

## A New Metric for Estimation the User Position in the Multi User OFDMA Networks

M. Bahramian<sup>1\*</sup>, S. Akhlaghi<sup>2</sup>, M. Mollazadeh-Golmahale<sup>3</sup>

1- Master Student, Imam Hossein University

2- Shahed University

3- PhD Student, Imam Hossein University

(Reccive: 2014/03/12, Accept: 2014/12/01)

### **Abstract**

*This paper concerns locational finding in broadband wireless networks in corporating OFDMA technique at the physical layer. In this regard, a novel estimation method is proposed to find the position of active users. This method makes use of the power spectral density of the received signal from a specific user to compare its likelihood to that of some reference points. Despite the conventional method which performs well in a single path environment, the proposed method not only robusts in a muli-path environment, but also it inherently incorporates path delay spreads to find the location of exiting users. Simulation results indicate that the mean estimation error in the wimax network operation is around 11 meters at 3.5 Ghz with 5 Mhz bandwidth and when reference points are 26.4 meters apart relying on SUI model.*

### **Keywords:**

Position Estimation, Mutipath Channel, OFDMA, Power Spectral Density

## ارائه یک معیار جدید برای تخمین موقعیت کاربر

### در شبکه‌های چند کاربره OFDMA

محسن بهرامیان<sup>۱\*</sup>، سروش اخلاقی<sup>۲</sup>، مهدی ملازاده گل محله<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه امام حسین (ع)<sup>۲</sup> - عضو هیئت علمی دانشگاه شاهد

۳- دانشجوی دکتری دانشگاه امام حسین (ع)

(دریافت: ۹۲/۱۲/۲۱، پذیرش: ۹۳/۰۹/۱۰)

#### چکیده

در این مقاله، معیار جدیدی برای تخمین موقعیت کاربر ارائه می‌گردد که نه تنها در برابر تغییرات ناشی از چند مسیریگی کانال و شرایط دید غیرمستقیم آسیب‌پذیر نمی‌باشد، بلکه از این خصوصیات به عنوان نقطه قوت جهت تخمین موقعیت یک کاربر دلخواه استفاده می‌کند. این معیار که مستقل از پارامترهای شبکه می‌باشد، طیف فرکانسی شدت کانال در شبکه‌های پهن‌بند مبتنی بر OFDMA است. روش ارائه شده مبتنی بر مقایسه شباهت فرکانسی شدت کانال سیگنال دریافتی از یک کاربر و مقایسه با تعدادی نقاط مرجع می‌باشد. با انتخاب بهترین سه نقطه مرجع پیرامون موقعیت کاربر توسط یک الگوریتم تطبیق، شباهت طیف فرکانسی شدت کانال بین کاربر و نقاط انتخابی محاسبه شده و پس از بهبود این ضرایب با بهره‌گیری از شبکه عصبی، موقعیت کاربر توسط روش درون‌یابی محاسبه می‌گردد. براساس نتایج شبیه‌سازی در شبکه وایمکس با پهنای باند سیگنال ۵ مگاهرتز و تراکم نقاط مرجع با متوسط فاصله ۲۶.۴ متر از یکدیگر با استفاده از مدل کانال SUI، خطای تخمین موقعیت تقریباً برابر ۱۱ متر به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: تخمین موقعیت، کانال چند مسیره، OFDMA، طیف چگالی توان

#### ۱. مقدمه

سیگنال (AOA)، زمان ورود (TOA) و تغییرات فرکانسی داپلر<sup>۵</sup> (DSF) برای مکان‌یابی کاربر در محیط با شرایط دید غیرمستقیم استفاده شده است.

از جمله اطلاعاتی که می‌تواند در تخمین موقعیت مورد استفاده قرار گیرد، فاصله‌یابی اولیه<sup>۶</sup> در برخی شبکه‌های OFDMA<sup>۷</sup> می‌باشد. به‌عنوان مثال فرایند فاصله‌یابی اولیه در شبکه وایمکس به این شرح است که وقتی کاربری قصد ورود به شبکه را دارد، اطلاعاتی را با ایستگاه پایه مبادله می‌کند که در این اطلاعات اختلاف مرجع زمان-فرکانسی کاربر و ایستگاه پایه وجود دارد. بحث مرجع فرکانسی در اینجا مدنظر نمی‌باشد اما از اختلاف مرجع زمانی در بحث تخمین موقعیت به این شرح استفاده می‌گردد. می‌دانیم که امواج بی‌سیم ارسال شده با یک تأخیر انتشار به ایستگاه پایه می‌رسند. به‌طور مثال وقتی که یک ایستگاه پایه در کانال فرسوس<sup>۸</sup> به کاربر اعلام می‌کند که در لحظه زمانی  $t_0$  بعد از دریافت سیگنال راهنما<sup>۹</sup> ارسال داشته باشد، چون کاربر یک فاصله مکانی با ایستگاه پایه دارد و با توجه به سرعت انتشار امواج برابر  $3 \times 10^8$  متر بر ثانیه، سیگنال ارسالی کاربر در زمان  $t_0 + \epsilon$  به ایستگاه پایه می‌رسد. تأخیر  $\epsilon$  باعث می‌شود که سیگنال در زمان درست توسط ایستگاه پایه دریافت نشود. بنابراین کاربر باید

در سال‌های اخیر علاقه‌مندی زیادی در زمینه تخمین موقعیت کاربر در شبکه‌های مخابراتی ایجاد شده است. علاوه بر کاربرد موقعیت‌یابی کاربر در موارد اضطراری و امنیتی، این مسئله پیشرفت چشمگیری در تبلیغات و امور تجاری دارد. بازار خدمات مکان‌یابی یکی از سرویس‌های قدیمی بازار سرویس خدمات ارزش‌افزوده در صنعت ارتباطات بی‌سیم بوده و تاکنون مقالات متعددی در زمینه تخمین موقعیت کاربر در شبکه‌های مخابراتی ارائه شده است. اغلب سیستم‌های تخمین موقعیت مبتنی بر اندازه‌گیری پارامترهای مختلفی می‌باشند. در این راستا می‌توان به بهره‌گیری از اطلاعات اختلاف زمان ورود سیگنال<sup>۱</sup> (TDOA) در [۱] و [۲]، شدت سیگنال دریافتی<sup>۲</sup> در [۳]، شناسه سلول<sup>۳</sup> در [۴]، زاویه ورود سیگنال<sup>۴</sup> و پارامترهای دیگر و نیز ترکیبی از این پارامترها در سایر مقالات اشاره نمود. به‌طور نمونه برای روش‌های ترکیبی ارائه شده، به دو مقاله اشاره می‌گردد. در [۵] با تلفیقی از شدت سیگنال دریافتی و زاویه ورود به تخمین موقعیت کاربر در ایستگاه‌های پایه مبتنی بر چند کاربر پرداخته شده است و یا در [۶] از ترکیب سه پارامتر زاویه ورود

\* رایانامه نویسنده مسئول: g9012471958@ihu.ac.ir

5. Doppler-Shifted Frequency

6. Initial Ranging

7. Orthogonal Frequency Division Multiple Access

8. Down link

9. Pilot

1. Time Difference of Arrival

2. Received Signal Strength

3. Cell ID

4. Angle of Arrival

تشکیل شده باشد، الگوریتم MUSIC کارایی بهتری خواهد داشت. همچنین الگوریتم همبستگی براساس سنکرون‌سازی زمانی<sup>۹</sup> (CBTS) نیز از کارایی بالایی برخوردار است. کارایی سیستم‌های مبتنی بر OFDM با افزایش طول FFT بهتر می‌گردد اما دو الگوریتم MUSIC و CBTS از این امر مستثنی بوده و مستقل از طول FFT می‌باشند. قابل ذکر است که در [۸] دو الگوریتم MUSIC و CBTS، الگوریتم‌های کارایی برای تخمین موقعیت کاربر در سیستم‌های مبتنی بر OFDM تشخیص داده شده‌اند.

هدف اصلی مقاله پیش‌رو ارائه یک معیار جدید جهت تخمین موقعیت مکانی کاربر می‌باشد که همانند سایر معیارها تحت تأثیرات مخرب چند مسیریگی و شرایط دید غیر مستقیم نبوده و حتی از این خصوصیات به عنوان نقطه قوتی برای تخمین موقعیت کاربر استفاده می‌کند. معیار استفاده شده طیف فرکانسی شدت کانال در شبکه‌های مبتنی بر ارسال OFDMA پهن‌بند می‌باشد. از مزایای روش پیشنهادی که براساس مقایسه شکل طیف فرکانسی شدت کانال می‌باشد، می‌توان به سهولت و قابلیت اجرای آن در تمامی شبکه مخابراتی OFDMA اشاره کرد. این معیار مستقل از پارامترهای شبکه می‌باشد. به عبارتی دیگر روش پیشنهادی در کانال چند مسیره دارای محوشدگی از نوع فرکانس‌گزين<sup>۱۰</sup> و نیز در شرایط حضور نویز در کانال، کاملاً کارا است و ضعف بسیاری از الگوریتم‌های مکان‌یابی که تنها در شرایط دید مستقیم قابل اجرا و پیاده‌سازی هستند را ندارد. از جمله شبکه‌های مخابراتی رایجی که الگوریتم پیشنهادی در آن کارایی دارد، شبکه وایمکس است.

