

ارایه روشی نوین جهت مکان‌یابی اشیاء متحرک با استفاده از آنتن‌های مونوپل و ماتریس پراکندگی بمنظور افزایش کیفیت خدمت در هوشمندسازی پارکینگ‌ها

سیده محمد رفیع امامی میبیدی

کارشناسی ارشد، مهندسی مکترونیک، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، rafimre@ut.ac.ir

بهرام تاروپردی زاده

(نویسنده مسئول) استادیار، مهندسی مکترونیک، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران*

علیرضا هادی

استادیار، مهندسی مکترونیک، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، hrhadi@ut.ac.ir

حمیدرضا معمارزاده طهران

استادیار، مهندسی علوم و فناوری شبکه، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، hmemar@ut.ac.ir

چکیده موقعیت‌یابی خودرو در محیط پارکینگ بعنوان عاملی مهم جهت هوشمندسازی پارکینگ‌ها بوده که در نتیجه‌ی آن هدایت خودرو امکان‌پذیر بوده که عاملی جهت افزایش کیفیت خدمت‌رسانی در پارکینگ خواهد بود. با توجه به بسته بودن محیط پارکینگ، موقعیت‌یابی اجسام در آن، از جمله مکان‌یابی اجسام در محیط‌های سرپوشیده می‌باشد. استفاده از امواج رادیویی و روش‌های مربوط به آن، بمنظور مکان‌یابی در محیط سرپوشیده، از جمله راهکارهای ارائه شده در این زمینه است. در برخی روش‌های دیگر این حوزه، تنها با استفاده از تجهیزات موجود در محیط (مشابه رادارهای مکان‌یاب)، مکان جسم در فضای سرپوشیده، محاسبه می‌گردد. از معایب هر دو این روش‌های می‌توان به نیاز به تجهیزات اضافی با قیمت‌های بالا، حساسیت بسیار زیاد نسبت به شرایط محیطی و پارازیت‌های موجود، اشاره نمود. در این پژوهش تلاش شده است تا با بهره‌گیری از آنتن‌های مونوپل و استفاده از ماتریس پراکندگی، فرآیند مکان‌یابی انجام پذیرد. بدین منظور در ابتدا محیط پارکینگ با صفحه‌ای شامل چند آنتن مونوپل شبیه‌سازی شده و با استفاده از نرم‌افزار مبتنی بر المان محدود، ماتریس پراکندگی برای حالت عدم حضور و حضور جسم در شرایط محیطی مختلف که شبیه‌سازی شده است، بدست می‌آید. پس از محاسبه‌ی ماتریس‌های پراکندگی، داده‌های مورد نیاز انتخاب شده و با استفاده از شبکه عصبی، هر یک از این مقادیر به یک موقعیت جسم نسبت داده می‌شود. در فاز بعد، به ازای قرار گرفتن جسم در موقعیت جدید، ماتریس پراکندگی مربوطه، بدست آمده و با مقایسه با اطلاعات جمع‌آوری شده در مرحله قبل، مکان جسم را محاسبه می‌نماید. این فرآیند مشابه با الگوریتم اثر انگشت می‌باشد با این تفاوت که بجای استفاده از مقادیر توان سیگنال از ماتریس پراکندگی شده است. از مزایای این روش می‌توان به عدم نیاز به کالیبراسیون و اندازه‌گیری دقیق موقعیت آنتن‌ها، قابلیت توسعه‌پذیری و ارائه راهکاری جدید جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت محاسبه‌ی موقعیت جسم اشاره کرد.

کلمات کلیدی: پارکینگ هوشمند، مکان‌یابی در محیط سرپوشیده، ماتریس پراکندگی، پارامتر پراکندگی، الگوریتم اثر انگشت

۱- مقدمه

شهرها، رشد نموده است. در این میان هوشمند نمودن سیستم‌های مرتبط با حمل و نقل و ترافیک، یکی از مهمترین مولفه‌ها در خصوص هوشمندسازی شهرها می‌باشد. پارکینگ‌های هوشمند نیز بعنوان جزئی مهم در این حوزه، بخش بسیاری از تحقیقات را به خود اختصاص داده‌اند [۱]. هدایت و راهنمایی رانندگان در پارکینگ‌ها به فضای پارک مناسب یکی از مهمترین مواردی است که در پارکینگ‌های هوشمند، مدنظر می‌باشند. این امر موجب

امروزه مدیریت کیفیت خدمات با رشد روز افزون تکنولوژی و نیاز به دستیابی به حداکثر مطلوبیت‌ها چه از نظر خدمت دهندگان در سازمان‌ها و چه از نظر مشتری توجه خاصی در حوزه‌های تحقیقاتی و کاربرد به خود اختصاص داده است. این مقوله در خصوص شهرها با ارائه راهکارهایی متنوع در زمینه هوشمندسازی

* (Corresponding author) bahram@ut.ac.ir

۱-۱- روش هندسی

در این روش، براساس الگوریتم‌های ارائه شده، موقعیت جسم تا حداقل سه نقطه مرجع (آنتن‌هایی با مکان مشخص) محاسبه و محل جسم تخمین زده می‌شود. این روش خود به دو نوع زیر تقسیم بندی می‌شود:

۱-۱-۱ روش فاصله

در روش فاصله^{۱۲} با اندازه‌گیری فاصله جسم تا نقاط مرجع و با توجه به الگوریتم مورد استفاده، موقعیت جسم محاسبه می‌گردد. تاکنون الگوریتم‌های متنوعی برای این روش، ارائه شده‌اند. موارد زیر نمونه‌ای از این راهکارها می‌باشند (در سه روش اول، نیاز به تجهیزاتی با هزینه بالا جهت محاسبه زمان است) [۵]، [۶] و [۸-۱۰]:

(۱) زمان ورود (TOA)^{۱۳}

(۲) اختلاف زمان ورود (TDOA)^{۱۴}

(۳) زمان رفت و برگشت (RTOF یا RTT)^{۱۵}

(۴) فاز سیگنال دریافتی (فاز ورودی) (POA)^{۱۶}

(۵) توان سیگنال دریافتی (RSS)^{۱۷}:

در این روش، جسم متحرک در هر نقطه توان سیگنال دریافتی از نقاط مرجع را اندازه‌گیری می‌کند (و یا بالعکس، نقاط مرجع توان سیگنال دریافتی از جسم را محاسبه می‌کنند). با توجه به این مساله که توان دریافتی، وابسته به موقعیت جسم است، با پردازش اطلاعات توان، موقعیت جسم محاسبه می‌شود [۴-۶]. بطور کلی دو رویکرد متفاوت در مورد نحوه استفاده از «توان سیگنال دریافتی» بمنظور موقعیت‌یابی، وجود دارد که یک رویکرد آن از انواع روش هندسی بوده و رویکرد دیگر مربوط به روش تحلیل محیط می‌باشد (شرح این رویکرد در قسمت تحلیل محیط ارائه شده است). در رویکرد هندسی مربوط به روش RSS، از وابستگی افت توان سیگنال به فاصله میان جسم متحرک و نقطه مرجع، استفاده می‌شود. بدین صورت که مقادیر توان دریافتی اندازه‌گیری شده نسبت به چند نقطه مرجع، با توجه به مدل افت انتشار سیگنال، بصورت فاصله میان جسم و نقطه مرجع تفسیر شده و موقعیت جسم با استفاده از یک روش هندسی مناسب، محاسبه می‌شود [۸-۱۰].

۱-۱-۲ روش زاویه^{۱۸}

در این روش که با نام «زاویه‌ی ورودی»^{۱۹} نیز شناخته می‌شود، زاویه‌ی دریافت سیگنال ارسال شده از فرستنده، توسط گیرنده

خواهد شد تا علاوه بر استفاده مناسب از کلیه فضاهای پارک موجود در پارکینگ، از ازدحام و سرگردانی وسایل نقلیه در پارکینگ جلوگیری نماید که در نتیجه افزایش کیفیت خدمت‌رسانی در پارکینگ را منجر خواهد شد [۲] و [۳]. به منظور هدایت و راهنمایی رانندگان در ابتدا بایستی موقعیت خودرو شناسایی شود که در خصوص فضاهای پارک کنار خیابان‌ها و نیز پارکینگ‌های سرباز، از سامانه GPS^۱ استفاده شده است. اما به علت محدودیت فنی این سامانه در مکان‌یابی در فضاهای سرپوشیده، عملاً نمی‌توان برای پارکینگ‌های طبقاتی و مسقف از این سامانه‌ها استفاده نمود [۴-۶]. به منظور مکان‌یابی اجسام در محیط‌های سرپوشیده^۲ (مانند موقعیت‌یابی خودرو در پارکینگ‌های سرپوشیده و طبقاتی)، روش‌های متفاوتی ارائه شده‌اند که هر یک در شرایط خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در روش‌های موجود مکان‌یابی در محیط‌های سرپوشیده، جسم متحرک (که یافتن مکان آن مدنظر می‌باشد) به یک فرستنده یا گیرنده، مجهز می‌باشد. این امر موجب می‌شود تا هزینه استفاده از این تجهیزات برای پارکینگ‌ها افزایش یافته و در حالت کلی غیر عملی گردد. به همین منظور استفاده از آنتن‌هایی ثابت (با توزیع غیریکنواخت) در پارکینگ، که هم در حالت فرستندگی و هم گیرندگی کار کنند، در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرند. بطور کلی تحقیقات و پژوهش‌های صورت گرفته مرتبط با این موضوع را می‌توان به دو دسته پارکینگ‌های هوشمند^۳ و مکان‌یابی در محیط‌های سرپوشیده تقسیم کرد: با توجه به گستردگی پژوهش‌ها و تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی هر یک از این مباحث، این حوزه‌ها به قسمت‌های مختلفی تقسیم بندی می‌شوند که در ادامه بطور اجمالی به آن‌ها اشاره می‌شود. تحقیقات انجام شده در زمینه پارکینگ‌های هوشمند در پنج دسته جای می‌گیرند [۲]، [۳] و [۷]:

۱- سیستم‌های اطلاعاتی پارکینگ^۴

۲- سیستم‌های هدایت و راهنمایی در پارکینگ^۵

۳- سیستم‌های رزرو در پارکینگ^۶

۴- سیستم‌های پرداخت در پارکینگ^۷

۵- پارکینگ‌های اتوماتیک^۸

همچنین می‌توان حوزه‌ی مکان‌یابی در محیط‌های سرپوشیده را از منظر «الگوریتم‌های مورد استفاده» به سه دسته «روش هندسی»^۹، تحلیل محیط^{۱۰}، روش محاسبه نزدیکی و مجاورت^{۱۱} «تقسیم‌بندی کرد [۸-۱۰].

