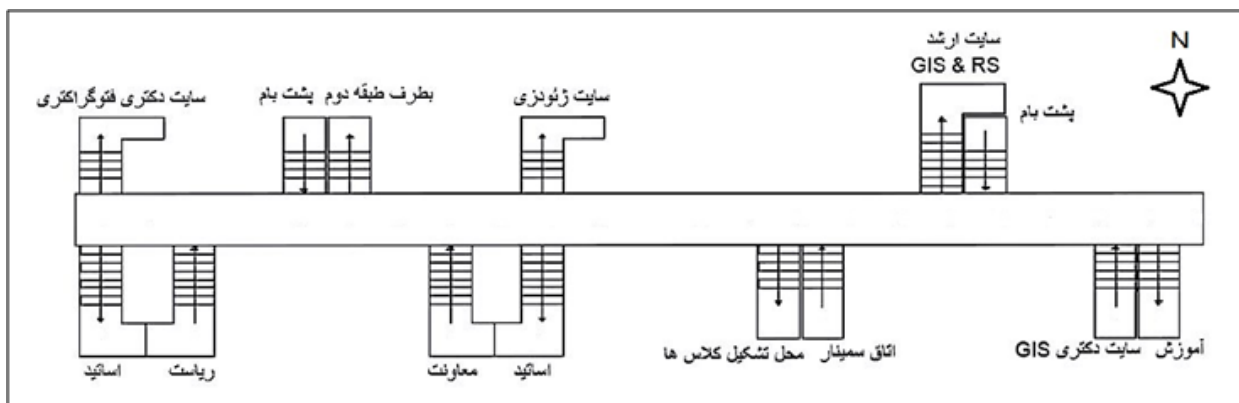
$$f(x) = \tanh\left(\frac{x}{2}\right) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}}$$

در این روش مشاهدات تمام نقاط نمونه پایگاه داده به عنوان لایه‌های ورودی وارد می‌شوند به این صورت که یک لایه برداری از مشاهدات قدرت سیگنال دریافتی یک فرستنده خاص برای تمام نقاط را تشکیل می‌دهد؛ پس به تعداد فرستنده‌ها لایه‌ی ورودی وجود خواهد داشت. لایه خروجی نیز همان شماره نقطه به عنوان موقعیت دقیق معرفی می‌گردد. بهترین تعداد لایه‌های میانی نیز بصورت سعی و خطا به دست می‌آید. با این لایه‌ها شبکه عصبی آموزش دیده و پس از آن این شبکه بصورت موتور استنتاج، ورودی‌ها را دریافت کرده و خروجی را نمایش می‌دهد (Hand, Manila: 2001). در شبکه عصبی استفاده شده در نرم‌افزار، تابع سیگموئید که یکی از رایج‌ترین توابع استفاده شده در مطالعات است، به عنوان تابع فعال‌سازی بهینه و ۷

1- Training method

2- Sigmoid

3- Hyperbolic tangent



نگاره ۴: پلان طبقه سوم ساختمان دانشکده نقشه برداری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

	id [PK] serial	number integer	point_num integer	direction character(1)	kntu1 integer	personal_ap integer	afagh_16t integer	azp integer	default1 integer	stc_n6 integer
1	1	1	1	N	-44	-80	-89	-95	-67	-88
2	2	2	1	E	-45	-73	-95	-91	-60	-91
3	3	3	1	S	-43	-80	-90	-92	-56	-91
4	4	4	1	W	-42	-81	-95	-90	-68	-95
5	5	5	2	N	-43	-81	-89	-95	-74	-90
6	6	6	2	E	-43	-79	-95	-91	-58	-90
7	7	7	2	S	-40	-78	-95	-91	-58	-90
8	8	8	2	W	-44	-80	-89	-95	-60	-95

نگاره ۵: شمای پایگاه داده نرم افزار توسعه داده شده

نویسی پروژه زبان جاوا انتخاب و برنامه مربوطه توسعه داده شد؛ نمای رابط گرافیکی کاربر نرم افزار در نگاره ۶ نشان داده شده است.

یک محیط واقعی جمع آوری گردد. به این منظور طبقه سوم ساختمان دانشکده نقشه برداری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد. نگاره ۴ پلان این ساختمان را به تصویر می کشد.

#### ۴-۲- ارزیابی و مقایسه

در این مطالعه مجموعه هایی با تعداد مشخص از نقاط تست مورد ارزیابی قرار گرفتند، به این صورت که روی محل دقیق نقاط پایگاه داده مشاهده صورت گرفت و نتیجه با مقدار واقعی مقایسه شد. برای ارزیابی دقت و محاسبه ی خطا از شاخص RMSE در رابطه (۸) استفاده شد.