اکثر مقالات به تخمین موقعیت از دید کاربر و یا شبکه پرداخته‌اند. اما در مقاله پیش‌رو فرض بر آن است که یک سامانه موقعیت‌یاب بین کاربر با موقعیت مجهول و شبکه وجود دارد که قصد تخمین موقعیت آن کاربر را دارد. در روش پیشنهادی، تخمین موقعیت کاربر با دریافت سیگنال مسیره فراسو<sup>۱۱</sup> بین کاربر هدف و ایستگاه پایه انجام می‌شود.

به عبارتی دیگر، اگر ارسال از نوع OFDMA باشد، اثر چند مسیریگی خود را به صورت تغییرات دامنه در حوزه فرکانس نشان می‌دهد که همین موضوع می‌تواند یک مشخصه یا معیاری برای تخمین موقعیت کاربر باشد. ساختار مقاله پیش‌رو بدین صورت می‌باشد که در بخش دوم، مفروضات مسئله و طرح روش پیشنهادی شرح داده می‌شود. سپس بخش سوم به نحوه بهبود خطای تخمین از طریق شبکه عصبی می‌پردازد. در بخش چهارم مدل کانال SUI<sup>۱۲</sup> به عنوان مدلی که از آن برای شبیه‌سازی کانال استفاده شده، به همراه روابط ریاضی شرح داده می‌شود. بخش پنجم به نحوه شبیه‌سازی انجام شده و نتایج به دست آمده می‌پردازد. در نهایت بخش آخر هم مروری بر نتایج به دست آمده در این مقاله خواهد داشت.

کمی زودتر، عمل ارسال را انجام دهد تا این تأخیر جبران شود. این کار در فاصله‌یابی اولیه انجام می‌شود. مقدار  $\epsilon$  برای اولین بار توسط ایستگاه پایه اندازه‌گیری شده سپس در کانال فروسو اصلاح زمانی لازم به کاربر بازخورد داده می‌شود. اگر توسط سامانه‌ای اطلاعات فاصله‌یابی دریافت شود، می‌توان فهمید که کاربر مورد نظر از لحاظ زمانی و در نتیجه آن از نظر مکانی، در چه ناحیه ابهامی از ایستگاه پایه قرار دارد.

در [۷] براساس اطلاعات زمانی به دست آمده در بخش فاصله‌یابی اولیه شبکه وایمکس، اقدام به تخمین موقعیت کاربر شده است. ابتدا با به کارگیری یک ایستگاه مشترک<sup>۱</sup> (SS) و یک ایستگاه پایه در آزمایش میدانی، به اندازه‌گیری میزان همبستگی بین زمان تنظیم<sup>۲</sup> (TA) و مسافت، طی چندین مرتبه آزمایش متعدد در مسافت‌های ثابت مختلف پرداخته شده است. سپس از اندازه‌گیری دامنه تغییرات TA براساس مسافت، از طریق شبیه‌سازی رایانه‌ای و بر مبنای آن اندازه‌گیری‌ها، نتایج به چندین ایستگاه پایه توسعه داده شده است. با استفاده از TA و سرعت انتشار، محدوده‌ای دایروی اطراف هر برج BS تشکیل شده و با تقاطع دادن محدوده چندین BS، مکان تقریبی ایستگاه مشترک به دست آمده است. سپس آزمایشات برای حالات مختلف زوایا و فواصل ایستگاه‌های پایه نسبت به یکدیگر انجام گردید و نتایج بر این مطلب دلالت دارد که مکان‌یابی کاربر در شبکه وایمکس براساس اندازه‌گیری TA در فاصله‌یابی اولیه ۱۰ بار دقیق‌تر از به کارگیری روش مشابه در شبکه GSM می‌باشد. بررسی انجام شده در مقاله مذکور در شرایط دید مستقیم بوده و همچنین به چند مسیریگی و اثرات آن بر سیگنال نپرداخته است.

در [۸] به بررسی تخمین موقعیت برای سیگنال‌های OFDM با کاربرد در شبکه‌های LTE<sup>۳</sup>، WLAN<sup>۴</sup> و وایمکس پرداخته شده است. هدف مقاله مذکور به دست آوردن روشی مناسب برای تخمین هر چه دقیق‌تر موقعیت کاربر با ارسال OFDM می‌باشد. از این روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های سنکرون‌سازی زمانی و دیباچه‌های مختلفی<sup>۵</sup> که در سیگنال OFDM جاسازی شده‌اند، مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین روش‌های مبتنی بر همبستگی<sup>۶</sup> و کلاس‌بندی چندگانه سیگنال<sup>۷</sup> (MUSIC) بررسی شده‌اند. مؤلفین با انجام شبیه‌سازی و استفاده از معیار ریشه میانگین مربع خطا یا RMSE<sup>۸</sup> به تحلیل الگوریتم‌های مختلف تخمین پرداخته‌اند. به نظر مؤلفین این مقاله، برخی معیارهای ارائه شده در مقالات نتایج بهتری نسبت به سایر معیارها دارند به این دلیل که به جای استفاده از محیط دارای چند مسیره، تنها از یک مسیره استفاده نموده‌اند. براساس مطالعات و نتایج شبیه‌سازی انجام شده، هنگامی که دیباچه از دو بخش مساوی

1. Sub-Carrier Station
2. Timing Adjust
3. Long-Term Evolution
4. Wireless Local Area Network
5. Various Preambles
6. Correlation-Based Approaches
7. Multiple Signal Classification
8. Root Means Square Error

9. Correlation-Based Timing Synchronization  
10. Frequency Selective  
11. Up Link  
12. Stanford University Interim

می‌شود. ساختار بخش دوم این مقاله، به این شرح می‌باشد. در ۲-۱ نحوه اندازه‌گیری طیف فرکانسی شدت کانال شرح داده می‌شود. بخش ۲-۲ به نحوه تعیین نقاط مرجع و ایجاد بانک اطلاعاتی می‌پردازد. در بخش ۲-۳، شرح الگوریتم تخمین موقعیت ارائه می‌شود. در ۲-۴ نیز توضیحات کاملی درباره نحوه محاسبه خطای تخمین، دسته‌بندی انواع خطا و بهبود خطا با کمک شبکه عصبی ارائه می‌گردد.

## ۲.۱. نحوه اندازه‌گیری طیف فرکانسی شدت کانال

برای این کار، ابتدا لازم است سامانه موقعیت‌یاب با شبکه سنکرون<sup>۹</sup> شود. لازمه سنکرون شدن با شبکه آن است که در مسیر فروسو، بخش مربوط به دیباچه<sup>۱۰</sup> دریافت و آشکارسازی گردد. اولین بخشی که بعد از دیباچه دریافت خواهد شد، سرآیند کنترل قاب (FCH) خواهد بود. در FCH، اطلاعات نقشه کانال فروسو و فراسو<sup>۱۱</sup> وجود دارد. یعنی اینکه کاربران در کانال فروسو و فراسو در چه محل‌هایی از لحاظ زمان-فرکانس داده خود را ارسال یا دریافت می‌کنند. مدولاسیون، کدینگ و همه اطلاعات مربوط به کاربران در سرآیند کنترل قاب مشخص شده است. با توجه به اطلاعات نقشه فروسو و فراسو، مشخص می‌گردد که کاربر با CID مشخص در چه زمان‌هایی، در چه شماره سبیل‌ها و در چه تن‌هایی سیگنال خود را ارسال می‌نماید. همچنین محل حامل‌های راهنمای کاربر مورد نظر مشخص خواهد شد. با اطلاع از محل تن‌هایی که به‌عنوان راهنما استفاده می‌شوند، در کانال فراسوی کاربر هدف، میزان بهره کانال (شدت کانال) در حامل‌های راهنما اندازه‌گیری خواهد شد. با توجه به این مطلب که حامل‌های راهنما در کل محدوده پهنای باند سیگنال توزیع شده‌اند، با استفاده از روش‌های متداولی نظیر درون‌یابی، می‌توان طیف فرکانسی شدت کانال را در کل بازه فرکانسی استفاده شده توسط کاربر هدف استخراج نمود. این روال هم در حالت غیر بر خط برای تمامی نقاط مرجع انجام می‌شود و هم در مرحله برخط یعنی در خلال جریان فعال شبکه، برای کاربر هدف انجام خواهد گرفت.