مقایسه و از طریق یک الگوریتم جستجو، موقعیت جسم تعیین می‌گردد [۶]، [۸-۱۳]. در مراجع و مقالات مختلف الگوریتم‌های جستجو متفاوتی ارائه شده‌اند که پنج الگوریتم جستجوی مهم که بر پایه مکان‌یابی اثرانگشتی می‌باشند، عبارتند از: الگوریتم احتمالات^{۲۴}، الگوریتم k-نزدیکترین همسایه^{۲۵}، الگوریتم شبکه عصبی چند لایه^{۲۶}، الگوریتم کوچکترین Mضلعی^{۲۷} و الگوریتم ماشین برداری پشتیبان^{۲۸}

۳-۱- روش محاسبه نزدیکی و مجاورت

این روش به نسبت دو روش قبل (روش‌های هندسی و تحلیل محیط) کاربرد کمتری داشته و تحقیقات کمتری در این حوزه صورت پذیرفته است. در این روش، موقعیت جسم متحرک بطور حدودی و با توجه به محدوده‌ی آنتنی که تحت پوشش آن قرار گرفته است، تعیین می‌گردد. چنانچه جسم در محدوده‌ی چند آنتن قرار گرفته باشد، به آنتنی که بیشترین توان را از جسم دریافت می‌کند، نسبت داده شده و بدین ترتیب موقعیت جسم با محدوده‌ی تحت پوشش آنتن مورد نظر، تقریب زده می‌شود [۸-۱۰].

۳-۲- طراحی و شبیه‌سازی سیستم مکان‌یابی اشیاء

هوشمندسازی پارکینگ به مولفه‌های مختلفی وابسته است. موقعیت‌یابی و هدایت رانندگان در فضای پارکینگ یکی از این مولفه‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه محیط پارکینگ یک محیط سرپوشیده است، مکان‌یابی در این فضا از جمله موارد مکان‌یابی در محیط‌های سرپوشیده خواهد بود. در اکثر روش‌های مکان‌یابی در محیط‌های سرپوشیده که از امواج رادیویی^{۲۹} استفاده می‌کنند، جسم متحرک^{۳۰} به یک فرستنده مجهز بوده که امواج ارسالی آن، توسط نقطه یا نقاط مرجع^{۳۱} دریافت شده و با استفاده از الگوریتم‌های مختلف مکان جسم تخمین زده می‌شود. در برخی روش‌ها این فرآیند برعکس می‌باشد، یعنی امواج توسط نقاط مرجع ارسال شده و توسط جسم متحرک که مجهز به گیرنده است، دریافت می‌گردد. در اینگونه روش‌ها با توجه به مجهز بودن جسم متحرک به یک فرستنده و یا گیرنده، هزینه پیاده‌سازی بالا رفته، بعلاوه با توجه به مشکلات امواج رادیویی در محیط‌های سرپوشیده، مانند انتشار چند مسیره و فیدینگ^{۳۲}، محاسبه‌ی مکان جسم با خطای زیاد همراه خواهد بود. همچنین در برخی روش‌های دیگر، جسم متحرک مجهز به فرستنده و یا گیرنده نمی‌باشد و فرآیند مکان‌یابی با استفاده از امواج رادیویی که توسط نقاط مرجع

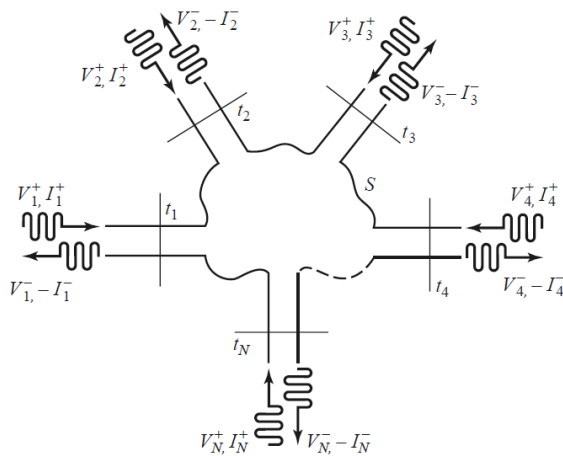
اندازه‌گیری می‌شود. در این روش از آنتن‌هایی با طراحی خاص (آنتن آرایه‌ای) استفاده می‌شود [۹] (ایده‌ی اولیه شبیه‌سازی محیط پارکینگ، در روش ارائه شده در این پژوهش، از ساختار آنتن‌های آرایه‌ای گرفته شده است). زاویه دریافت سیگنال از جسم متحرک در نقطه مرجع، با استفاده از آنتن آرایه‌ای به دو روش قابل محاسبه است. در روش اول، جهت دریافت سیگنال، با اندازه‌گیری تفاوت فاز بین المان‌های آنتن آرایه‌ای بدست می‌آید. در روش دوم، زاویه‌ی دریافت سیگنال از جسم متحرک، با استفاده از تکنیک‌های پردازش سیگنال آرایه‌ای، محاسبه می‌شود. با ترکیب زاویه‌ی ورودی (AOA) اندازه‌گیری شده در دو نقطه مرجع، موقعیت جسم قابل محاسبه است. تعداد نقاط مرجع مورد نیاز، جهت تخمین موقعیت جسم در این روش نسبت به روش‌های TOA و TDOA کمتر است. مزیت دیگر این روش، عدم نیاز به همزمان‌سازی و استفاده از ساعت‌های دقیق (جهت محاسبه دقیق زمان)، می‌باشد. اما در این روش نیز، مشابه با روش‌های ذکر شده، بایستی جسم متحرک به یک فرستنده یا گیرنده مجهز باشد [۵]، [۶] و [۸-۱۰].

۳-۲- روش تحلیل محیط

همانطور که در قسمت روش هندسی (در توضیح روش توان سیگنال دریافتی یا همان RSS) بیان شد، مقادیر توان دریافتی را با دو رویکرد می‌توان استفاده کرد که یک رویکرد بصورت هندسی بوده (که در قسمت روش هندسی شرح داده شد) و رویکرد دیگر مربوط به روش تحلیل محیط می‌باشد. در این روش ابتدا مشخصات محیط (توان سیگنال دریافتی به ازای موقعیت‌های مختلف جسم) جمع آوری شده، سپس موقعیت جسم براساس اندازه‌گیری و محاسبه لحظه‌ای مقادیر توان سیگنال دریافتی در هر موقعیت و مقایسه آنها با مشخصات جمع آوری شده، بدست می‌آید. این روش که معروف به «اثر انگشت»^{۳۰} نیز می‌باشد، در دو فاز اساسی قابل پیاده‌سازی می‌باشد:

(۱) در فاز اول که فاز کالیبراسیون^{۳۱} یا فاز آفلاین^{۳۲} می‌باشد، ابتدا یک ناحیه از فضای مورد بررسی، به چندین قسمت تقسیم‌بندی شده و توان سیگنال‌های دریافتی توسط نقاط مرجع (آنتن‌ها)، در هر یک از نواحی اندازه‌گیری می‌شود و مقادیر RSS اندازه‌گیری شده همراه با موقعیت آنها در یک پایگاه داده ذخیره می‌شود.

(۲) در فاز دوم که فاز موقعیت‌یابی یا فاز آنلاین^{۳۳} نام دارد، توان سیگنال دریافتی توسط نقاط مرجع (آنتن‌ها) در حضور جسم اندازه‌گیری می‌شود و با مقادیر RSS ذخیره شده در پایگاه داده



شکل ۲- یک شبکه دلخواه با N درگاه

۲-۱- ماتریس پراکندگی

همانطور که در فرکانس‌های پایین^{۳۸} جهت توصیف وضعیت یک شبکه با N درگاه^{۳۹} (که در شکل ۲ نشان داده شده است)، از ماتریس‌های امپدانس^{۴۰} و ادمیتانس^{۴۱}، استفاده می‌شود، در فرکانس‌های بالا^{۴۲} (فرکانس‌های مایکروویو^{۴۳})، ماتریس پراکندگی بکار برده می‌شود. ماتریس‌های امپدانس و ادمیتانس، رابطه‌ی مقادیر ولتاژ و جریان برای تمام درگاه‌ها را نشان می‌دهد، بنابراین با محاسبه مقادیر ولتاژ و جریان، این ماتریس‌ها مطابق با فرمول‌های ۱ و ۲ بدست خواهند آمد (برای محاسبه امپدانس و ادمیتانس از روابط ۱ و ۲ استفاده می‌شود). با توجه به اینکه در این شبکه، جریان و ولتاژ متناوب می‌باشد (با فرکانس پایین)، مقادیرشان اعدادی موهومی بوده که در نتیجه امپدانس و ادمیتانس هم اعدادی موهومی خواهند بود [۱۹-۲۱].

