

# تخمین زاویه و فاصله سیگنال ارسالی در آنتن های آرایه ای با استفاده از شبکه عصبی

علی مطیع نصرآبادی  
استادیار گروه مهندسی پزشکی دانشگاه شاهد  
[amotie\\_n@aut.ac.ir](mailto:amotie_n@aut.ac.ir)  
تلفن تماس: 0215277777

آذر محمودزاده  
دانشکده مهندسی دانشگاه شاهد  
[Azar\\_mahmoodzadeh@yahoo.com](mailto:Azar_mahmoodzadeh@yahoo.com)  
تلفن تماس: 09131006392

**چکیده:** در این مقاله تخمین زاویه و فاصله سیگنالهای ارسالی در کانالهای چند مسیره مخابرات سیار با ترکیب دو روش AOA و TOA انجام می شود. بدین منظور خروجی آنتنهای آرایه ای پس از پیش پردازش به عنوان بردار ویژگی شبکه عصبی معرفی می شود، تا شبکه بعد از یادگیری قادر به تعیین موقعیت کاربر باشد.

**کلمات کلیدی:** تخمین موقعیت، آنتن هوشمند، TOA، AOA، مخابرات سیار و شبکه عصبی

## 1- مقدمه:

تخمین موقعیت کاربر در سیستمهای مخابرات سیار به دو دلیل حائز اهمیت می باشد. دلیل اول استاندارد تعیین شده توسط کمیته مخابرات فدرال در زمینه سرویس اضطراری E-911 است و دلیل دوم استفاده از آنتنهای هوشمند در نسل سوم مخابرات سیار می باشد، که با هدف انتقال صوت، تصویر و داده های کامپیوتری با کیفیت بهتر و ظرفیت بیشتر مطرح شده اند.

در این آنتنها که متشکل از آرایه ای از حسگرها هستند، می توان به دلخواه الگوی تشعشع آنتن را تعیین کرد. پس با دانستن موقعیت کاربر می توانیم الگوی آنتن را به گونه ای تغییر دهیم که سیگنال مورد نظر را با بیشترین توان و کمترین تداخل دریافت کنیم. بنابراین روشهایی که بتوانند به سرعت موقعیت هر کاربر را مشخص کنند، از اهمیت ویژه ای در آنتنهای هوشمند برخوردار هستند.

در اکتبر 1996، کمیته مخابرات فدرال لزوم ایجاد سرویس اضطراری 911 را برای مخابرات سلولی مطرح کرد تا کاربران بتوانند در مواقع اضطراری با پلیس امداد تماس بگیرند. سپس سرویس کاملتری با نام E-911 در نظر گرفته شد که شامل دو مرحله است. بطور کلی سه روش برای مکان یابی یک منبع سیگنال وجود دارد که عبارتند از: AOA، TDOA، TOA.

در روش AOA تخمین زاویه دریافت سیگنال توسط دو ایستگاه پایه صورت می گیرد و سپس موقعیت منبع سیگنال که نقطه تلاقی راستاهای بدست آمده است، تعیین می شود. در روش TOA نخست تاخیر زمانی دریافت سیگنال توسط سه ایستگاه متفاوت تخمین زده می شود، سپس از روی آنها فاصله منبع تا ایستگاههای مربوطه بدست می آید. در این روش منبع سیگنال در ناحیه همپوشانی سه دایره ای قرار دارد که به مرکز هر ایستگاه و شعاع فواصل محاسبه شده ترسیم شده است. در روش TDOA اختلاف زمان دریافت سیگنال منبع برای دو ایستگاه اندازه گیری می شود. در این حالت موقعیت منبع سیگنال محل تقاطع دو هذلولی به مراکز ایستگاههاست. مزیت این روش در مقایسه با TOA به همزمان بودن ایستگاه ها و منبع سیگنال می باشد. با ترکیب دو روش TOA و AOA هم میتوان به کمک یک ایستگاه موقعیت منبع سیگنال را بدست آورد. [7]

در این مقاله نیز از روش ترکیبی TOA و AOA استفاده شده است. این مقاله شامل دو قسمت سیستم مخابراتی و دیگری شبکه عصبی می باشد.

## 2-سیستم مخابراتی

**2-1 پردازش آرایه های رادار برای یک مسیر:** رادار یک وسیله الکتریکی است که برای ردیابی و تعیین موقعیت هدف مورد نظر به کار می رود. رادار بوسیله ارسال امواج مخصوص (مانند یک موج سینوسی) و با آنالیز طبیعت موج بازگشتی کار می کند.