## ۲.۲. ایجاد بانک اطلاعات

همان‌طور که در ابتدای این بخش اشاره شد، الگوریتم تخمین پیشنهادی نیاز به اطلاع از طیف فرکانسی شدت کانال در نقاط متعددی از سلول مخابراتی مورد نظر را دارد که این نقاط، نقاط مرجع نام‌گذاری شد. دقت در چینش مناسب نقاط مرجع و سنجش دقیق طیف فرکانسی شدت کانال در این نقاط، تأثیر مستقیم در کاهش خطای تخمین دارد. طبق مطالعات حاصل از شبیه‌سازی اولیه کانال، مشخص شده که رفتار کانال در نواحی مختلف سلول مخابراتی یکسان نمی‌باشد. در واقع رفتار کانال در نواحی مختلف متغیر و

## ۲. مفروضات مسئله و طرح روش پیشنهادی

مفروضات در نظر گرفته شده برای حل مسئله تخمین موقعیت کاربر به این شرح می‌باشد. کاربران به دلیل آنکه از محل ایستگاه پایه<sup>۱</sup> (BS) اطلاعی ندارند، دارای آنتن تمام جهتی<sup>۲</sup> می‌باشند. همچنین تخمین موقعیت در مسیر فراسو انجام می‌گیرد بنابراین نوع آنتن ایستگاه پایه در اینجا مطرح نمی‌باشد. سامانه موقعیت‌یاب هم به هر دو کانال فراسو و فروسو دسترسی دارد. همچنین شبکه مخابراتی مورد نظر، یک شبکه مخابراتی مبتنی بر ارسال OFDMA بوده و سیگنال از نوع پهن باند است. کانال مخابراتی نیز، یک کانال چند مسیره<sup>۳</sup> با نویز گوسی سفید جمع شونده یعنی AWGN<sup>۴</sup> می‌باشد. شبکه براساس یک آنتن فرستنده و یک آنتن گیرنده یعنی SISO<sup>۵</sup> در نظر گرفته شده است و سامانه موقعیت‌یاب، از محل دقیق ایستگاه پایه و شناسه اتصال<sup>۶</sup> کاربر هدف اطلاع دارد.

الگوریتم پیشنهادی شامل دو بخش است. بخش اول ایجاد بانک اطلاعات می‌باشد که در حالت غیر بر خط انجام می‌شود اما بخش دوم به تخمین موقعیت کاربر هدف در حالت برخط می‌پردازد. در واقع فرض می‌کنیم که در سلول مخابراتی، یک ایستگاه پایه داریم که در فروسو برای کاربران سیگنال ارسال می‌نماید و کاربران نیز در فراسو برای آن ایستگاه پایه ارسال خواهند داشت. سامانه موقعیت‌یاب نیز در موقعیت سومی وجود دارد که هدفش تعیین موقعیت یک کاربر مشخص می‌باشد. بر این مبنا، ابتدا یک سری نقاط مشخص آزمایشی در شبکه و داخل سلول مخابراتی در نظر می‌گیریم. تعیین مکان این نقاط خود مسئله‌ای است که در قسمت بعدی همین بخش شرح داده خواهد شد. این نقاط آزمایشی در اینجا «نقاط مرجع»<sup>۷</sup> نامیده می‌شوند. سامانه موقعیت‌یاب در دو مرحله عمل می‌کند. در ابتدا با فرض آن که جای این نقاط مرجع مشخص است، نخست مشخصات موقعیت این نقاط را در یک بانک اطلاعاتی ذخیره نموده سپس در همان باند فرکانسی که کاربران در کانال فراسو ارسال سیگنال دارند، یک ارسال آزمایشی از این نقاط انجام می‌شود. در ادامه طیف فرکانسی شدت کانال در این نقاط اندازه‌گیری شده و در یک بانک اطلاعاتی ذخیره می‌شود. نحوه ذخیره شکل طیف فرکانسی شدت کانال در بانک اطلاعاتی در ادامه همین بخش، شرح داده خواهد شد.

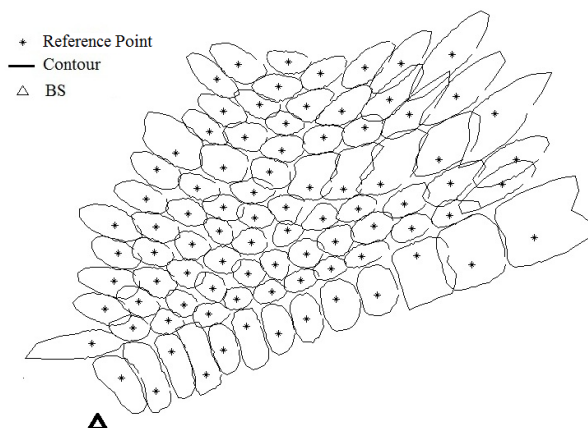
در مرحله دوم، سامانه موقعیت‌یاب با توجه به اطلاعاتی که از کانال فراسو دریافت نموده است، از طریق کانال فروسو نقشه فرکانس-زمان کانال مورد نظر را برای کاربر هدف استخراج می‌کند. سپس با استفاده از یک الگوریتم تطبیق<sup>۸</sup> که در قسمت‌های بعدی این بخش شرح داده خواهد شد، موقعیت کاربر مورد نظر تخمین زده

1. Base Station
2. Omni Directional
3. Multi Path
4. Additional white Gaussian Noise
5. Single Input – Single Output
6. CID
7. Reference Points
8. Matching

9. Synchronic  
10. Preamble  
11. DL\UL MAP

در بازه‌های زمانی بزرگتر از زمان همدوسی<sup>۴</sup> کانال انجام شده و میانگین‌گیری به عمل آید.

برای درک بهتر نحوه انتخاب موقعیت مکانی نقاط مرجع، در شرایط آزمایشگاهی به این صورت عمل می‌کنیم که ابتدا یک نقطه مرجع را با موقعیت دلخواه در نظر می‌گیریم. سپس منحنی میزان را به‌ازای معیار  $\rho = 0.8$  برای این نقطه مرجع محاسبه و رسم می‌کنیم. در ادامه محل نقاط مرجع دوم، سوم و... را طوری تعیین می‌کنیم تا منحنی میزان برای آن نقاط با همان معیار ۰.۸ به‌طور تقریبی مماس بر منحنی میزان نقاط مرجع مجاور خود گردد. در حقیقت به‌واسطه ترسیم منحنی میزان، به نحو دقیقی تراکم نقاط مرجع مشخص خواهد شد. شکل ۱ نمونه‌ای از چینش نقاط مرجع در مجاورت هم با کمک گرفتن از منحنی‌های میزان را نشان می‌دهد. این شکل براساس حضور دو مانع متقارن نسبت به ایستگاه پایه به دست آمده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، تراکم نقاط مرجع در بخش‌های مختلف سلول با یکدیگر فرق دارد. تراکم نقاط مرجع و شکل ناهمگن و متفاوت منحنی میزان‌های رسم شده، به دلیل رفتار کانال از لحاظ پاسخ فرکانسی می‌باشد. شکل منحنی‌های میزان رسم شده به موقعیت نسبی نقاط نسبت به ایستگاه پایه و موانع سیگنال موجود در سلول ارتباط دارد.



شکل ۱. نمایش نقاط مرجع که براساس منحنی میزان با همبستگی طیف فرکانسی شدت کانال برابر ۰.۸ در مجاورت هم ایجاد شده‌اند

## ۲.۳. الگوریتم تخمین موقعیت

همان‌طور که در ابتدای این بخش به اختصار بیان شد، از روش تطبیق شکل طیف فرکانسی شدت کانال بین موقعیت کاربر هدف با طیف فرکانسی شدت کانال در نقاط مرجع، برای تخمین موقعیت کاربر استفاده می‌شود. روش کار برای تخمین موقعیت مکانی کاربر هدف به این صورت خواهد بود که پس از همزمانی<sup>۵</sup> زمانی و فرکانسی سامانه موقعیت‌یاب با کاربر هدف، اطلاعات طیف فرکانسی شدت کانال در محل آن کاربر از طریق کانال فراسو استخراج می‌شود.