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & \cdots & Z_{NN} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\rightarrow [V] = [Z][I]$$

$$Z_{ij} = \left. \frac{V_i}{I_j} \right|_{I_k=0 \text{ for } k \neq j}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & \cdots & Y_{NN} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\rightarrow [I] = [Y][V] \rightarrow [Y] = [Z]^{-1}$$

$$Y_{ij} = \left. \frac{I_i}{V_j} \right|_{V_k=0 \text{ for } k \neq j}$$

ارسال شده، صورت می‌پذیرد. در این روش‌ها، با توجه الگوریتم مورد استفاده، محاسبه توان سیگنال‌های دریافتی و یا محاسبه زمان مورد نیاز است که در حالت اول بعلت مشکلات امواج رادیویی در محیط‌های سرپوشیده (انتشار چند مسیره و فیدینگ) خطای تخمین موقعیت جسم زیاد بوده و برای حالت دوم نیز تنها با استفاده از تجهیزات گران قیمت (جهت محاسبه دقیق زمان) می‌توان مکان جسم را با دقت مناسب محاسبه نمود. بدین ترتیب در این پژوهش تلاش شده است تا از یک شبکه حسگر بی سیم کم هزینه (که متشکل از چندین آنتن مونوپل^{۳۳} با چیدمان‌های مختلف است) استفاده شده و با بررسی میزان تاثیر حضور جسم در محیط توسط ماتریس پراکندگی^{۳۴} و پارامترهای آن^{۳۵} و با بهره‌گیری از شبکه عصبی چند لایه^{۳۶}، مکان جسم تخمین زده شود. با توجه به اینکه در این روش، فرآیند مکان‌یابی در دو فاز آفلاین و آنلاین انجام می‌گیرد، انواع چیدمان‌های آنتن‌ها در محیط (منظم و نامنظم) قابل استفاده بوده و همچنین فرآیند کالیبراسیون و اندازه‌گیری دقیق محل آنتن‌ها مورد نیاز نمی‌باشد. در نهایت نیز با داشتن مکان جسم می‌توان هدایت و راهنمایی آن را انجام داد.

در این پژوهش تلاش می‌شود تا از ساختاری مشابه آنتن (ESPAR^{۳۷}) استفاده شود. آنتن‌های ESPAR که یکی از انواع آنتن‌های آرایه‌ای می‌باشد، نمونه‌ای از آنتن‌های استفاده شده در روش هندسی و از نوع راهکار «زاویه ورود» محسوب می‌شود. این مدل آنتن از تعدادی آنتن مونوپل تشکیل می‌شود. ابعاد آنتن ESPAR در قیاس با فضایی که در آن قرار می‌گیرد کوچک می‌باشد و با قرارگیری دو عدد از این آنتن‌ها در محیط، که یکی فرستنده و دیگری گیرنده است، فرآیند مکان‌یابی اجسام داخل محیط صورت می‌گیرد [۹] و [۱۴-۱۸]. در شکل ۱ تصویری از آنتن ESPAR نشان داده می‌شود. در این پژوهش با الهام گرفتن از این نوع آنتن، مکان‌یابی انجام می‌پذیرد، با این تفاوت که تمامی آنتن‌های مونوپل روی صفحه، توانایی ارسال و دریافت امواج را داشته و جسم در میان این آنتن‌ها جابجا می‌شود. بعلاوه بجای محاسبه زاویه ورود امواج (که در آنتن ESPAR استفاده می‌شود)، ماتریس پراکندگی، محاسبه خواهد شد.



شکل ۱- تصویری از آنتن ESPAR

میزان تاثیر آنتن I ام از امواج آنتن J ام می باشد. پارامتر S_{ij} ، موج ولتاژ بازگشته به خود آنتن نسبت به موج اعمال شده به آن را نشان می دهد. هر چه این مقدار کمتر باشد، نشان دهنده راندمان بهتر و طراحی مناسب آنتن می باشد، چراکه مقدار کمتری از موج ولتاژ به خود آنتن بازگشته است [۱۹-۲۱]. استفاده از این موضوع، بخش مهمی از روش ارائه شده در این پژوهش است، چراکه در این پارامترها (پارامترهای قطری ماتریس پراکندگی)، با نزدیک شدن جسم به آنتن مربوطه، میزان بیشتری از موج ولتاژ به خود آنتن باز می گردد. در نتیجه اندازه پارامترهای قطری به موقعیت جسم مرتبط خواهد بود.

۳- تئوری

به منظور مکان یابی در محیط سرپوشیده، استفاده از آنتن هایی ثابت (با توزیع یکنواخت و غیریکنواخت) در پارکینگ، که هم در حالت فرستندگی و هم گیرندگی کار کنند، در این پژوهش مورد بررسی قرار می گیرند. این فرآیند تقریباً مشابه عملکرد رادار می باشد با این تفاوت که تاثیر امواج بازتابی و پارازیت ها در محیط های سرپوشیده، یکی از چالش های پیش رو برای این طرح می باشد. روش پیشنهادی برای رفع این چالش، استفاده از ماتریس پراکندگی می باشد. این ماتریس پس از مدلسازی مجموعه آنتن ها و برای چیدمان های مختلف آن ها، در نرم افزار مبتنی بر روش حل المان محدود با نام ANSYS HFSS و با تحلیل سیگنال های محیط، بدست می آید. در ابتدا تاثیر حضور جسم در محیط در حالت چیدمان تنها یک آنتن، مورد بررسی قرار گرفته و ماتریس های پراکندگی برای حالت عدم حضور و حضور جسم در موقعیت های مختلف محاسبه می گردد. بدین ترتیب تعداد ماتریس های پراکندگی بدست آمده برابر با تعداد نقاط حضور جسم بعلاوه یک حالت عدم حضور جسم، می باشد. از تفاضل ماتریس پراکندگی در حالت عدم حضور جسم از ماتریس های پراکندگی در حالت حضور جسم در موقعیت های مختلف، ماتریس های پراکندگی تفاضل یافته بدست می آیند (که تعداد آن ها برابر با تعداد نقاط حضور جسم است). در ادامه به کمک شبکه عصبی چند لایه و با استفاده از مقادیر پارامترهای ماتریس پراکندگی تفاضل یافته (بعنوان داده های ورودی^{۴۵} شبکه عصبی) و مقادیر موقعیت های جسم (بعنوان داده های هدف^{۴۶} در شبکه عصبی)، فرآیند آموزش شبکه عصبی انجام می گیرد (این مرحله بعنوان فاز آفلاین شناخته می شود). پس از اتمام فرآیند آموزش، وزن های شبکه عصبی بدست خواهند آمد که با توجه به مقدار داده های ورودی، مقادیر داده های خروجی محاسبه خواهند شد. هر چه

مقادیر مولفه های ماتریس امیدانس با استفاده از رابطه ۱ بدین صورت بدست می آیند که چنانچه تنها به شاخه J ام، جریانی به مقدار I_j اعمال گردد (و این مقدار برای سایر شاخه ها صفر باشد)، ولتاژ گره I ام، برابر V_i خواهد بود که این مقادیر با استفاده از ابزارهای محاسبه جریان و ولتاژ (ولت متر و آمپرسنج) قابل اندازه گیری هستند. در نتیجه پارامتر Z_{ij} (امیدانس یا مقاومت پارامتر مربوطه) از تقسیم این دو مقدار بدست می آید.

همچنین مقادیر مولفه های ماتریس ادمیتانس با استفاده از رابطه ۲ بدین صورت بدست می آیند که چنانچه تنها به گره J ام، ولتاژی به مقدار V_j اعمال گردد (و این مقدار برای سایر گره ها صفر باشد)، جریان شاخه I ام، برابر I_i خواهد بود که این مقادیر با استفاده از ابزارهای محاسبه جریان و ولتاژ (ولت متر و آمپرسنج) قابل اندازه گیری هستند. در نتیجه پارامتر Y_{ij} (ادمیتانس یا رسانایی پارامتر مربوطه) از تقسیم این دو مقدار بدست می آید.

اما در فرکانس های بالا، محاسبه مقادیر ولتاژ و جریان بسیار دشوار بوده بعلاوه روابط فوق میان ولتاژ و جریان همواره برقرار نمی باشد. در نتیجه برای توصیف وضعیت شبکه از ماتریس پراکندگی استفاده می گردد. این ماتریس رابطه میان امواج ولتاژ^{۴۴} اعمال شده (ولتاژ ارسال) به هر درگاه و امواج ولتاژ منعکس شده (ولتاژ دریافتی یا بازگشتی از محیط) از هر درگاه را نشان می دهد (فرمول ۳ این رابطه را نشان می دهد). بعبارت دیگر با اعمال ولتاژ به هر درگاه، امواجی ایجاد شده که سایر درگاه ها (و حتی همان درگاه) آن امواج را با ولتاژ خاصی دریافت می کنند. پارامترهای ماتریس پراکندگی را می توان در عمل، با استفاده از روش های تحلیل شبکه و یا با کمک دستگاه تحلیل گر شبکه، بدست آورد [۱۹-۲۱].

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \\ \vdots \\ V_N^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1N} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{N1} & S_{N2} & \cdots & S_{NN} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \\ \vdots \\ V_N^+ \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\rightarrow [V^-] = [S][V^+]$$

برای یک پارامتر خاص از ماتریس پراکندگی رابطه زیر تعریف می گردد:

$$S_{ij} = \left. \frac{V_i^-}{V_j^+} \right|_{V_k^+ = 0 \text{ for } k \neq j} \quad (4)$$

معنای رابطه فوق این است که چنانچه تنها به درگاه J ام، موج ولتاژی به مقدار V_j^+ اعمال گردد (و این مقدار برای سایر درگاه ها صفر باشد)، درگاه I ام، موج ولتاژی به اندازه V_i^- دریافت می کند. در نتیجه پارامتر S_{ij} از تقسیم این دو مقدار بدست آمده و بیانگر

۹- اجرای فاز آموزش شبکه عصبی چند لایه براساس روش MLP (براساس این روش m مجموعه داده بصورت تک به تک به شبکه داده شده و براساس وزن‌های محاسبه شده برای شبکه عصبی، مقادیر خروجی شبکه با مقادیر هدف مرتبط با هر مجموعه داده که مختصات موقعیت جسم می‌باشد، مقایسه شده و براساس میزان خطا وزن شبکه تغییر می‌کند. این فرآیند تا زمانی که میزان خطا برای کلیه m مجموعه داده از حد خاصی کمتر شود ادامه می‌یابد)

۱۰- اجرای فاز آنلاین (مراحل ۱۱ تا ۱۵)

۱۱- قرار گرفتن جسم در موقعیت جدید و محاسبه ماتریس پراکندگی

۱۲- اعمال مقادیر اندازه و فاز ماتریس پراکندگی تفاضل یافته به شبکه عصبی چندلایه (که در مرحله ۸ آموزش داده شده است)

۱۳- محاسبه مقادیر مختصات جسم

۱۴- مقایسه موقعیت محاسبه شده و با موقعیت واقعی جسم و بدست آوردن خطای محاسبه

۱۵- اجرای مراحل ۱۱ تا ۱۴ برای موقعیت‌های جدید مدنظر (M موقعیت)

۱۶- ترسیم نمودار سه بعدی خطای محاسبات براساس موقعیت جسم و محاسبه مقادیر میانگین خطا و میانگین مربعات خطا

اختلاف داده‌های خروجی با داده‌های هدف (مقدار داده خطا^۴) کمتر باشد، جواب بهتری بدست آمده است. در نهایت با بهره‌گیری از شبکه‌ی عصبی آموزش داده شده و ماتریس‌های پراکندگی تفاضل یافته (که در اثر حضور جسم در موقعیت‌های مختلف جدید محاسبه خواهند شد)، مکان جسم تخمین زده می‌شود (این مرحله همان فاز آنلاین بوده که مکان جسم با استفاده از مقادیر محاسبه شده در فاز آفلاین بدست می‌آید).