در موقعیت نویز محدود شده سیگنال رادار شامل موج برگشتی و یک نویز جمع شونده در گیرنده می باشد. در حالت های پیچیده تری موج برگشتی شامل موج های برگشتی از محیط اطراف نیز می باشد. در این مواقع از آنتن های آرایه ای قابل کنترل برای حل این مسائل استفاده می شود. در اینجا از آنتن های خطی برای تخمین زاویه صفحه موج رسیده به آنتن استفاده می شود.

**2-1-1 مدل پایه سیگنال و نویز:** یک فضای یکنواخت و یک آنتن آرایه ای خطی که شامل N عنصر و M موج صفحه ای رسیده از مسیر مشخص را در نظر می گیریم. فرض می کنیم که همه این امواج صفحه ای باند باریک و دارای فرکانس carrier ( $f_c$ ) یکسان می باشد. سیگنال m امین موج صفحه ای در n امین عنصر که فاقد نویز است به صورت زیر بیان می شود:

$$s(n, m, t) = A_m \cos(2\pi f_c t + 2\pi(n - \frac{N+1}{2})v_m \cdot z + \alpha_m)$$

پارامترهای  $A_m$  و  $\alpha_m$  دامنه و فاز سیگنال اندازه گیری شده در مرکز آنتن آرایه ای می باشد. سیگنال خروجی که در هر عنصر آرایه اندازه گیری می شود متفاوت از سیگنال رسیده به ورودی آنتن می باشد. زیرا که درون آنتن با مقداری نویز جمع شده است. این نویز را با یک نویز سفید با فرآیند تصادفی ارگادیک مدل می کنیم. برای کاهش نویز بهتر است که سیگنال را از یک فیلتر باند باریک عبور دهیم. [1]

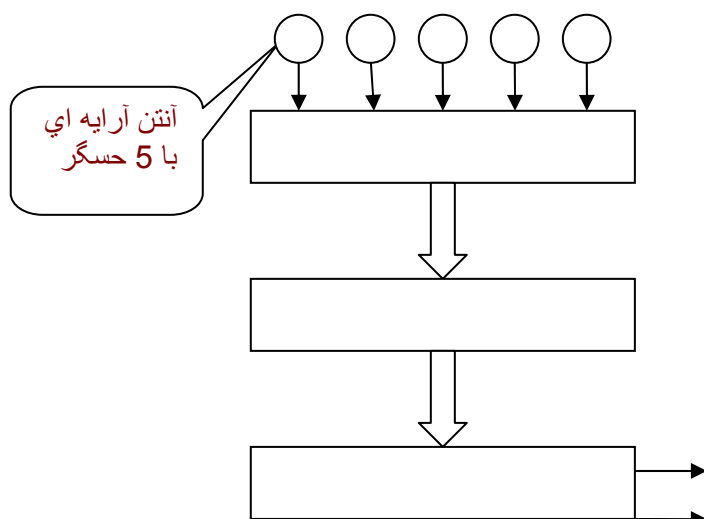
**2-1-2 داده های مکانی:** در این مقاله آنتن آرایه ای مورد استفاده از پنج حسگر تشکیل شده است که در امتداد خط مستقیم و با فاصله یکسان قرار گرفته اند. سیگنال خروجی حسگرهای آنتن وارد مرحله پیش پردازش شده و سپس به شبکه عصبی اعمال می شود. در پیش پردازش ابتدا تابع خودهمبستگی فضایی خروجی حسگرها بطور تقریبی محاسبه می شود. [2] و [5]

ماتریس همبستگی فضایی بردار سیگنال مشاهده شده بصورت زیر محاسبه می شود:

$$R = E[x^*(k)x^T(k)]$$

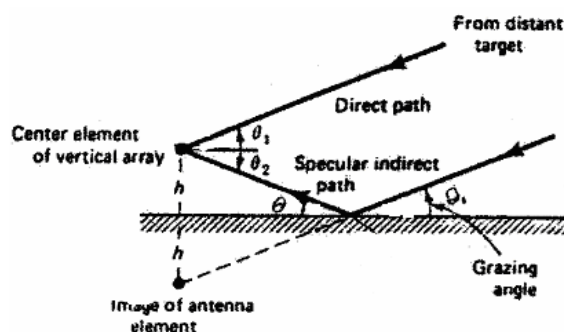
به دلیل تقارن ماتریس می توان درایه های مثلث پایینی را در نظر گرفت و از درایه های بالایی صرف نظر کرد. به این ترتیب به جای 25 جزء ماتریس همبستگی تنها 15 جزء در نظر گرفته شود. این اجزاء در یک بردار ستونی مرتب شده و به ورودی های شبکه عصبی اعمال می شود.