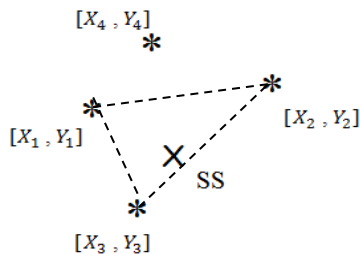
ناهمگن است که توجه به این موضوع حائز اهمیت می‌باشد. باید دقت کرد که نقاط مرجع به گونه‌ای انتخاب شوند که طیف فرکانسی شدت کانال در نقاط مرجع مجاور، همبستگی بالایی نسبت به هم نداشته باشند. در غیر این صورت الگوریتم تطبیق در سامانه موقعیت‌یاب دچار ابهام خواهد شد. بنابراین لازم است نقاط مرجع براساس یک معیار مناسب در کنار هم در سلول مخابراتی تعریف شوند. معیار انتخاب شده با مقایسه بردار طیف فرکانسی شدت کانال در نقاط مرجع با یکدیگر به‌ازای اختلاف محسوس در مشخصه شباهت، در انتخاب موقعیت مکانی مناسب برای نقطه یا نقاط مرجع بعدی کمک خواهد کرد. پس از بررسی الگوریتم‌های مختلف مانند الگوریتم کمترین مربعات (LS)<sup>۱</sup>، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و برخی الگوریتم‌های دیگر، در نهایت الگوریتم محاسبه میزان همبستگی بین دو بردار، به علت کارایی و حساسیت بهتر و داشتن خروجی نرمالیزه شده، به‌عنوان معیاری برای بررسی و مقایسه طیف فرکانسی شدت کانال انتخاب گردید. این الگوریتم برای مقایسه طیف فرکانسی شدت کانال در دو بردار با طول یکسان A و B، طبق رابطه (۱) عمل می‌کند. مقدار  $\rho$  در رابطه (۱) بین صفر (عدم همبستگی) تا یک (همبستگی کامل) تغییر می‌کند.  $\bar{A}$  و  $\bar{B}$  در این رابطه به ترتیب میانگین بردار A و میانگین بردار B می‌باشند.

$$\rho = \frac{\sum_{n=1}^L (A_n - \bar{A})(B_n - \bar{B})}{\sqrt{(\sum_{n=1}^L (A_n - \bar{A})^2)(\sum_{n=1}^L (B_n - \bar{B})^2)}} \quad (1)$$

حال برای چیدن مناسب نقاط مرجع در سلول به نحوی که طیف فرکانسی شدت کانال در نقاط مرجع مجاور هم، شباهت بالایی نداشته باشد، در ابتدا یکسری نقاط مرجع با توزیع یکنواخت<sup>۲</sup> در سلول انتخاب می‌کنیم. سپس با استفاده از رابطه (۱)، محدوده‌ای از نقاط پیرامون هر یک از نقاط مرجع را که طیف فرکانسی شدت کانال در آن نقاط بیش از یک مقدار معین برای  $\rho$  (مثلاً ۰.۸) با طیف فرکانسی شدت کانال در نقطه مرجع مورد نظر شباهت داشته باشد را یافته و آن را رسم می‌کنیم. محدوده ترسیم شده در اطراف هر نقطه مرجع به روش شرح داده شده، یک منحنی بسته ناهمگن خواهد بود که آن را منحنی میزان<sup>۳</sup> می‌نامیم. اکنون در آن نواحی از سلول که منحنی‌های میزان رسم شده تلاقی و تداخل بیشتری با هم دارد، برخی از نقاط مرجع را حذف می‌کنیم. پس از حذف این دسته از نقاط مرجع، موقعیت نقاط مرجع باقیمانده را در بانک اطلاعاتی ذخیره می‌کنیم. در ادامه این نقاط مرجع مبنای الگوریتم تطبیق قرار خواهند گرفت.

پس از تعیین نقاط مرجع می‌باید نسبت به اندازه‌گیری طیف فرکانسی شدت کانال و ذخیره آن در بانک اطلاعاتی اقدام گردد. برای اجتناب از تغییرات گذرا در کانال لازم است که اندازه‌گیری طیف فرکانسی شدت کانال در نقاط مرجع، به دفعات مثلاً ۱۰۰ بار و

عددی همبستگی طیف فرکانسی شدت کانال بین موقعیت کاربر هدف و هر یک از نقاط مرجع انتخاب شده، با  $\rho_i$  نمایش داده شده که اندیس  $i$  بیانگر شماره نقطه مرجع انتخابی می‌باشد. تخمین طول و عرض موقعیت کاربر یعنی  $[X_{est}, Y_{est}]$  براساس الگوریتم درون‌یابی با استفاده از ضرایب  $\rho$  به‌عنوان ضریب وزنی، طبق رابطه (۲) تعیین می‌گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش پیشنهادی منجر به متوسط خطای تخمین موقعیت ۱۵/۶ متر برای شرایطی که متوسط فواصل نقاط مرجع از یکدیگر برابر ۲۶/۴ متر می‌باشد، گردیده است. اما ضرایب وزنی استفاده شده (ضرایب  $\rho$ )، دارای رابطه خطی با مسافت نمی‌باشند. به‌عنوان مثال ممکن است این ضریب برای کاربری که در فاصله ۱۰ متری از یک نقطه مرجع قرار دارد، برابر ۰/۸ باشد و برای همین کاربر با فاصله ۲۰ متری از نقطه مرجع دیگر، برابر ۰/۷ باشد. بنابراین به منظور بهبود مشخصه متریک به کار گرفته شده با هدف کاهش خطای تخمین موقعیت اقدام به یافتن راه‌کار کمکی مناسب گردید.



شکل ۲. نمونه‌ای از موقعیت مکانی ایستگاه مشترک (SS) و نقاط مرجع پیرامون آن در منطقه هدف

$$X_{est} = (\rho_1.X_1 + \rho_2.X_2 + \rho_3.X_3) / (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3) \quad (2)$$

$$Y_{est} = (\rho_1.Y_1 + \rho_2.Y_2 + \rho_3.Y_3) / (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)$$

بنا به دلایلی که ذکر شد، ضرایب  $\rho$  معیار مناسبی برای استفاده در الگوریتم درون‌یابی نمی‌باشند. لازم است رابطه بین ضرایب همبستگی طیف فرکانسی شدت کانال و فاصله بین کاربر تا نقاط مرجع انتخابی، بهبود گردد. بنابراین باید ضرایب وزنی نسبی  $\rho_3 / (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)$ ،  $\rho_2 / (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)$ ،  $\rho_1 / (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3)$  که دقت مطلوبی ندارند، را با سه ضریب جدید به نام آلفا، بتا و گاما، که هم نرمالیزه بوده  $(\alpha + \beta + \gamma = 1)$  و هم رابطه‌ای مستقیم با فاصله داشته باشند، تعویض شوند. در واقع هدف یافتن ضرایب آلفا، بتا و گاما با یک روش نگاشت یا رگرسیون<sup>۲</sup> از روی ضرایب  $\rho$  می‌باشد. پس از یافتن این ضرایب جدید، از رابطه (۳) که همان اصلاح شده رابطه (۲) می‌باشد، برای تخمین موقعیت کاربر استفاده می‌شود. اینکه چگونه از ضرایب  $\rho_1$ ،  $\rho_2$  و  $\rho_3$  به آلفا، بتا و گاما برسیم، در بخش ۳ توضیح داده خواهد شد.

$$X_{est} = (\alpha.X_1 + \beta.X_2 + \gamma.X_3) \quad (3)$$

$$Y_{est} = (\alpha.Y_1 + \beta.Y_2 + \gamma.Y_3)$$

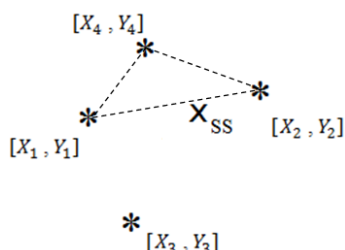
اطلاعات طیفی استخراج شده با طیف فرکانسی شدت کانال تمام نقاط مرجع ذخیره شده در بانک اطلاعاتی توسط رابطه (۱) مقایسه می‌شود. سپس نقطه یا نقاط مرجعی که از همبستگی طیف فرکانسی شدت کانال بالاتر از یک مقدار آستانه<sup>۱</sup> نسبت به طیف فرکانسی شدت کانال در موقعیت کاربر هدف برخوردار هستند، به عنوان نقطه یا نقاط مرجع مجاور کاربر هدف انتخاب می‌شوند.

پس از انتخاب نقاط مرجع به طریقی که شرح داده شد، چند حالت ممکن است رخ دهد. ابتدا لازم است بگوییم ما دنبال سه نقطه مرجع پیرامون موقعیت کاربر هستیم به‌گونه‌ای که این سه نقطه، مثلی را تشکیل می‌دهند که کاربر را در بر خواهد داشت. حالت اولی که ممکن است رخ دهد انتخاب بیش از سه نقطه مرجع می‌باشد. در این صورت از بین نقاط مرجع انتخابی، آن سه نقطه‌ای انتخاب می‌گردد که در مجاورت هم باشند. لازم است به این نکته اشاره گردد که همواره ممکن است نقطه یا نقاط مرجعی انتخاب گردند که طیف فرکانسی شدت کانال در آن نقطه یا نقاط اختلاف بسیار کمی با طیف فرکانسی شدت کانال در موقعیت کاربر داشته باشد اما آن نقطه یا نقاط مرجع به فاصله دوری از کاربر واقع شده باشند. علت این امر می‌تواند ناشی از تقارن کانال در برخی از نواحی باشد. حالت دیگری که ممکن است در انتخاب نقاط مرجع رخ دهد آن است که تنها یک یا دو نقطه مرجع انتخاب گردد. در این حالت ابتدا تمامی نقاط مرجع پیرامون آن نقطه یا دو نقطه مرجع انتخابی را یافته و مقدار شباهت طیف فرکانسی شدت کانال در آن نقاط با پاسخ فرکانسی کاربر را طبق رابطه (۱) محاسبه می‌کنیم. سپس نقطه یا دو نقطه‌ای که بالاترین مقدار شباهت را داشتند، به عنوان نقاط مرجعی که رؤس مثلث مورد نظر را شکل می‌دهند، انتخاب می‌شوند.