ابعاد این ساختمان حدود ۷۰ متر در ۱۴ متر بوده و دارای نیم طبقات بالا و پایین است که به اتاق های اساتید، سایت ها و غیره منتهی می شود.

در این تحقیق از ۵ فرستنده سیگنال رادیویی مبتنی بر IEEE 802.11b استفاده شد که تمام نقاط ساختمان را پوشش می دادند. برای جمع آوری اطلاعات از سنسور Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac, MIMO استفاده گردید. در این مطالعه فاصله نقاط مشاهداتی ۰/۹ متر لحاظ و مشاهدات در هر نقطه با توقف ۲۰ ثانیه در چهار جهت انجام شد. برای قرائت قدرت سیگنال دریافتی از نسخه اندروید نرم افزار UssID بهره برده شد.

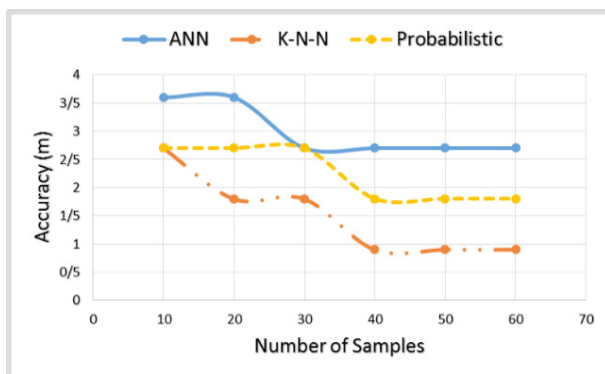
که در آن،  $X_{obs}$  مقادیر مشاهده شده و  $X_{model}$  مقادیر به دست آمده از الگوریتم برنامه می باشد.

در این تحقیق نقاط مشاهده شده به عنوان نقاط تست در مجموعه های ۱۰، ۲۰، تا ۶۰ تایی دسته بندی شدند تا در هر

نگاره ۵ شمایی از پایگاه داده ساخته شده را نشان می دهد. همچنین پس از تکمیل پایگاه داده، برای برنامه

نگاره ۶: رابط گرافیکی کاربر برنامه توسعه داده شده تحت سکوی جاوا

شکل چشمگیری بهبود یافته و دقت ۱/۸ متر را نشان داد که نسبت به حالت قبل حدود یک متر بهبود یافته است. اما با افزایش تعداد نقاط به ۳۰ عدد، روش احتمالاتی و روش نزدیکترین همسایگی بدون تغییر و به ترتیب خطایی برابر با ۲/۷ و ۱/۸ متر را نشان دادند و در مقابل روش شبکه عصبی با ۰/۹ متر و روش نزدیکترین همسایگی بهبود یافته پیشنهادی نیز با ۰/۶ متر افزایش دقت، نسبت به افزایش تعداد نقاط تست واکنش نشان دادند. با ادامه روند افزایشی تعداد نقاط تست، برای روش شبکه عصبی تغییری در میزان دقت نمایش داده شده مشاهده نشد و این در حالی بود که در حجم ۴۰ تایی نقاط تست دقت روش احتمالاتی افزایش یافته و به ۱/۸ متر رسید.



نگاره ۷: ارزیابی عملکرد سه روش شبکه عصبی، روش احتمالاتی و روش نزدیکترین همسایگی بر اساس حجم داده‌های نمونه

حالت دقت سیستم تعیین موقعیت برای هر کدام از روش‌ها ارزیابی و محاسبه گردد. بر اساس نتایج به دست آمده روش برآوردی شبکه عصبی برای تمام مجموعه نقاط بدترین دقت را ارائه نمود و نسبت به آن روش احتمالاتی دقت مطلوب‌تری نشان داد. همانطور که در نگاره ۷ نمایش داده شده است روش نزدیکترین همسایگی که یک روش قطعی برای محاسبه موقعیت است، در تمام حالات نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. این روش دقت کل مجموعه مشاهدات را حتی به زیر ۱ متر رساند. پس از اعمال شرط جدید و تخصیص مختصات محلی  $x$  و  $y$  به هر نقطه در پایگاه داده و انجام عمل میانگین‌گیری در نقاط همسایگی بهترین نتیجه در بین کل روش‌ها مشاهده گردید.