در این پژوهش، تعداد نرون‌های ورودی شبکه عصبی، دو برابر تعداد آنتن‌های موجود در محیط می‌باشد. چراکه با بررسی نمودارهای تغییرات اندازه و فاز مربوط به پارامترهای پراکندگی، نمودارهای مربوط به درایه‌های قطری، جواب‌های بهتر و قابل تعمیم‌تری نسبت به سایر نمودارها ارائه می‌دهند. در نتیجه با توجه به اینکه هر یک از این پارامترهای قطری ماتریس پراکندگی، دو مقدار اندازه و فاز دارند، بنابراین تعداد نرون‌های ورودی شبکه عصبی دو برابر تعداد درایه‌های ماتریس پراکندگی می‌باشد (که برابر تعداد آنتن‌های محیط است). همچنین تعداد نرون‌های لایه‌ی خروجی برابر با ۲ می‌باشد که همان مقدار X و Y برای موقعیت جسم است.

مراحل و فلوچارت (شکل ۳) الگوریتم ارائه شده در این پژوهش (الگوریتم ماتریس پراکندگی) بدین صورت می‌باشد:

۱- شبیه سازی چیدمان n آنتن در محیط

۲- محاسبه ماتریس پراکندگی ($n \times n$) در حالت عدم حضور جسم

۳- اجرای فاز آفلاین (مراحل ۴ تا ۷)

۴- قراردادن جسم در موقعیت مشخص و محاسبه ماتریس پراکندگی ($n \times n$)

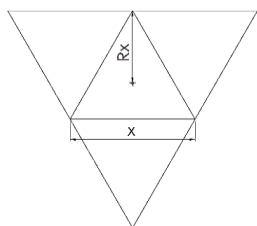
۵- محاسبه تغییرات (تفاضل) ماتریس‌های پراکندگی ($n \times n$) در دو حالت (برای موقعیت مدنظر)

۶- محاسبه مقادیر اندازه و فاز پارامترهای قطری ماتریس پراکندگی تفاضل یافته (n پارامتر قطری و ۲ مقدار اندازه و فاز برای هر پارامتر قطری در مجموع $2 \times n$ مولفه)

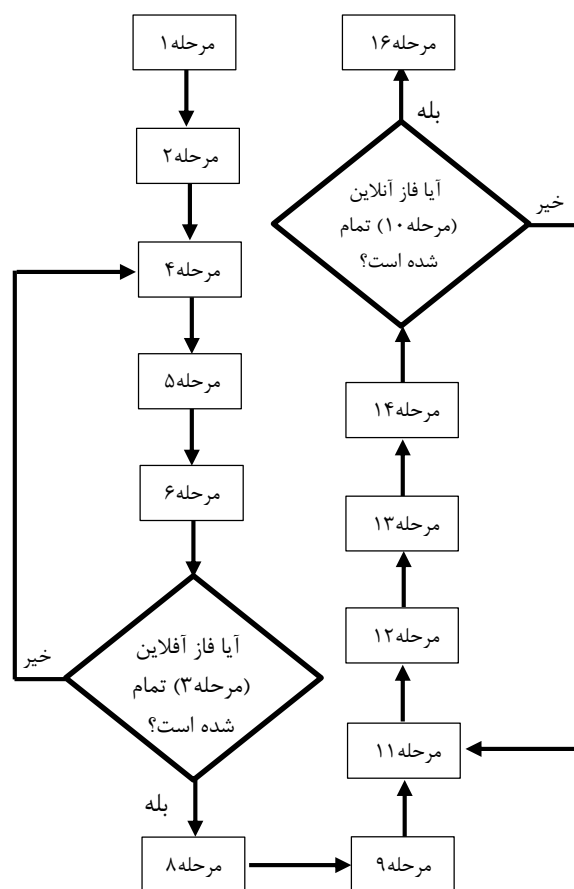
۷- اجرای مراحل ۴ تا ۶ برای تمامی نقاط مدنظر (m نقطه) جهت جمع آوری داده برای فاز آفلاین روش (در پایان جمعاً m ماتریس پراکندگی تفاضل یافته خواهیم داشت، بعبارت دیگر m مجموعه داده شامل $2 \times n$ داده به همراه مختصات موقعیت جسم)

۸- ترسیم شبکه عصبی با $2 \times n$ نرون ورودی، ۱۰ نرون در دو لایه مخفی و ۲ نرون خروجی (هدف)

پنج و هفت آنتن به بالا، با توجه به عدم توسعه پذیری این چیدمان‌ها، بررسی نشده‌اند). بمنظور مقایسه این سه حالت، معیار ثابتی (که در ادامه شرح داده خواهد شد) لحاظ گردید که بر اساس آن تحلیل انجام پذیرد. در هر یک از این حالت‌ها سطحی محدود به آنتن‌ها وجود خواهد داشت که برای سه آنتن یک مثلث متساوی الاضلاع، برای حالت چهار آنتن یک مربع و برای شش آنتن یک شش ضلعی منتظم خواهد بود (فاصله آنتن‌ها در هر یک از این حالات با یکدیگر برابر است). مساحت این سطوح با توجه به محل قرار گیری آنتن‌ها محاسبه می‌گردد. اگر این مساحت تقسیم بر تعداد آنتن تشکیل دهنده آن سطح گردد، عددی بدست خواهد آمد که معیاری مناسب جهت مقایسه‌ی این سه حالت می‌باشد. اگر فاصله آنتن‌ها از یکدیگر را در حالت سه آنتن با حرف x (شکل ۴) و این مقدار را برای چهار آنتن با حرف y (شکل ۵) و برای حالت شش آنتن با حرف z (شکل ۶) نمایش داده و به ترتیب برای هر حالت فاصله آنتن‌ها تا مرکز هندسی سطوحشان با R_x ، R_y و R_z نشان داده شوند، خواهیم داشت:



شکل ۴- نمایش چیدمان سه آنتن در محیط (و آنتن‌های مجاور در حالت توسعه محیط) و محاسبه مساحت محدود به آن‌ها



شکل ۳- فلوچارت الگوریتم ارائه شده در این پژوهش

جهت بررسی و تحلیل داده‌ها نیز نمودار داده‌های خطا بر حسب موقعیت جسم ترسیم شده و مقدار میانگین مربعات خطا^{۴۸}، بعنوان معیار بررسی جواب‌ها و انتخاب بهترین حالت در نظر گرفته خواهد شد. همچنین بمنظور ارزیابی و بررسی نتایج مربوط به چیدمان تعداد آنتن‌های مختلف در محیط و انتخاب چیدمان مناسب، بایستی شرایط بگونه‌ای فراهم گردد تا امکان مقایسه میان این حالات وجود داشته باشد. بدین منظور از میان چیدمان‌های مختلف آنتن‌ها در محیط، چیدمان سه و چهار و شش آنتن در محیط انتخاب شدند. چراکه در حالت چیدمان یک آنتن در محیط، تنها فاصله جسم از محل آنتن، با تخمین بسیار خوبی قابل محاسبه است، اما مکان دقیق جسم قابل محاسبه نخواهد بود (فاصله جسم از آنتن بیانگر مکان هندسی یک دایره خواهد بود در نتیجه مکان دقیق جسم قابل ارائه نمی‌باشد). در حالت چیدمان دو آنتن نیز بطور مشابه، تنها فاصله جسم از دو آنتن با تقریب خوبی قابل محاسبه است که این نتایج معرف دو نقطه در محیط خواهد بود، بنابراین مکان دقیق جسم مشخص نمی‌باشد. بدین ترتیب چیدمان سه، چهار و شش آنتن مورد بررسی قرار خواهند گرفت (چیدمان

$$R_z = z \quad (15)$$

$$A = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot (R_z)^2 = \frac{\sqrt{3}}{4} R_z^2 \quad (16)$$

در معادلات ۸، ۱۲ و ۱۶ مقدار A ، همان معیار ثابت می‌باشد که با برابر قرار دادن آن برای هر سه حالت، نسبت فاصله‌ی آنتن‌ها در این حالات بدست خواهد آمد.

$$A = \frac{\sqrt{3}}{4} R_x^2 = \frac{1}{2} R_y^2 = \frac{\sqrt{3}}{4} R_z^2 \quad (17)$$

$$\rightarrow R_x^2 = \frac{2}{\sqrt{3}} R_y^2 = R_z^2$$

حال اگر فاصله‌ی آنتن‌ها تا مرکز هندسی در حالت چیدمان سه آنتن در محیط برابر ۹۰ میلی‌متر ($R_x = 90 \text{ mm}$) در نظر گرفته شود، فاصله تا مرکز هندسی برای دو حالت دیگر با توجه به رابطه ۱۷ بدست می‌آید:

$$R_z = R_x = 90 \text{ mm} \quad (18)$$

$$R_y = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} R_x = 83.75 \text{ mm} \quad (18)$$