در واقع سعی می‌گردد که با روش تطبیق نزدیک‌ترین نقطه یا نقاط مرجع به کاربر هدف تعیین شود. سپس با استفاده از نقطه یا نقاط مرجع انتخابی، سایر نقاط مرجع پیرامون موقعیت هدف براساس بیشترین شباهت طیف فرکانسی شدت کانال، به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود تا سه نقطه مرجعی که کوچک‌ترین مثلث را پیرامون موقعیت کاربر هدف تشکیل می‌دهند، مشخص گردد. در ادامه با استفاده از مختصات سه رأس مثلث و ضرایب همبستگی پاسخ فرکانسی کاربر هدف با پاسخ فرکانسی نقاط مرجع واقع در رؤس مثلث، به کمک الگوریتم درون‌یابی موقعیت مجهول کاربر هدف تخمین زده می‌شود.

پس از یافتن سه نقطه مرجع پیرامون کاربر هدف، برای تخمین موقعیت کاربر با کمک درون‌یابی، راه‌کار اولیه به این شرح می‌باشد. فرض کنید که الگوریتم تخمین سه نقطه مرجع به شماره‌های ۳ و ۱، ۲ را به‌عنوان نقاط مرجعی که مثلثی را شکل می‌دهند که کاربر هدف را در بر دارد، مطابق شکل ۲ یافته است. در این شکل، علامت ستاره نمایانگر نقطه مرجع و علامت  $\times$  نمایانگر موقعیت مکانی ایستگاه مشترک (SS) در شبکه مبتنی بر ارسال OFDMA می‌باشد. مقدار

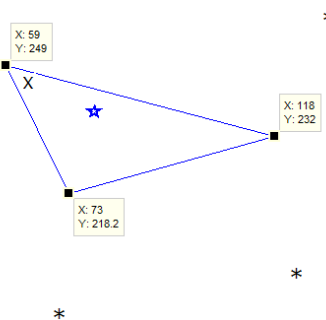
حاکم است. می‌توان گفت این شرایط منجر به موارد تخمین موقعیت ناصحیح (دارای خطای زیاد) برابر ۱۷/۵ درصد می‌گردد. با احتساب موارد دارای خطای نوع اول، در مجموع ۲۷/۳٪ از کل موارد تخمین، نتایج قابل قبولی ندارد.



شکل ۳. نمونه‌ای از عدم تشخیص صحیح سه نقطه مرجع مجاور کاربر، مثلث ایجاد شده کاربر هدف را دربر نمی‌گیرد

### ج- خطای تخمین کم (تخمین صحیح اما با خطا)

این نوع خطای زمانی رخ می‌دهد که الگوریتم تخمین موقعیت، عملکرد کاملاً صحیحی دارد و مثلثی به رئوس سه نقطه مرجع پیرامون موقعیت کاربر هدف انتخاب می‌گردد. در چنین شرایطی به هر میزان که کاربر هدف به وسط مثلث نزدیکتر باشد، الگوریتم درون‌یابی نتیجه بهتری خواهد داشت (کاهش خطا). ولی در حالات خاص که کاربر هدف بیش از اندازه به یکی از رئوس مثلث نزدیک است و یا فاصله بسیار کمی با یکی از سه ضلع مثلث دارد، خطای افزایش خواهد یافت اما موقعیت تخمین زده شده از محدوده مثلث تجاوز نخواهد نمود. در شکل ۴ نمونه‌ای از این مورد نشان داده شده است. موقعیت حقیقی کاربر در این مثال برابر [۲۴۶.۴۲ و ۶۲.۸] و موقعیت تخمین زده شده برابر [۲۳۷.۹۱۹ و ۷۸.۶۱۷] متر می‌باشد. خطای تخمین موقعیت با استفاده از رابطه (۲) برابر ۱۷.۹۶ متر می‌باشد. اگر از رابطه (۳) که بر حسب ضرایب نرمالیزه شده آلفا، بتا و گاما می‌باشد به جای رابطه (۲) استفاده شود، خطای کاهش خواهد یافت. برای محاسبه ضرایب آلفا، بتا و گاما از شبکه عصبی<sup>۱</sup> استفاده گردید که شرح آن در بخش بعدی آمده است.



شکل ۴. نمایش تخمین صحیح اما دارای خطا؛ علامت X بیانگر محل حقیقی کاربر و علامت ستاره ۵ بیانگر موقعیت تخمین زده می‌باشد.

### ۴.۲. محاسبه خطا و دسته‌بندی انواع خطا

با توجه به اینکه بین طیف فرکانسی شدت کانال و مسافت رابطه‌ای خطی وجود ندارد، تخمین موقعیت کاربر با استفاده از روش مثلث‌یابی و الگوریتم درون‌یابی همواره با مقداری خطا همراه خواهد بود. خطای تخمین یا همان فاصله بین موقعیت حقیقی کاربر هدف و موقعیت تخمین زده شده طبق رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

$$Est\_error = \frac{\sqrt{(X_{est} - X_{SS})^2 + (Y_{est} - Y_{SS})^2}}{\quad} \quad (4)$$

هر چه مقدار شباهت طیف فرکانسی شدت کانال بین موقعیت کاربر هدف و طیف فرکانسی شدت کانال در هر یک از نقاط مرجع انتخابی بیشتر باشد، موقعیت تخمین زده شده به سمت آن نقطه مرجع متمایل‌تر خواهد بود. در ادامه الگوریتم تخمین موقعیت از جهات مختلفی مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت تا عوامل مؤثر در خطای تخمین شناسایی و در صورت امکان نسبت به رفع یا بهبود آن اقدام گردد. خطای تخمین موقعیت براساس میزان کمی خطا به سه دسته زیر تقسیم‌بندی شده است:

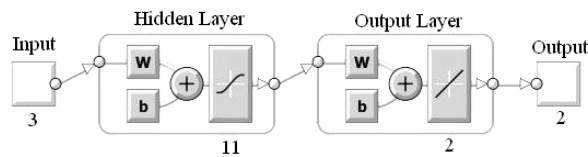
#### الف- خطای تخمین بزرگ (تخمین اشتباه)

منظور از مقدار بزرگ خطا، شرایطی است که الگوریتم تطبیق موفق به یافتن صحیح هیچ یک از نقاط مرجع پیرامون موقعیت کاربر هدف نمی‌شود. علت این رخداد را می‌توان تقارن بالای کانال طراحی شده براساس تنها دو مانع در شبیه‌سازی انجام شده دانست. عملاً در محیط‌های واقعی چنین تقارنی در طیف فرکانسی شدت کانال در نواحی دور از هم وجود نخواهد داشت. لذا از پرداختن بیشتر به این نوع خطا صرف نظر خواهیم کرد. در شبیه‌سازی صورت گرفته در این کار تحقیقاتی به دلیل تقارن ایجاد شده در موانع، درصد رخداد این نوع خطا برابر ۹/۸٪ می‌باشد.

#### ب- خطای تخمین متوسط (تخمین اشتباه اما با خطای نسبتاً کم)

این نوع خطای زمانی رخ می‌دهد که الگوریتم مبتنی بر شباهت طیف فرکانسی شدت کانال، یک یا دو نقطه مرجع مجاور موقعیت کاربر هدف را یافته ولی قادر به یافتن دو نقطه دیگر و یا نقطه سوم نمی‌باشد. در نتیجه الگوریتم تخمین منجر به انتخاب سه نقطه مرجعی می‌گردد که مثلثی تشکیل خواهند که کاربر هدف را در بر نخواهد داشت، اما این مثلث در مجاورت کاربر هدف واقع است. شکل ۳ یک نمونه از این حالت را نمایش می‌دهد. در این مثال الگوریتم به اشتباه نقطه مرجع شماره ۴ را به جای نقطه مرجع شماره ۳ انتخاب نموده است به این علت که معیار انتخاب، شباهت طیف فرکانسی شدت کانال بوده و این معیار (مقدار p) برای نقطه مرجع شماره چهار بزرگ‌تر از مقدار به دست آمده برای نقطه مرجع شماره سه می‌باشد. این شرایط در ۳۴/۸٪ موارد تخمین موقعیت رخ می‌دهد که از این بین، ۱۷/۳٪ موارد خطایی کمتر از میانگین خطای کلی را دارند. به عبارتی یک نوع شرایط نسبتاً مرزی در این ۱۷/۳٪ مورد تخمین

خروجی شبکه عصبی از عدد یک طبق رابطه (۶-ج)، مقدار عددی گاما به دست می‌آید. این کار به این دلیل انجام می‌شود که شرط نرمالیزه بودن این مقادیر برقرار باشد تا تخمین موقعیت از مثلی که کار هدف در آن تشخیص داده شده است، خارج نشود. برای آموزش شبکه از الگوریتم trainlm که از سرعت خوبی برخوردار است، استفاده گردید. تابع انتقال در لایه ورودی تابع log-Sigmoid، در لایه مخفی تابع tan-sigmoid و در لایه خروجی تابع خطی pure-line می‌باشد. در شکل ۵ بلوک دیاگرام شبکه عصبی مورد استفاده در این مقاله نشان داده شده است [۱۲].