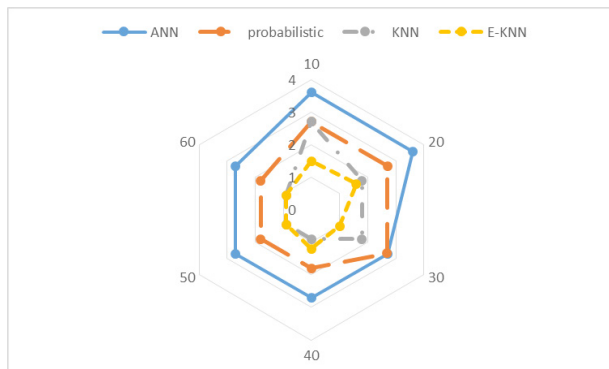
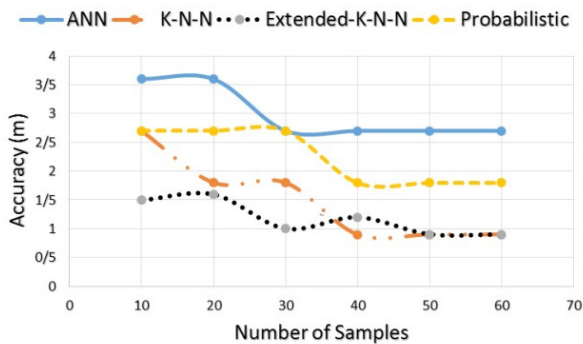
با توجه به نمودار رسم شده در نگاره ۷، روش‌های مورد ارزیابی بعد از بررسی با مجموعه نقاط مختلف نتایج قابل توجه ارائه نمودند. با بررسی روش‌ها با مجموعه نقاط ده‌تایی روش شبکه عصبی با خطای ۳/۶ متر بیشترین مقدار خطا را داشت. بنابراین دقت روش شبکه عصبی کمترین میزان دقت در مقایسه با سایر روش‌ها بود. بعد از آن، روش‌های احتمالاتی و نزدیکترین همسایگی هر دو با خطای ۲/۷ متر ارزیابی شدند. با افزایش دو برابری تعداد مشاهدات تست همچنان خروجی حاصل از شبکه عصبی با همان مقدار ۳/۶ متر و بدون بهبود آن کمترین میزان دقت را حاصل نمود، همچنین روش احتمالاتی بدون تغییر، مقدار قبلی دقت را نشان داد، تنها روش نزدیکترین همسایگی به



مراحل بعدی نیز دقت مجدداً افزایش یافت.

این تحقیق نشان داد که روش شبکه عصبی به عنوان یک روش تخمین گر برای کشف الگو نسبت به روش های دیگر عملکرد نامطلوبی دارد. همچنین در حالت کلی روش نزدیکترین همسایگی که یک روش قطعی برای کشف الگو است همواره نتایج مطلوب تری نسبت به روش های احتمالاتی و تخمینی ارائه می کند.

از سوی دیگر روش احتمالاتی دقتی بهتر از شبکه عصبی نشان داد ولی در مقایسه با روش نزدیکترین همسایگی دقت کمتری ارائه می دهد.



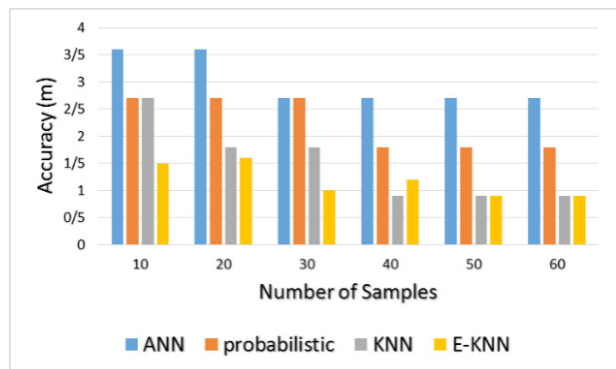
نگاره ۹: روند کلی رفتار نمودار دقت برای هر چهار روش مطرح شده

با تغییر در الگوریتم روش نزدیکترین همسایگی نتایج مشاهده شده با این روش در بیشتر مواقع نتایج دقیق تری ثبت نمود که نشان از تأثیر مثبت تغییر اعمالی در الگوریتم آن می باشد.

همچنین روش نزدیکترین همسایگی به بهترین میزان دقت خود یعنی ۰/۹ متر رسید. پس از این مرحله، افزایش حجم نقاط تست در میزان دقت روش ها تغییر چندانی ایجاد ننمود.

با توجه به نمودارهای ترسیم شده در نگاره های ۸ و ۹ روش نزدیکترین همسایگی توسعه داده شده با خطای ۱/۵ متر، بهترین دقت را در میان روش ها با ده نقطه مشاهده شده حاصل نمود.