**2-1-3 داده های زمانی:** گام بعدی در مرحله پیش پردازش ، فراهم کردن داده های زمانی برای شبکه عصبی است. برای این منظور از سیگنال خروجی حسگر مرجع در آنتن آرایه ای نمونه برداری می کنیم. تعداد نمونه های در نظر گرفته شده 30 و فاصله زمانی نمونه ها از یکدیگر برابر واحد زمانی می باشد. همانطور که می دانید ، سیگنال دریافتی تمامی حسگرهای آنتن یکی است و فقط در تأخیر دریافت سیگنال کاربر و مقدار نویز اختلاف دارند. داده های زمانی نیز در یک بردار ستونی مرتب می شوند و به شبکه عصبی اعمال می گردد. شکل صفحه بعد روند نمای تخمین موقعیت کاربر با شبکه عصبی را در حالت استفاده از یک ایستگاه پایه و یک مسیر دریافتی نشان می دهد.



موقعیت تخمینی کاربر  
( $r, \theta$ )

**2-2 پردازش آرایه های رادار برای چند مسیر:** در این مدل سیگنال رسیده به آنتن شامل سیگنالهای برگشتی از سطوحی مختلف و همچنین سیگنال مستقیم از خود هدف می باشد. در اینجا فرض می کنیم که سطح بازگشتی یک سطح صاف و یکنواخت باشد و هدف نیز در فاصله دوری از آنتن قرار داشته باشد. هدف در همه جهات سیگنال ارسال می کند.



**3-2 مدل سازی انتشار امواج :** تخمین موقعیت کاربر در کانالهای چند مسیره مخابرات سیار شبیه سازی شده است. همان طور که می دانیم محیط انتشار سیگنالها در مخابرات سیار به گونه ای است که امواج در اثر برخورد با موانع مختلف دچار پراکندگی می شوند و پس از انعکاس از سطح موانع به ایستگاه های پایه می رسند. برای مدل سازی موانع محیط انتشار یا ناحیه پراکندگی سیگنالها، یک دایره به مرکز کاربر و شعاع  $R$  در نظر می گیریم. طبق این مدل سلی، سیگنالها تنها داخل و یا روی دایره مذکور پراکنده می شوند. [4]  
انحراف معیار این تابع گوسی که برحسب شعاع ناحیه پراکندگی محاسبه می شود به صورت زیر است:

$$\sigma_{\theta_i} = \frac{1}{4} \tan^{-1} \left( \frac{R}{r_i} \right)$$

در این رابطه  $R$  شعاع ناحیه پراکندگی و  $r_i$  فاصله کاربر تا ایستگاه پایه  $i$  ام است تاخیر سیگنال نیز در حضور موانع تغییر می کند.

## 2- شبکه عصبی

در این مقاله تخمین موقعیت کاربر با شبکه عصبی پرسپترون چند لایه انجام می شود. شبکه عصبی مورد استفاده در تخمین موقعیت از یک لایه ورودی، یک لایه مخفی و یک لایه خروجی تشکیل می شود. لایه ورودی سیگنال خروجی

حسگرهای آنتن آرایه ای را بعد از یک مرحله پیش پردازش دریافت می کند. 15 ورودی داده های مکانی را به شبکه اعمال می کنیم که زاویه سیگنال دریافتی آنتن را در بر دارد. 30 ورودی داده های زمانی را به شبکه عصبی اعمال می کنیم که حاوی تاخیر زمانی سیگنال دریافتی می باشد. یک لایه مخفی ارتباط بین لایه ورودی و لایه خروجی را برقرار می کنند لایه خروجی از دو نرون تشکیل می شود. خروجی این دو نرون موقعیت تخمینی کاربر  $(r, \theta)$  را در سیستم مختصات قطبی تعیین می کند. شکل زیر ساختار پرسپترون چند لایه را برای تخمین موقعیت کاربر نشان می دهد.

تابع فعالیت نرونهای لایه پنهان تانژانت هیپربولیک می باشد. [6] در مرحله آموزش، شبکه پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا آموزش می بیند. نحوه تولید نمونه های آموزشی به این ترتیب است که ابتدا با متغیر تصادفی یکنواخت، یک نقطه به عنوان کاربر مفروض در صفحه مختصات قطبی تعیین گردد. زاویه و تاخیر سیگنال کاربر با توجه به موقعیت آن محاسبه شده و سپس سیگنال دریافتی آنتن آرایه ای با زاویه و تاخیر مورد نظر شبیه سازی می شود. خروجی حسگرهای آنتن وارد مرحله پیش پردازش شده و سپس به عنوان ورودیهای شبکه در مرحله آموزش در نظر گرفته می شود.