شکل ۵. بلوک دیاگرام شبکه عصبی پس انتشار

اکنون برای کاربر نمایش داده شده در شکل ۴ مقادیر آلفا، بتا و گاما را از طریق شبکه عصبی به دست آورده و سپس به محاسبه تخمین موقعیت این کاربر طبق رابطه (۳) و مقایسه مقدار خطا با حالت قبل یعنی استفاده از رابطه (۲) می‌پردازیم. با استفاده از شبکه عصبی، خطای تخمین برابر ۸.۵۱ متر می‌گردد که در مقایسه با حالت قبل، خطا به مقدار ۹.۴ متر کاهش یافته است. مقادیر اصلی و به دست آمده برای آلفا، بتا و گاما با استفاده از شبکه عصبی به شرح مندرج در جدول ۱ می‌باشد. علت اینکه هنوز هم مقداری خطا وجود دارد، اختلاف بین مقادیر اصلی و مقادیر به دست آمده برای آلفا، بتا و گاما توسط شبکه عصبی می‌باشد.

جدول ۱: مقادیر عددی برای مسئله نمایش داده شده در شکل ۴.

$\gamma$	$\beta$	$\alpha$	
۰.۰۵۵۲۹	۰.۰۵۱۳۰	۰.۸۹۳۴۱	مقادیر اصلی؛ محاسبه شده طبق رابطه (۵)
۰.۰۷۰۵	۰.۱۸۴۴	۰.۷۴۵۱	مقادیر به دست آمده توسط شبکه عصبی
۰.۳۹۳۵۴	۰.۵۵۱۷۴	۰.۹۹۵۰	مقادیر $\rho$ متناظر

#### ۴. مدل کانال SUI

کارگروه دسترسی بی‌سیم پهن‌بند IEEE 802.16، برای فرکانس‌های کمتر از ۱۱ گیگاهرتز مدل کانال توسعه داده شده توسط دانشگاه استنفورد که تحت عنوان مدل SUI نام‌گذاری شده، را پیشنهاد داده است. این مدل پیش‌بینی، اقتباس شده از مدل‌های توسعه داده شده<sup>۲</sup> برای فرکانس‌های بالاتر از ۱۹۰۰ مگاهرتز می‌باشد. شبیه‌سازی کانال در مقاله پیش‌رو براساس مدل SUI انجام شد. در این مدل فرض شده که بین فرستنده و گیرنده سه مسیر وجود دارد.

#### ۳. بهبود خطای تخمین موقعیت با استفاده از شبکه عصبی

امکان کاهش خطای تخمین در مواقعی که سه نقطه مرجع پیرامون کاربر مجهول به درستی انتخاب شده است (شکل‌گیری صحیح مثلث)، وجود دارد. برای این کار باید به نحوی ضرایب شباهت طیف فرکانسی شدت کانال بین کاربر و نقاط مرجع واقع در رئوس مثلث اصلاح گردد. بنابراین با فرض آن که محل دقیق کاربر هدف در اختیار می‌باشد، سه ضریب آلفا، بتا و گاما را به‌گونه‌ای خواهیم یافت که اگر در طول و عرض نقاط مرجع واقع در رئوس مثلث ضرب شوند، به طور دقیق به مختصات کاربر هدف دست خواهیم یافت. برای اینکه موقعیت تخمین زده از مثلث خارج نگردد، لازم است شرط نرمالیزه بودن این ضرایب برقرار باشد یا به عبارتی جمع ضرایب آلفا، بتا و گاما برابر یک گردد. این مقادیر از حل دستگاه معادله رابطه (۱) به دست می‌آید.  $X$  و  $Y$  در این رابطه بیانگر طول و عرض هر یک از سه رأس مثلث و  $[X_{SS}, Y_{SS}]$  بیانگر طول و عرض موقعیت حقیقی کاربر می‌باشد.

$$\begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{SS} \\ Y_{SS} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (۵)$$

در ادامه برای موقعیت‌های مختلف و متعدد کاربر در منطقه هدف، مقادیر آلفا، بتا و گاما را محاسبه نموده و به همراه ضرایب همبستگی طیف فرکانسی شدت کانال بین کاربر با نقاط مرجع واقع در رئوس هر مثلث را در یک جدول ذخیره می‌نماییم. حال صورت مسئله اخیر، یافتن ارتباطی مناسب بین ضرایب همبستگی (مقادیر  $\rho$ ) و مقادیر آلفا، بتا و گامای متناظر می‌باشد یا به عبارتی تابعی که ارتباط بین مقادیر سه گانه  $\rho$  با هر یک از مقادیر آلفا، بتا و گامای متناظر را بیان می‌کند، بیابیم. فرم کلی این رابطه، به صورت معادلات نشان داده شده در رابطه (۶) می‌باشد.

$$\alpha_i = f(\rho_{1i}, \rho_{2i}, \rho_{3i}) ; i = 1, 2, 3, \dots \quad (۶-الف)$$

$$\beta_i = f(\rho_{1i}, \rho_{2i}, \rho_{3i}) ; i = 1, 2, 3, \dots \quad (۶-ب)$$

$$\gamma_i = 1 - (\alpha_i + \beta_i) ; i = 1, 2, 3, \dots \quad (۶-ج)$$

راه‌کارهای مختلفی برای حل این مسئله به کار گرفته شد، و در نهایت استفاده از شبکه عصبی پس انتشار (BP)<sup>۱</sup> با توجه به سهولت اجرا و فراهم کردن دقت لازم انتخاب گردید. هدف اساسی در این قسمت آموزش شبکه عصبی برای یافتن مقادیر مناسب متناظر با مقادیر  $\rho$  در هر بار تخمین موقعیت می‌باشد. شبکه عصبی مورد استفاده، یک شبکه سه لایه با سه نرون در لایه ورودی (شامل مقادیر  $\rho$  در هر بار تخمین صحیح موقعیت کاربر)، یازده نرون در لایه دوم یا لایه مخفی و دو نرون در لایه خروجی (مقادیر آلفا و بتا) می‌باشد. برای محاسبه گاما با توجه به این که حاصل جمع مقادیر آلفا، بتا و گاما باید برابر یک باشد، با کم کردن حاصل جمع آلفا و بتا در



$X_f$ : پارامتر تصحیح فرکانس‌های بالاتر از ۲ گیگاهرتز (بر حسب مگاهرتز).

$X_h$ : پارامتر تصحیح ارتفاع آنتن گیرنده (بر حسب متر)

S: پارامتر تصحیح اثر سایه (بر حسب dB)؛  $8.2 \text{ dB} < S < 10.6 \text{ dB}$ ؛  
 $\gamma$ : مؤلفه افت مسیر (بر حسب dB).

متغیر تصادفی S دارای توزیع لگاریتمی نرمال<sup>۴</sup> برای محوشدگی سایه<sup>۵</sup> ناشی از درختان و سایر کلاترهای موجود در مسیر انتشار می‌باشد و مقدار آن در محدوده ۸٫۲ الی ۱۰٫۶ دسیبل است. برای محیط شهری مقدار ۱۰٫۶ در نظر گرفته می‌شود. نحوه محاسبه پارامتر A در رابطه (۸) آمده است:

$$A = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \quad (8)$$

$\gamma$  نیز مؤلفه افت مسیر بوده و به صورت رابطه (۹) تعریف می‌گردد:

$$\gamma = a - bh_b + \left( \frac{c}{h_b} \right) \quad (9)$$

$h_b$  در رابطه (۹) ارتفاع آنتن ایستگاه پایه بر حسب متر می‌باشد. مقادیر ثابت a, b, c به نوع عوارض زمین وابسته بوده از جدول ۲ استخراج می‌گردد.

جدول ۲. مقادیر پارامترهای انواع عوارض زمین برای مدل SUI

Model Parameter	Terrain A	Terrain B	Terrain C
a	۴٫۶	۴٫۰	۳٫۶
$b (m^{-1})$	۰٫۰۰۷۵	۰٫۰۰۶۵	۰٫۰۰۵
$c (m)$	۱۲٫۶	۱۷٫۱	۲۰

مقدار پارامتر  $\gamma$  برای انتشار در فضای آزاد در مناطق شهری برابر ۲، برای محیط شهری و در شرایط دید غیر مستقیم (NLOS) در محدوده  $5 < \gamma < 3$  و برای انتشار در محیط داخلی<sup>۶</sup> بزرگ‌تر از ۵ می‌باشد.