همچنین با توجه به روابط ۷، ۱۱، ۱۵ و ۱۸ می‌توان فاصله آنتن‌های مجاور (طول اضلاع چند ضلعی) برای هر یک از حالات را بدست آورد:

$$x = \sqrt{3} R_x = 155.9 \text{ mm}$$

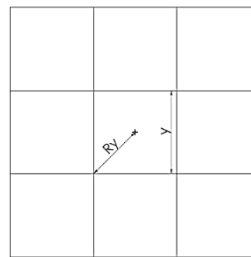
$$y = \sqrt{2} R_y = 118.5 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm} \quad (19)$$

$$z = R_z = 90 \text{ mm}$$

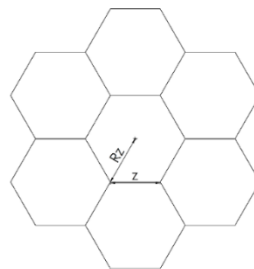
بنابراین فاصله آنتن‌های مجاور (طول اضلاع چند ضلعی) برای چیدمان سه، چهار و شش آنتن به ترتیب $x = 155.9 \text{ mm}$ ، $y \approx 120 \text{ mm}$ و $z = 90 \text{ mm}$ لحاظ شده که برای این حالات فاصله آنتن‌ها تا مرکز هندسی نیز به ترتیب $R_x = 90 \text{ mm}$ ، $R_y \approx 84.85 \text{ mm}$ و $R_z = 90 \text{ mm}$ می‌باشد. بدین ترتیب نحوه آرایش و چیدمان آنتن‌ها برای هر سه حالت بدست آمده و ماتریس‌های پراکندگی در شرایط عدم حضور و حضور جسم (که یک کره به قطر ۱۵ میلی‌متر فرض شده است) در موقعیت‌های مختلف، مربوط به هر یک از این چیدمان‌ها محاسبه خواهد شد. همچنین تنها موقعیت‌هایی که محدود به محیط میان آنتن‌ها می‌باشند، در نظر گرفته شده و از نتایج آن‌ها استفاده می‌شود.

۴- نتایج تحقیق

با توجه به تئوری بیان شده، در ابتدا برای چیدمان مورد، با کمک نرم‌افزار مبتنی بر المان محدود با نام ANSYS HFSS،



شکل ۵- نمایش چیدمان چهار آنتن در محیط (و آنتن‌های مجاور در حالت توسعه محیط) و محاسبه مساحت محدود به آن‌ها



شکل ۶- نمایش چیدمان شش آنتن در محیط (و آنتن‌های مجاور در حالت توسعه محیط) و محاسبه مساحت محدود به آن‌ها

با توجه به شکل ۴ خواهیم داشت:

$$S_{Triangle} = \frac{1}{2} x \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} x = \frac{\sqrt{3}}{4} x^2 \quad (5)$$

$$A = \frac{S_{Triangle}}{3} = \frac{\sqrt{3}}{12} x^2 \quad (6)$$

$$R_x = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{2} x = \frac{1}{\sqrt{3}} x = \frac{\sqrt{3}}{3} x \quad (7)$$

$$A = \frac{\sqrt{3}}{12} \cdot (\sqrt{3} R_x)^2 = \frac{\sqrt{3}}{4} R_x^2 \quad (8)$$

با توجه به شکل ۵ نیز خواهیم داشت:

$$S_{Square} = y \cdot y = y^2 \quad (9)$$

$$A = \frac{S_{Square}}{4} = \frac{1}{4} y^2 \quad (10)$$

$$R_y = \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{2} y = \frac{1}{\sqrt{2}} y = \frac{\sqrt{2}}{2} y \quad (11)$$

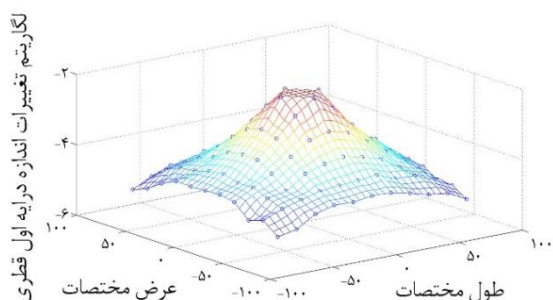
$$A = \frac{1}{4} \cdot (\sqrt{2} R_y)^2 = \frac{1}{2} R_y^2 \quad (12)$$

با توجه به شکل ۶ نیز روابط زیر بدست می‌آید:

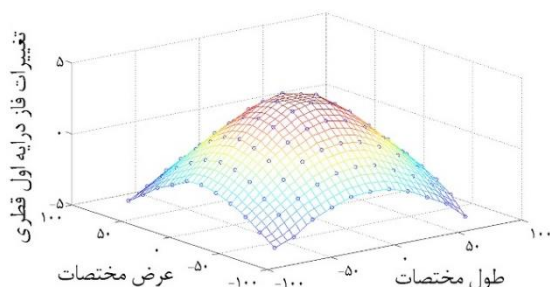
$$S_{Hexa} = 6 \cdot \frac{1}{2} z \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} z = \frac{3\sqrt{3}}{2} z^2 \quad (13)$$

$$A = \frac{S_{Hexa}}{6} = \frac{\sqrt{3}}{4} z^2 \quad (14)$$

در نمودار ۲ مقادیر فاز تنها پارامتر ماتریس پراکندگی تفاضل یافته رسم شده است.



نمودار ۱- لگاریتم مقادیر اندازه پارامتر S_{11} از ماتریس پراکندگی تفاضل یافته در موقعیت‌های مختلف جسم



نمودار ۲- مقادیر فاز پارامتر S_{11} از ماتریس پراکندگی تفاضل یافته در موقعیت‌های مختلف جسم

با توجه به مقارن بودن نتایج نسبت به آنتن مرکزی، نتایج مناسبی برای حالتی که داده‌های اصلاح شده بعنوان ورودی (دو نرون برای ورودی شبکه عصبی) و مکان جسم (با مختصات x و y) بعنوان داده‌های هدف، بدست نمی‌آید. بنابراین برای حالت تنها یک آنتن از محاسبه فاصله جسم از آنتن بعنوان داده‌های هدف استفاده شده است. نمودار ۳، میزان خطای فاصله محاسبه شده نسبت به فاصله واقعی جسم از آنتن را در هر موقعیت جسم نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، فاصله جسم از آنتن با خطای بسیار کمی (کمتر از ۳ میلیمتر) توسط شبکه عصبی، محاسبه شده‌اند. میانگین خطا برای این حالت ۰٫۳۵۴ میلیمتر بوده و میانگین مربعات خطا نیز برابر ۰٫۲۷۰ میلیمتر مربع می‌باشد. این مقادیر نشان می‌دهد که محاسبه فاصله جسم از آنتن با دقت بسیار بالایی صورت پذیرفته است.

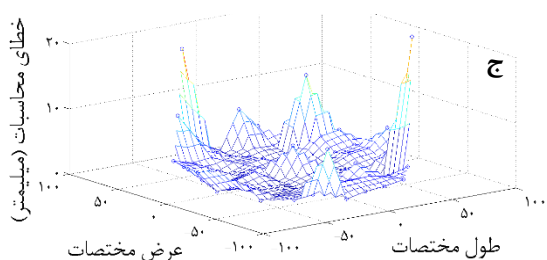
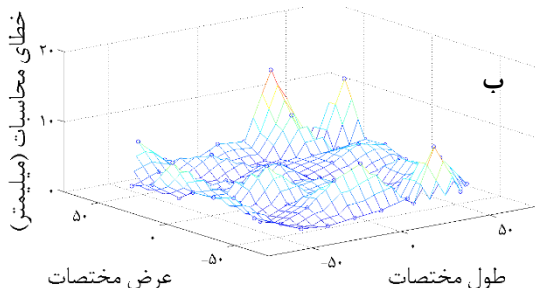
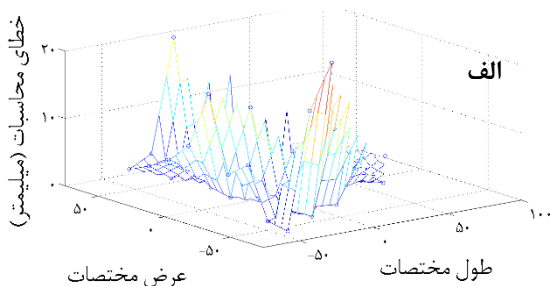
بمنظور انتخاب بهترین چیدمان که قابلیت مقیاس‌پذیری^{۵۰} را نیز داشته باشند، تنها سه نوع چیدمان مثلث متساوی‌الاضلاع، مربع و هشت ضلعی منظم وجود دارد. بدین ترتیب مشابه با فرآیند انجام شده برای حالت یک آنتن در محیط باز، برای چیدمان‌های سه، چهار و شش آنتن در محیط باز، در ابتدا هر یک از این حالات با توجه به مقادیر بدست آمده از روابط ۱۸ و ۱۹ در نرم‌افزار

شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه خروجی این نرم‌افزار پس از انجام تحلیل، ماتریس پراکندگی می‌باشد، جهت استفاده و نمایش این نتایج از نرم‌افزار متلب^{۴۹} استفاده شده است. بدین صورت که ماتریس پراکندگی تفاضل یافته (تفاضل ماتریس‌های پراکندگی برای موقعیت‌های مختلفی که جسم در آن‌ها قرار دارد نسبت به حالتی که جسم حضور ندارد)، محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه پارامترهای ماتریس پراکندگی اعداد مختلط می‌باشند، در نتیجه تفاضل این ماتریس‌ها نیز اعداد مختلطی خواهد بود که مقدار اندازه‌ی این اعداد بیانگر اندازه ولتاژ و مقدار فاز آن نشان دهنده فاز ولتاژ است که این ولتاژ براساس دریافت امواج محیط توسط آنتن (موج ولتاژ)، در آن ایجاد می‌گردد. لذا می‌توان برای هر پارامتر ماتریس پراکندگی تفاضل یافته دو نمودار اندازه و فاز ترسیم کرد. همچنین با توجه به حضور جسم در موقعیت‌های مختلف، برای هر موقعیت، مقادیر ماتریس پراکندگی متفاوت می‌باشد. لذا جهت نمایش این مقادیر از نمودارهای سه بعدی استفاده می‌شود که دو بعد آن بیانگر مختصات محل حضور جسم و بعد سوم بیانگر مقدار متغیر مدنظر می‌باشد. در ادامه با استفاده از شبکه عصبی چند لایه، نتایج حاصله (مقادیر اندازه و فاز ماتریس‌های پراکندگی تفاضل یافته بعنوان داده‌های ورودی شبکه عصبی) و موقعیت‌های جسم (بعنوان داده‌های هدف شبکه عصبی)، فرآیند آموزش شبکه عصبی انجام شده و در نهایت تخمین مکان جسم با استفاده از آن صورت می‌پذیرد. با مقایسه مقادیر محاسبه شده با مقادیر واقعی، میزان خطای محاسبات بدست آمده که می‌توان این مقادیر را نیز با استفاده از یک نمودار سه بعدی، برای تمامی موقعیت‌های جسم، نمایش داد.