در گام دوم و مجموعه نقاط ۲۰ تایی میزان دقت روش توسعه داده شده تغییر چندانی نمی کند. با افزایش تعداد نقاط به ۳۰ عدد، میزان دقت روش توسعه داده شده به یک متر می رسد که نشان می دهد روش پیشنهادی در این مرحله حدود ۰/۸ متر بهبود دقت حاصل نموده است. اما وقتی تعداد نقاط به ۴۰ عدد میرسد کاهش دقت برای روش پیشنهادی و افزایش دقت برای روش نزدیکترین همسایگی معمولی مشهود خواهد بود. در نهایت با افزایش تعداد نقاط به ۵۰ عدد مجدداً کاهش یافته و دقت این روش به ۰/۹ متر افزایش یافت و همین رفتار برای مجموعه ۶۰ تایی مشاهده شد.



نگاره ۸: مقایسه دقت روش پیشنهادی با سایر روش ها

### ۵- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده در این تحقیق، حاکی از آن است که دقت کلی روش با افزایش تعداد نقاط تست افزایش می یابد. این روند افزایشی دقت پایدار نبوده و در روش پیشنهادی برای مجموعه نقاط ۴۰ تایی نتیجه عکس مشاهده شد که در

Networks, Communications and Mobile Computing, 2005 International Conference on (Vol. 2, pp. 1569-1574). IEEE.

10- Townsend, B. R., Fenton, P. C., DIERENDONCK, K. J., & NEE, D. R. (1995). Performance evaluation of the multipath estimating delay lock loop. *Navigation*, 42(3), 502-514.

11- Youssef, M. A., Agrawala, A., & Udaya Shankar, A. (2003, March). WLAN location determination via clustering and probability distributions. In *Pervasive Computing and Communications, 2003.(PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on* (pp. 143-150). IEEE.

12- Wang, H., Sen, S., Elgohary, A., Farid, M., Youssef, M., & Choudhury, R. R. (2012, June). No need to war-drive: unsupervised indoor localization. In *Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services* (pp. 197-210). ACM.

13- Wang, H., Lenz, H., Szabo, A., Bamberger, J., & Hanebeck, U. D. (2007, March). WLAN-based pedestrian tracking using particle filters and low-cost MEMS sensors. In *Positioning, Navigation and Communication, 2007. WPNC'07. 4th Workshop on* (pp. 1-7). IEEE.

14- Zou, H., Jiang, H., Lu, X., & Xie, L. (2014, March). An online sequential extreme learning machine approach to WiFi based indoor positioning. In *Internet of Things (WF-IoT), 2014 IEEE World Forum on* (pp. 111-116). IEEE. [15]

## سیاسگزاری

بدین وسیله از خانم مهندس هاجر رحیمی که در تهیه پایگاه داده و انجام مشاهدات کمک‌های با ارزشی نمودند، قدردانی می‌گردد.

## منابع و مأخذ

- 1- Bahl, P., & Padmanabhan, V. N. (2000). RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE* (Vol. 2, pp. 775-784). Ieee.
- 2- Battiti, R., Le, N. T., & Villani, A. (2002). Location-aware computing: a neural network model for determining location in wireless LANs.
- 3- Chen, L. H., Wu, E. H. K., Jin, M. H., & Chen, G. H. (2014). Intelligent fusion of Wi-Fi and inertial sensor-based positioning systems for indoor pedestrian navigation. *Sensors Journal, IEEE*, 14(11), 4034-4042.
- 3- Faragher, R., & Harle, R. (2014, September). An analysis of the accuracy of bluetooth low energy for indoor positioning applications. In *Proceedings of the 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+'14)*.
- 4- Faragher, R., & Harle, R. (2013, September). SmartSLAM—an efficient smartphone indoor positioning system exploiting machine learning and opportunistic sensing. In *ION GNSS* (Vol. 13, pp. 1-14).
- 5- Hand, D. J., Mannila, H., & Smyth, P. (2001). *Principles of data mining*. MIT press.
- 6- Haykin, S. (1999). *Neural Networks, A comprehensive Foundation Second Edition* by Prentice-Hall.
- 7- Kjær, M. B., Blunck, H., Godsk, T., Toftkjær, T., Christensen, D. L., & Grønbaek, K. (2010). Indoor positioning using GPS revisited. In *Pervasive Computing* (pp. 38-56). Springer Berlin Heidelberg.
- 8- Küpper, A. (2005). *Location-based services: fundamentals and operation*. John Wiley & Sons.
- 9- Lin, T. N., & Lin, P. C. (2005, June). Performance comparison of indoor positioning techniques based on location fingerprinting in wireless networks. In *Wireless*