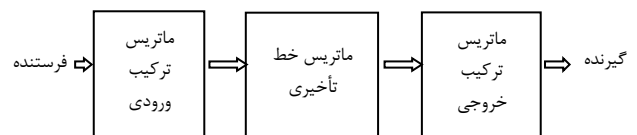
$X_f$  فاکتور تصحیح فرکانسی و  $X_h$  فاکتور تصحیح ارتفاع آنتن گیرنده از روابط (۱۰) و (۱۱) به دست می‌آیند:

$$X_f = 6.0 \log_{10} \left( \frac{f}{2000} \right) \quad (10)$$

$$X_h = \begin{cases} -10.8 \log_{10} \left( \frac{h_r}{2000} \right) & \text{برای عوارض نوع A و B} \\ -20.0 \log_{10} \left( \frac{h_r}{2000} \right) & \text{برای عارضه نوع C} \end{cases} \quad (11)$$

با استفاده از این فاکتورهای تصحیح، این مدل برای پیش بینی افت مسیر برای هر سه نوع عارضه زمین در مناطق روستائی، شهری و حاشیه شهری قابل استفاده می‌باشد [۱۰] و [۱۱].

دو مسیر از سه مسیر در نظر گرفته شده دارای دید غیرمستقیم (NLOS) بوده و مسیر سوم می‌تواند دارای دید مستقیم (LOS) باشد و یا اینکه این مسیر هم شرایط دید مستقیم را نداشته باشد. ساختار کلی مدل تجربی SUI در شکل ۶ نمایش داده شده است. با توجه به این شکل، بلوک نخست مدل با ماتریس ترکیب ورودی<sup>۱</sup> شناخته می‌شود که در صورت استفاده از چندین آنتن در بخش فرستنده، میزان همبستگی بین سیگنال ارسالی از آنتن‌های فرستنده را محاسبه می‌نماید. بلوک دوم در مدل ارائه شده، ماتریس خط تأخیری<sup>۲</sup> است که محوشدگی کانال را شبیه‌سازی می‌کند. در این مدل اثرات محوشدگی چند مسیره کانال با استفاده از یک خط تأخیر با ۳ مسیر<sup>۳</sup> غیر یکنواخت شبیه‌سازی خواهد شد.



شکل ۶. ساختار کلی مدل تجربی کانال SUI

در گام نخست به محاسبه افت مسیر براساس روابط معرفی شده در این مدل پرداخته شد. افت مسیر نسبت مستقیم با فاصله بین فرستنده و گیرنده دارد. محدوده ارتفاع آنتن ایستگاه پایه در مدل SUI بین ۱۰ تا ۸۰ متر در نظر گرفته شده است. ارتفاع آنتن گیرنده نیز ۲ تا ۱۰ متر و شعاع سلول از ۰٫۱ تا ۸ کیلومتر می‌باشد. مدل SUI بر حسب عوارض زمین به سه نوع A, B, C تقسیم‌بندی شده است. این مدل شامل محیط‌های خاص نمی‌شود. نوع A دارای حداکثر افت مسیر بوده و مناسب مناطق دارای عوارض زیاد با تراکم گیاهی متوسط تا زیاد می‌باشد. در مقالات افت مسیر در نواحی شهری با مدل SUI نوع A مدل گردیده است. نوع C دارای حداقل افت مسیر بوده و کاربرد آن در مناطق دارای عوارض مسطح با تراکم پوشش درختی کم می‌باشد. این مدل مناسب مناطق روستائی می‌باشد. مدل B دارای میزان افت مسیر متوسطی بوده و مناسب نواحی واقع در حاشیه شهر می‌باشد. مدل SUI برای افت مسیر به همراه فاکتورهای تصحیح به صورت رابطه (۷) می‌باشد.

$$Path\_loss = A + 10\gamma \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_h + S \quad ; d > d_0 \quad (7)$$

که پارامترهای رابطه فوق به صورت زیر تعریف می‌گردد:

d: فاصله بین ایستگاه پایه و آنتن گیرنده

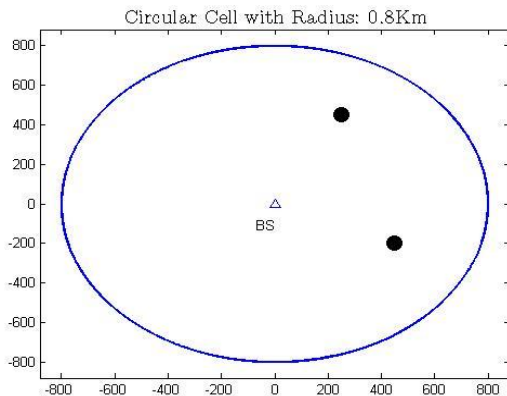
$d_0$ : مقدار ثابت ۱۰۰ متر؛ مدل افت مسیر SUI، برای فواصل بیش از صد متر کاربرد دارد.

$\lambda$ : طول موج (متر)

4. Log Normally Distributed  
 5. Shadow Fading  
 6. Indoor

1. Input Mixing Matrix  
 2. Tapped Delay Line Matrix  
 3. 3-Tapped Delay Line

هم به گونه‌ای تعریف شد که به طور تقریبی ایستگاه پایه در راستای عمود منصف خط واصل دو مانع قرار گیرد. شکل ۷ سلول طراحی شده و موقعیت موانع و ایستگاه پایه را نشان می‌دهد.



شکل ۷. کانال انتشار طراحی شده براساس دو مانع به شکل قرص دایروی

استفاده از تعداد کم موانع (تنها دو مانع) و نحوه چینش نسبتاً متقارن موانع و ایستگاه پایه به دلیل انجام شبیه‌سازی در بدترین شرایط کانال انجام گرفت. سپس نسبت به ایجاد نقاط مرجع به طریقی که در بخش ۲-۱ شرح داده شد، اقدام گردید. در ادامه طیف فرکانسی شدت کانال در این نقاط مرجع صد بار در بازه‌های زمانی بزرگتر از زمان همدوسی کانال، اندازه‌گیری شده و مقدار میانگین آن در بانک اطلاعات ذخیره شد. برای بررسی و مطالعه رفتار کانال از مدل کانال SUI در قرص دایروی ایجاد شده، استفاده شد. طراحی کانال براساس محوشدگی از نوع فرکانس‌گزین و لحاظ کردن اثر داپلر انجام شده است. تابع تهیه شده در این زمینه قادر به محاسبه مجموع اثرات ماکروسکوپی یا اثرات محوشدگی بلند<sup>۳</sup> و نیز شامل اثرات میکروسکوپی یا همان اثرات محوشدگی کوتاه<sup>۴</sup> نظیر اثر سایه<sup>۵</sup> می‌باشد. در شکل ۸ رفتار کانال در نقاط مختلف مسیر در موقعیتی به فاصله ۳۳۱۳٫۸ متر از ایستگاه پایه نمایش داده شده است. نمودار نمایش داده شده ناشی از افت مسیر، اثرات سایه، تغییرات ناشی از چند مسیریگی کانال و همچنین لحاظ کردن نویز گوسی در مسیر انتقال می‌باشد.

شبیه‌سازی‌ها برای سیگنال با ارسال OFDMA با تعداد ۵۱۲ فرکانسی ۳۵۰۰ مگاهرتز و پهنای باند ۵ مگاهرتز انجام شده است. افت مسیر براساس مدل SUI و نوع A که مختص کانال در ناحیه شهری است، طبق روابط ۶ الی ۱۱ محاسبه گردید. در شبیه‌سازی فرض بر آن بوده که کاربران دارای آنتن تمام جهتی می‌باشند. کانال طراحی شده دارای سه مسیر انتشار شامل یک مسیر مستقیم و دو مسیر غیرمستقیم می‌باشند. مقدار تأخیر گسترده برای دو مسیر غیرمستقیم طبق توضیحات ارائه شده در بخش قبل و براساس رابطه (۱۲) محاسبه می‌گردد.

برای لحاظ کردن اثرات چندمسیریگی و داپلر در کانال نیز از مدل SUI معرفی شده در این زمینه استفاده گردید. در برخی از مستندات از جمله [۹] مدل SUI را براساس انواع عوارض زمین و انتشار داپلر به شش دسته تقسیم‌بندی کرده‌اند. در واقع در این نوع تقسیم‌بندی مدل تجربی کانال SUI، برای هر رده از دسته‌بندی منطقه یعنی کلاس‌های A, B و C دو مدل مختلف ارائه شده است.