۱-۴- نتایج برای چیدمان آنتن‌ها در محیط باز

در ابتدا، حالت چیدمان یک آنتن در محیط باز شبیه‌سازی شده که براساس فرآیند ذکر شده، مقادیر ماتریس‌های پراکندگی برای حالت عدم حضور جسم و حضور جسم در موقعیت‌های مختلف (در محیطی به ابعاد ۱۵۰ میلیمتر در ۱۵۰ میلیمتر) محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه تنها یک آنتن در محیط قرار دارد (در مرکز مختصات)، ماتریس پراکندگی تنها یک پارامتر داشته و بنابراین دو نمودار مربوط به اندازه و فاز این پارامتر قابل ترسیم می‌باشد. در نمودار ۱، لگاریتم مقادیر اندازه مربوط به تنها پارامتر ماتریس پراکندگی تفاضل یافته (یا به عبارت دیگر لگاریتم تغییرات اندازه‌ی پارامتر ماتریس پراکندگی در هر موقعیت جسم نسبت به حالت عدم حضور جسم) نشان داده شده است. همچنین

نمودار ۳- خطای داده‌های محاسبه شده توسط شبکه عصبی نسبت به فاصله واقعی جسم (I) از آنتن در موقعیت‌های مختلف جسم



نمودار ۴- خطای داده‌های محاسبه شده توسط شبکه عصبی نسبت به مکان واقعی جسم برای تمامی موقعیت‌های آن در فضای محدود به (الف) ۳ آنتن (ب) ۴ آنتن (ج) ۶ آنتن

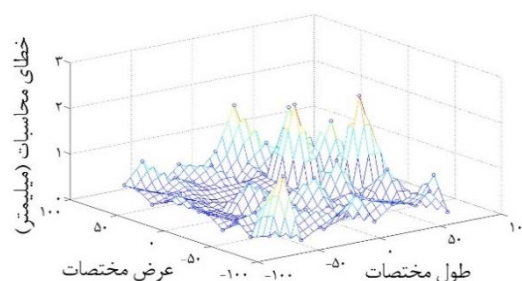
با توجه به نتایج بدست آمده مقادیر میانگین خطا و میانگین مربعات خطا، برای هر یک از چیدمان‌های مذکور، در جدول ۱ بیان شده است.

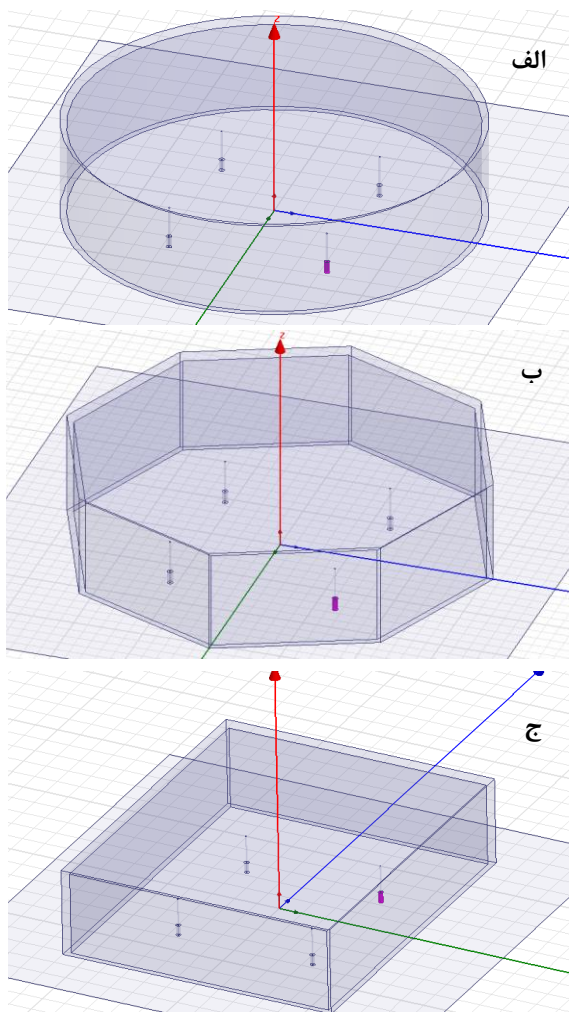
جدول ۱- مقادیر میانگین خطا و میانگین مربعات خطا براساس نوع چیدمان آنتن‌ها

نوع چیدمان	میانگین خطا	میانگین مربعات خطا
سه آنتن	۴,۰۶ mm	۴۸,۰۹ mm ²
چهار آنتن	۳,۳۳ mm	۱۶,۷۸ mm ²
شش آنتن	۲,۷۶ mm	۱۸,۱۶ mm ²

بطور کلی هر سه حالت در اکثر موقعیت‌های جسم تا حد بسیار خوبی، مکان آن را تخمین زده‌اند. اما با توجه به کمتر بودن مقدار میانگین مربعات خطا برای حالت چیدمان چهار آنتن، این آرایش

شبه‌سازی شده و مطابق با روش بیان شده ماتریس پراکندگی تفاضل یافته برای هر موقعیت جسم (در هر یک از چیدمان‌ها) محاسبه می‌گردد. بمنظور ایجاد شرایط یکسان جهت مقایسه و ارزیابی حالات نیز، براساس نکات ذکر شده در قسمت تئوری، موقعیت‌هایی از جسم که محدود به فضای میان آنتن‌ها هستند، لحاظ شده است. همچنین برخلاف حالت یک آنتن برای حالات دیگر، ماتریس پراکندگی دارای درایه غیر قطری می‌باشد اما در این پژوهش تنها از درایه‌های قطری ماتریس پراکندگی استفاده شده است. در ادامه نیز با استفاده از شبکه عصبی با دولایه مخفی و ۱۰ نرون در هر لایه، براساس داده‌های بدست آمده، مکان جسم تخمین زده شده و با مقادیر واقعی مقایسه و میزان مقادیر خطا محاسبه می‌گردند. این مقادیر برای هر یک از چیدمان‌ها در نمودار ۴ (الف تا ج) نشان داده شده‌اند.





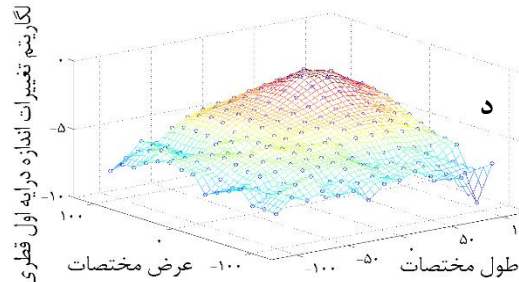
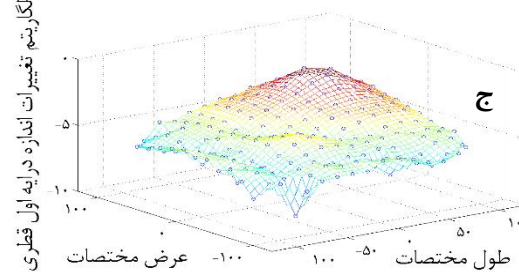
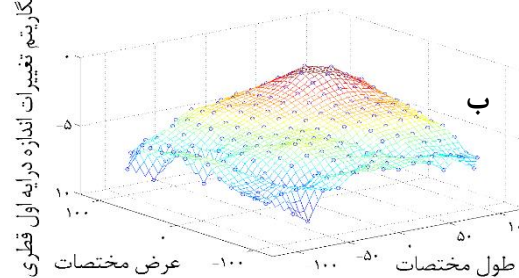
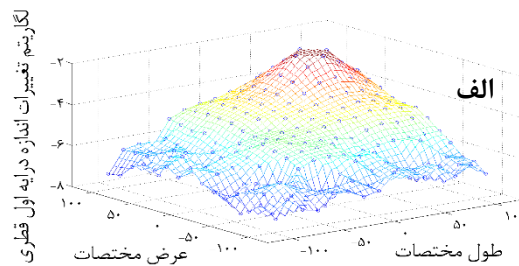
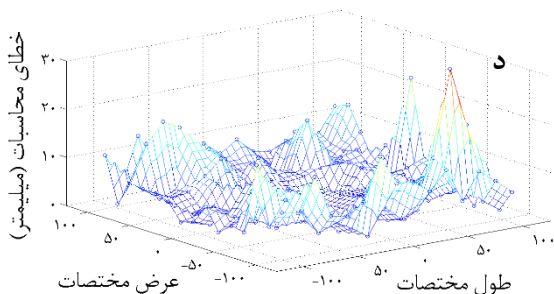
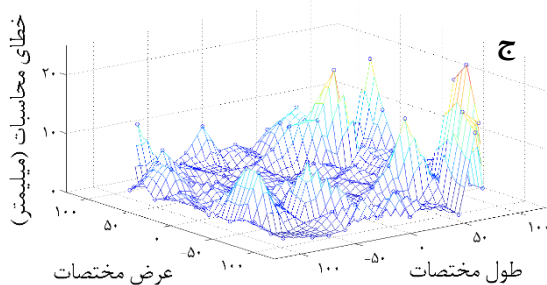
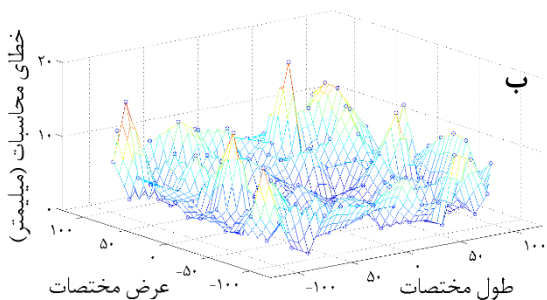
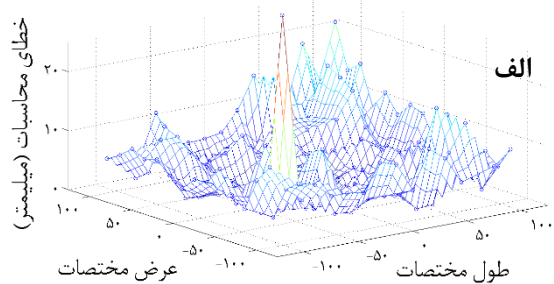
شکل ۷ - نمایش چیدمان ۴ آنتن در محیط بسته به شکل الف) دایره (ب) هشت ضلعی منتظم ج) مستطیل