در مدل SUI مقادیر تأخیر گسترده و بهره هر سه مسیر ثابت در نظر گرفته شده است که به معنای عدم تغییرات نسبی بین فرستنده و گیرنده می‌باشد. علت ثابت در نظر گرفتن مقادیر تأخیر و بهره مسیر در مدل SUI آن است که طراحی این مدل برای شبکه‌های بی‌سیم ثابت<sup>۱</sup> می‌باشد. اما در مقاله پیش‌رو شبکه بی‌سیم ثابت مد نظر نمی‌باشد. در این مقاله ضمن اصلاح مدل SUI برای شبکه‌های سیار، از مدل SUI-3 با انتخاب نوع عارضه A که مناسب مناطق شهری است، برای شبیه‌سازی کانال استفاده شده است. به این صورت که با در نظر گرفتن دو مانع در سلول مورد نظر، میزان تأخیر گسترده و بهره مسیر محاسبه می‌شود. یعنی مقادیر تأخیر گسترده و بهره مسیر در این مقاله ثابت نبوده و به نسبت فاصله کاربر از ایستگاه پایه و موانع تغییر می‌کند. بهره مسیر بر حسب فاصله بین گیرنده و فرستنده طبق روابط ۶ الی ۱۰ در هر موقعیت جدید کاربر محاسبه می‌گردد. میزان تأخیر مسیر مستقیم (مسیر مبنا) صفر ثانیه در نظر گرفته شده است. برای محاسبه مقدار تأخیر گسترده در محل کاربر برای دو مسیر با دید غیر مستقیم، از رابطه (۱۲) استفاده شده است. به این صورت که ابتدا مجموع فواصل بین گیرنده تا موانع و موانع تا ایستگاه پایه محاسبه شده و سپس مقدار فاصله مستقیم بین ایستگاه پایه و گیرنده از آن کسر می‌شود. از تقسیم اختلاف فاصله به دست آمده (بر حسب متر) بر مقدار سرعت انتشار موج، مقدار تأخیر (T) برای آن مسیر به دست خواهد آمد.

$$\tau(\mu s) = \frac{A \text{ distance}}{300} \quad (12)$$

چون هدف‌گذاری در مقاله پیش‌رو تخمین موقعیت کاربر در محیط‌های شهری<sup>۲</sup> می‌باشد، از نوع عارضه زمین A به جای نوع عارضه B در مدل SUI-3 استفاده گردید. برای مشاهده جدول پارامتر مدل SUI-3 و سایر مدل‌های SUI، می‌توان به [۹] مراجعه نمود.

## ۵. نتایج شبیه‌سازی

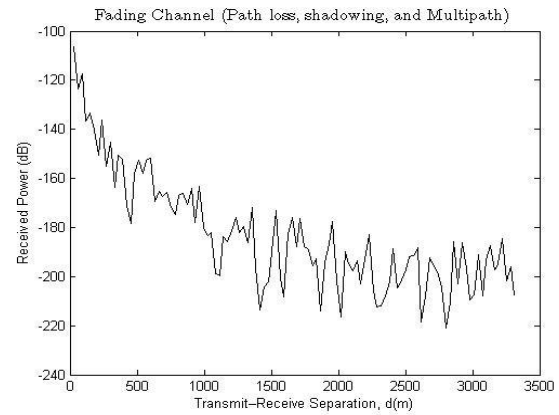
اولین قدم در اجرای شبیه‌سازی، طراحی منطقه ارسال/دریافت سیگنال و کانال مخابراتی می‌باشد. لذا منطقه‌ای به فرم یک قرص دایروی به شعاع تقریبی ۸۰۰ متر به عنوان محیط انتقال در نظر گرفته شد و محل ایستگاه پایه (BS) در مرکز این قرص دایروی تعیین گردید. سپس برای شبیه‌سازی چند مسیره بودن کانال، دو مانع به فاصله ۶۸۰ متر از یکدیگر و فواصل ۵۱۴٫۷۸ و ۴۹۲٫۴۴ متر از ایستگاه پایه ایجاد گردید. موقعیت موانع و ایستگاه پایه نسبت به

## ۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله معیار جدیدی جهت تخمین موقعیت کاربر در شبکه‌های مبتنی بر ارسال OFDMA پهن‌بند ارائه شد. روش پیشنهادی براساس معیار شباهت طیف فرکانسی شدت کانال بوده و دارای مزایای متعددی می‌باشد. استفاده از این معیار، مستقل از شبکه بوده و در تمامی شبکه‌های مخابراتی مبتنی بر ارسال OFDMA دارای سیگنال پهن‌بند، کارا است. معیار ارائه شده برخلاف بسیاری از معیارها و پارامترهای پیشنهاد شده در سایر مقالات، نه تنها در برابر اثرات ناشی از چند مسیریگی کانال و شرایط NLOS آسیب‌پذیر نمی‌باشد، بلکه در روش پیشنهادی از مشخصه‌های آماری کانال به عنوان نقاط قوت در تخمین موقعیت استفاده قرار می‌شود. در واقع اگر ارسال از نوع OFDMA باشد، اثر چند مسیریگی خود را به صورت تغییرات دامنه در حوزه فرکانس نشان می‌دهد که همین موضوع می‌تواند یک مشخصه یا معیاری برای تخمین موقعیت کاربر باشد. در این راستا، شبیه‌سازی برای یک سیگنال OFDMA با پهنای باند سیگنال برابر ۵ مگاهرتز با یک ایستگاه پایه در شرایط چند مسیریگی در فرکانس مرکزی ۳.۵ گیگاهرتز انجام شد. کانال انتشار براساس مدل SUI با سه مسیر به‌گونه‌ای طراحی شد که مسیر اول دارای شرایط دید مستقیم و دو مسیر دیگر دارای شرایط دید غیر مستقیم باشد. کاربران دارای آنتن تمام‌جهتی می‌باشند و تخمین موقعیت در کانال فراسو انجام می‌گیرد. با چنین شرایطی و در یک سلول به شعاع ۸۰۰ متر و تراکم نقاط مرجع با متوسط فاصله ۲۶.۴ متر از یکدیگر، خطای تخمین موقعیت تقریباً برابر ۱۱ متر به‌دست آمده است.

## ۷. مراجع

- [1] Bin X. and Guodong S. and Ran Y. and Zheng Y., "High-accuracy TDOA-based Localization without Time Synchronization", IEEE Transactions on Parallel and Distributed System, Vol. 24, No. 8, pp.1567-1576, 2013.
- [2] Kim S. and Shin Y., "An improved TDoA-based tracking algorithm in mobile-WiMAX systems", IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp.561 - 565, 2009.
- [3] Bshara M. and VanBiesen L., "Localization in WiMAX Networks Depending on The Available RSS-based Measurements", International Journal on Advances in Systems and Measurements, Vol. 2, No. 2&3, pp.214-223, 2009.
- [4] Bshara M. and Verschraegen R. and Van Biesen L., "Cell-ID positioning in WiMAX networks Analysis of the Clearwire network in Belgium", ICT-Mobile Summit 2009 Conference Proceedings, Santander, Spain, Postal paper, 10-12 June 2009.
- [5] Lee J., Kim N., Kim S., Kang J., "Joint AOA/RSSI Based Multi-User Location System for Military Mobile Base-Station", IEEE Military Communications Conference (MILCOM 2008), pp.1-5, 2008.
- [6] Xie Y., Wang Y., Wu B., Yang X., Zhu P. and You X., "Localization by Hybrid TOA, AOA and DSF Estimation in NLOS Environments", IEEE 72th Vehicular Technology Conference Fall(VTC2010-Fall), pp.1-5, 2010.



شکل ۸. نمایش رفتار کانال طرحی شده طی مسیر در نقطه‌ای به فاصله ۳۳۱۳.۸ متر از BS

در جدول ۳ نتایج حاصل از اجرای الگوریتم تخمین موقعیت، برای ۱۰۰۰ موقعیت کاربر با توزیع تصادفی و یکنواخت در قرص دایروی طراحی شده، آمده است. متوسط فواصل نقاط مرجع از یکدیگر در شبیه‌سازی انجام شده برابر ۲۶.۴ متر می‌باشد. میانگین خطای تخمین با شرایط شرح داده شده و با استفاده از شبکه عصبی جهت کاهش خطا، ۱۱/۲ متر می‌باشد.

جدول ۳. نتایج شبیه‌سازی

Simulation Results in WiMAX Network	
Total BandWidth	5 MHz
FFT Size	512
Center Frequency	3500 MHz
Sampling Frequency	5.6 MS/Sec
Cellular layout	Circular Cell(2D) with radius 800m
BS Antenna	Omni Directional
Scenario	LOS & NLOS
Noise	AWGN
Fading	Frequency Selective
Channel Model	SUI
Dense of Reference Points(Avg)	26.4 meters apart
Estimation Error(Avg)	11.2 Meter

- [7] Barber D.E. and Mc Eachen J.C., "Geolocation of WiMAX Subscriber Stations Based on the Timing Adjust Ranging Parameter", 4th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS), pp.1-5, 2010.
- [8] Leria V.J. and Lohan E.S., "Timing-Based Location Estimation for OFDM Signals with Application in LTE, WLAN and WIMAX", International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), pp.1-5, 2012.
- [9] Jain R., "Channel Models: A Tutorial", On line at <http://www.cse.wustl.edu>, Sponsored in part by WiMAX Forum, 2007.
- [10] Shahajahan M. and Hes-Shafi A., "Analysis of Propagation Models for WiMAX at 3.5 GHz", Thesis of Degree of Master of Science in Electrical Engineering at Belkinge Institute of Technology in Sweden, September 2009.
- [11] V. Erceg, K.V.S. Hari, M.S. Smith, D.S. Baum et al, "Channel Models for Fixed Wireless Applications", IEEE 802.16.3c-01/29r4, 16 July 2001.
- [12] Kia M., "Neural Networks in MATLAB", Kianpub, 2011. (In Persian)