نتایج و نمودارهای بدست آمده از تحلیل هر یک از این شرایط نشان می‌دهد که وضعیت محیطی (باز و بسته بودن آن) تأثیری بر روی الگوی تغییرات مقادیر اندازه و فاز مربوط به پارامترهای ماتریس پراکندگی تفاضل یافته ندارد. اگرچه این مقادیر (اندازه و فاز) در شرایط مختلف، متفاوت می‌باشد، اما الگوی تغییرات آن‌ها تفاوت چندانی باهم نخواهد داشت. در نمودار ۵، این نتایج تنها برای مقادیر اندازه پارامتر S_{11} از ماتریس پراکندگی تفاضل یافته برای چهار حالت (محیط باز و سه محیط بسته) نشان داده شده است.

نسبت به دو حالت دیگر، مناسب‌تر بوده و پاسخ‌های بهتری ارائه خواهد کرد. بنابراین حالت چیدمان با چهار آنتن به عنوان حالت بهینه، نسبت به دو حالت دیگر انتخاب شده و جهت بررسی نتایج برای محیط‌های بسته از این چیدمان استفاده خواهد شد.

۲-۴- نتایج برای چیدمان آنتن‌ها در محیط‌های بسته

بمنظور بررسی تأثیر محیط بر روی نتایج، فرآیند تحلیلی چندین حالت و تحت شرایط مختلف محیطی انجام گرفت. جهت تحلیل تأثیر باز و یا بسته بودن محیط بعنوان یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر شرایط محیطی، محاسبات برای چهار حالت مختلف صورت پذیرفت. بدین منظور، چیدمان چهار آنتن در محیط، انتخاب و چهار حالت مختلف، شامل محیط کاملاً باز، محیط بسته به شکل دایره (شکل ۷-الف)، محیط بسته به شکل هشت ضلعی منتظم (شکل ۷-ب) و محیط بسته به شکل مستطیل (شکل ۷-ج)، مدل شده و مورد بررسی قرار گرفتند به نحوی که آنتن‌ها رئوس یک مربع با ابعاد ۱۲۰ میلی‌متر باشند. همچنین جسم در محیطی به ابعاد ۲۱۰ میلی‌متر در ۲۱۰ میلی‌متر جایجا شده (برخلاف تحلیل در محیط باز که جسم در فضای محدود به آنتن‌ها در هر چیدمان جایجا می‌شد) و مقادیر ماتریس پراکندگی (و ماتریس پراکندگی تفاضل یافته) برای هر موقعیت جسم در هر یک از حالات محاسبه خواهد شد. در ادامه با استفاده از شبکه عصبی چند لایه و نتایج بدست آمده، مکان جسم تخمین و با مقایسه و تحلیل داده‌های حاصله، تأثیر انواع دیواره‌ها بررسی خواهد شد.



نمودار ۵- لگاریتم مقادیر اندازه پارامتر S_{11} از ماتریس پراکندگی تفاضل یافته در موقعیت‌های مختلف جسم برای (الف) محیط باز، محیط بسته به شکل (ب) دایره (ج) هشت ضلعی منتظم (د) مستطیل

پس از محاسبه ماتریس پراکندگی تفاضل یافته برای تمامی نقاط حضور جسم در هر یک از چهار حالت ذکر شده، با استفاده از این نتایج و شبکه عصبی چند لایه، وزن‌های شبکه عصبی مربوطه بدست آمده و در نهایت تخمین مکان جسم صورت می‌پذیرد. در نتیجه مقادیر خطای محاسبات در هر موقعیت جسم برای هر یک از حالات بدست آمده که این نتایج در نمودار ۶ (الف تا د) نشان داده شده است. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده مقادیر میانگین خطا و میانگین مربعات خطا، برای هر یک از چیدمان‌های مذکور، در جدول ۲ بیان شده است.

نمودار ۶- خطای داده‌های محاسبه شده توسط شبکه عصبی نسبت به مکان واقعی جسم برای تمامی موقعیت‌های آن برای چیدمان چهار آنتن در محیط (الف) باز (ب) بسته دایره‌ای (ج) بسته هشت ضلعی (د) بسته مستطیلی

جدول ۲- مقادیر میانگین خطا و میانگین مربعات خطا براساس نوع محیط قرارگیری چهار آنتن

نوع محیط چیدمان	میانگین خطا	میانگین مربعات خطا
باز	۵,۷۷۹ mm	۵۳,۶ mm ²
بسته (دایره‌ای)	۴,۸۵۳ mm	۳۳,۲۶ mm ²
بسته (هشت ضلعی)	۳,۶۰۶ mm	۲۶,۰۲ mm ²
بسته (مستطیلی)	۵,۶۲۵ mm	۵۰,۵ mm ²

۵- نتیجه گیری

اجرای کم در این روش، نسبت به روش‌های دیگر انجام گرفته است. در جدول ۳، انواع روش‌ها، دقت اندازه‌گیری، هزینه اجرا و

جدول ۳- مقایسه انواع روش‌های مکان‌یابی در محیط بسته با روش ماتریس پراکندگی [۴] و [۵]

روش مکان‌یابی	ابعاد محیط دقت اندازه‌گیری درصد دقت	هزینه اجرا	الگوریتم مورد استفاده
ZigBee	۴۰ m	متوسط	RSS-Fingerprinting
	۳ ~ ۵ m ٪۷,۵ ~ ٪۱۲,۵		
RFID	۳۵ m	متوسط	RSS-Fingerprinting
	۲ ~ ۵ m ٪۵,۷ ~ ٪۱۴,۳		
UWB	۲۰ m ۰,۱ m ٪۰,۵	زیاد	TOA , TDOA
WLAN	۵۰ m	متوسط	RSS-Fingerprinting
	۲ ~ ۳ m ٪۴ ~ ٪۶		
SPOT ON	۱۵ m	کم	RSS-Triangulate
	۳ m ٪۲۰		
Radar	۱۵ m	متوسط	RSS-Triangulate
	۲ ~ ۳ m ٪۱۳,۳ ~ ٪۲۰		
Land Marc	۵۰ m	متوسط	RSS-Triangulate
	۱ ~ ۲ m ٪۲ ~ ٪۴		
S Matrix	۲۱۰ mm ۳,۶ ~ ۵,۶ mm ٪۱,۷ ~ ٪۲,۷	کم	Scattering Matix-Fingerprinting

الگوریتم مورد استفاده در هر یک از این روش‌ها با روش ماتریس پراکندگی (سطر آخر) مقایسه شده است. باتوجه به اینکه تاکنون در زمینه مکان‌یابی در محیط‌های سرپوشیده از ماتریس پراکندگی بعنوان پارامتر تحلیلی محیط، استفاده نشده است، موضوعات متنوعی جهت ادامه بررسی‌های این پژوهش و نتایج آن، وجود خواهد داشت. چند نمونه از موضوعات و مباحثی که امکان بررسی در تحقیق‌های آتی (در این زمینه) را خواهند داشت در ادامه پیشنهاد می‌گردد.

در این پژوهش تلاش شد تا در ابتدا انواع چیدمان آنتن‌ها در محیط باز مورد بررسی قرار گیرد و در ادامه با انتخاب بهترین نوع چیدمان (براساس نتایج بدست آمده)، نتایج این چیدمان در محیط باز و انواع محیط‌های بسته، مقایسه و ارزیابی گردند. بررسی نتایج برای انواع چیدمان در محیط باز نشان می‌دهد بطور کلی در هر سه حالت (چیدمان سه، چهار و شش آنتن در محیط باز) در اکثر موقعیت‌های جسم، مکان آن تا حد بسیار خوبی تخمین زده شده است. مقایسه مقادیر میانگین مربعات خطا در جدول ۱ نشان می‌دهد با توجه به کمتر بودن مقدار میانگین مربعات خطا برای حالت چیدمان چهار آنتن، این آرایش نسبت به دو حالت دیگر، مناسب‌تر بوده و پاسخ‌های بهتری ارائه خواهد کرد. بنابراین حالت چیدمان با چهار آنتن به عنوان حالت بهینه، نسبت به دو حالت دیگر انتخاب شده و جهت بررسی نتایج برای محیط‌های بسته از این چیدمان استفاده گردید. بررسی نتایج برای حالت چیدمان چهار آنتن در محیط باز و سه نوع محیط بسته (دایره، هشت ضلعی و مستطیل) نیز نشان می‌دهد، روش پیشنهادی در این پژوهش برای محیط‌های بسته نیز صادق می‌باشد چراکه در این روش از ماتریس پراکندگی تفاضل یافته استفاده شده است. بعبارت دیگر مقادیر ماتریس پراکندگی در حضور جسم و عدم حضور جسم نسبت به حالتی که محیط باز است بسیار متفاوت است، اما چون تفاضل این دو مقدار در نظر گرفته می‌شود عملاً تاثیر محیط بسته از بین می‌رود. مقایسه مقادیر میانگین خطا و میانگین مربعات خطا در جدول ۲ نیز نشان می‌دهد که مکان‌یابی برای هر سه نوع دیواره بسته با دقت تقریباً مشابه (و حتی بهتر) نسبت به حالت بدون دیواره می‌باشد. همچنین با توجه به این موضوع که این نتایج تنها برای سه حالت محیط بسته مورد بررسی قرار گرفت، اما بطور مشابه می‌توان نتیجه گرفت که این نتایج برای هر محیط بسته‌ای قابل تعمیم خواهد بود. از جمله نوآوری‌های تحقیق می‌توان به «مدل کردن پارکینگ با یک صفحه شامل چندین آنتن مونوپل»، «عدم نیاز به کالیبراسیون موقعیت آنتن‌ها بر روی صفحه»، «استفاده از ماتریس پراکندگی به عنوان پارامتر تحلیلی محیط» و «استفاده از شبکه عصبی چند لایه (MLP) و آموزش شبکه با کمک داده‌های بدست آمده» اشاره نمود.

مقایسه نتایج بدست آمده از روش ارائه شده در این پژوهش (روش ماتریس پراکندگی) با سایر روش‌های ارائه شده در حوزه مکان‌یابی در محیط‌های بسته (سرپوشیده)، نشان می‌دهد که مکان‌یابی با دقت بالایی (۱,۷ تا ۲,۷ درصد) با توجه به هزینه پیاده‌سازی و

- Theoretical and Mathematical Foundations of Computer Science (pp. 198-206). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [6] Zhang, D., Xia, F., Yang, Z., Yao, L., & Zhao, W. (2010, May). Localization technologies for indoor human tracking. In *Future Information Technology (FutureTech), 2010 5th International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
- [7] Liu, J., Chen, R., Chen, Y., Pei, L., & Chen, L. (2012). iParking: An intelligent indoor location-based smartphone parking service. *Sensors*, 12(11), 14612-14629.
- [8] Karl, H., Willig, A., and Holger, K., (2005) "Localization and positioning," in *Protocols and architectures for wireless sensor networks*, New York, NY, United States: John Wiley & Sons, pp. 231-237.
- [9] Brás, L., Carvalho, N. B., Pinho, P., Kulas, L., & Nyka, K. (2012). A review of antennas for indoor positioning systems. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2012.
- [10] Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., & Liu, J. (2007). Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(6), 1067-1080.
- [11] Han, G., Xu, H., Duong, T. Q., Jiang, J., & Hara, T. (2013). Localization algorithms of wireless sensor networks: a survey. *Telecommunication Systems*, 52(4), 2419-2436.
- [12] Kaemarungsi, K. (2005, June). Efficient design of indoor positioning systems based on location fingerprinting. In *Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, 2005 International Conference on* (Vol. 1, pp. 181-186). IEEE.
- [13] Quan, M., Navarro, E., & Peuker, B. (2010). Wi-fi localization using rssi fingerprinting.
- [14] Rzymowski, M., & Kulas, L. (2013, July). Design, realization and measurements of enhanced performance 2.4 GHz ESPAR antenna for localization in wireless sensor networks. In *EUROCON, 2013 IEEE* (pp. 207-211). IEEE.
- [15] Rzymowski, M., Woznica, P., & Kulas, L. (2016). Single-anchor indoor localization using espar antenna. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 58(2), 10-18.
- ساخت نمونه‌ی آزمایشگاهی در مقیاس مطرح شده در این پژوهش و مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از فاز تئوری با داده‌های محاسبه شده از این نمونه‌ی آزمایشگاهی (مقایسه نتایج تئوری و عملی).
- بررسی چیدمان‌های نامنظم برای تعداد آنتن‌های مختلف در محیط، و مقایسه نتایج با حالت‌های منظم با در نظر گرفتن معیارهایی جهت معادلسازی نتایج.
- افزایش مقیاس محیط مورد تحلیل (افزایش ابعاد جسم و بالتبع آن اندازه‌ی آنتن‌ها و تغییر فرکانس امواج ارسالی) و بررسی نتایج برای شرایط محیطی جدید و مقایسه آن با نتایج این تحقیق و ارائه الگویی جهت مشاهده‌ی تاثیر تغییر مقیاس در نتایج حاصله.
- بدست آوردن رابطه و فرمول (با توجه به روش‌های شناسایی) میان مقادیر اندازه و فاز از پارامترهای قطری ماتریس پراکندگی تفاضل یافته و موقعیت واقعی جسم.
- تحلیل مقادیر (اندازه و فاز) پارامترهای غیر قطری از ماتریس پراکندگی تفاضل یافته و یافتن رابطه‌ی منطقی میان این مقادیر و موقعیت جسم.
- بررسی حضور دو یا چند جسم بصورت همزمان در محیط و تاثیر آن بر روی نتایج و دقت محاسبات

۶- مراجع

- [1] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1(1), 22-32.
- [2] Idris, M. Y. I., Leng, Y. Y., Tamil, E. M., Noor, N. M., & Razak, Z. (2009). Car park system: a review of smart parking system and its technology. *Information Technology Journal*, 8(2), 101-113.
- [3] Teodorović, D., & Lučić, P. (2006). Intelligent parking systems. *European Journal of Operational Research*, 175(3), 1666-1681.
- [4] Koyuncu, H., & Yang, S. H. (2010). A survey of indoor positioning and object locating systems. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 10(5), 121-128.
- [5] Song, Z., Jiang, G., & Huang, C. (2011). A survey on indoor positioning technologies. In

Wireless Propagation Letters, 15, 1183-1186.

- [16] Taillefer, E., Hirata, A., & Ohira, T. (2005). Direction-of-arrival estimation using radiation power pattern with an ESPAR antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 53(2), 678-684.
- [17] Rzymowski, M., Nyka, K., & Kulas, L. (2012, May). Enhancing performance of switched parasitic antenna for localization in Wireless Sensor Networks. In *Microwave Radar and Wireless Communications (MIKON), 2012 19th International Conference on* (Vol. 2, pp. 799-803). IEEE.
- [18] Rzymowski, M., Nyka, K., & Kulas, L. (2014, June). Enhanced switched parasitic antenna with switched active monopoles for indoor positioning systems. In *Microwaves, Radar, and Wireless Communication (MIKON), 2014 20th International Conference on* (pp. 1-4). IEEE.
- [19] Pozar, D. M., (2000) "Transmission Lines And Microwave Networks," in *Microwave and rf design of wireless systems*, New York: John Wiley and Sons (WIE), pp. 50-53.
- [20] Pozar, D. M., (2005) "Microwave Network Analysis," in *Microwave Engineering*, 4th ed., New York: John Wiley and Sons (WIE), pp. 178-181.
- [21] Kurokawa, K. (1965). Power waves and the scattering matrix. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 13(2), 194-202.

-
- ^۱ Global Positioning System
 - ^۲ Indoor localization
 - ^۳ Smart Parking Systems
 - ^۴ Parking information systems
 - ^۵ Parking guidance systems
 - ^۶ Parking reservation systems
 - ^۷ Smart payment systems
 - ^۸ Automated parking
 - ^۹ Trilateration and triangulation
 - ^{۱۰} Scene analysis
 - ^{۱۱} Proximity
 - ^{۱۲} Lateration
 - ^{۱۳} Time Of Arrival
 - ^{۱۴} Time Difference Of Arrival
 - ^{۱۵} Roundtrip Time Of Flight (or Round Trip Time)
 - ^{۱۶} Phase Of Arrival
 - ^{۱۷} Received Signal Strength (RSS)
 - ^{۱۸} Angulation
 - ^{۱۹} Angle Of Arrival (AOA)
 - ^{۲۰} Fingerprinting Algorithm
 - ^{۲۱} Calibration
 - ^{۲۲} Off-Line
 - ^{۲۳} On-Line
 - ^{۲۴} Probabilistic Method
 - ^{۲۵} k-Nearest Neighbor (kNN)
 - ^{۲۶} Multi-Layer Perceptron (MLP) Neural Networks
 - ^{۲۷} Smallest M-Vertex Polygon (SMP)
 - ^{۲۸} Support Vector Machine (SVM)
 - ^{۲۹} Radio Frequency (RF)
 - ^{۳۰} Mobile Station (MS)
 - ^{۳۱} Base Station (BS)
 - ^{۳۲} Fading
 - ^{۳۳} Monopole Antenna
 - ^{۳۴} Scattering Matix (S Matrix)
 - ^{۳۵} Scattering Parameter (S Parameter)
 - ^{۳۶} Multi Layer Perceptron (MLP)
 - ^{۳۷} Electronically Steerable Parasitic Array Radiator
 - ^{۳۸} Low-Frequency
 - ^{۳۹} Port
 - ^{۴۰} Impedance (معیاری جهت نمایش میزان مقاومت مدار در برابر جریان الکتریکی)
 - ^{۴۱} Admittance (عکس امپدانس، معیاری جهت نمایش آسانی حرکت جریان الکتریکی در مدار)
 - ^{۴۲} High-Frequency
 - ^{۴۳} Microwave Frequencies
 - ^{۴۴} Voltage Waves
 - ^{۴۵} Input Data
 - ^{۴۶} Target Data
 - ^{۴۷} Error Data
 - ^{۴۸} Mean Square Error (MSE)
 - ^{۴۹} MATLAB
 - ^{۵۰} Scalability