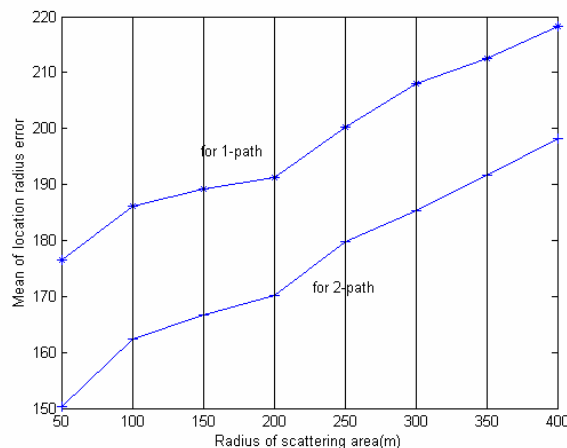
با ورودی و خروجی مذکور یک نمونه برای آموزش شبکه پرسپترون بدست می آید. آموزش شبکه تا جایی ادامه می یابد که مقدار متوسط و انحراف معیار خطای تخمین موقعیت شبکه به حداقل مقدار خود برسد.

### 3- شبیه سازی

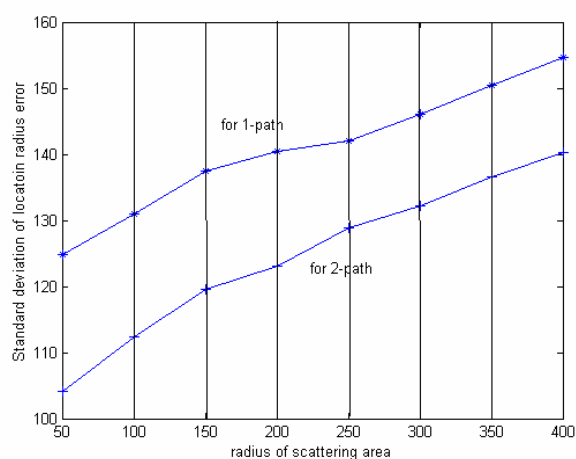
در این مقاله فرض بر این شده که موقعیت هر کاربر با  $(r, \theta)$  نشان داده شده است.  $r$  فاصله کاربر تا گیرنده (آنتنهای آرایه ای) است که بین 0 تا 1000 با استفاده از توزیع یکنواخت تولید شده است و  $\theta$  زاویه موج رسیده از کاربر تا

گیرنده می باشد که با استفاده از توزیع گوسی با انحراف معیار  $\sigma_{\theta_i} = \frac{1}{4} \tan^{-1}(\frac{R}{r_i})$  در بازه  $(0, \pi)$  تولید شده

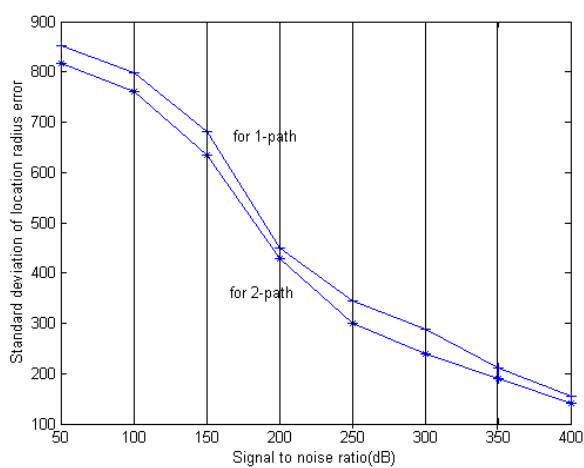
است. در قسمت اول فرض بر این است که نسبت SNR ثابت و برابر با 16db در نظر گرفته شده است و سپس با تغییرات شعاع ناحیه پراکندگی شبکه برای هر تغییرات آموزش داده می شود و میانگین خطا و انحراف معیار خطا محاسبه می شود. عملیات بالا برای سیگنال رسیده از یک مسیر و دو مسیر انجام می شود. در قسمت بعد فرض می کنیم که شعاع پراکندگی ثابت و برابر با 50 متر و نسبت SNR متغیر است و سپس با تغییرات SNR شبکه را برای هر تغییرات آموزش می دهیم و میانگین خطا و انحراف معیار خطا را محاسبه می کنیم. عملیات بالا برای سیگنال رسیده از یک مسیر و دو مسیر دوباره انجام می شود. نمودارهای بدست آمده در زیر آورده شده است.



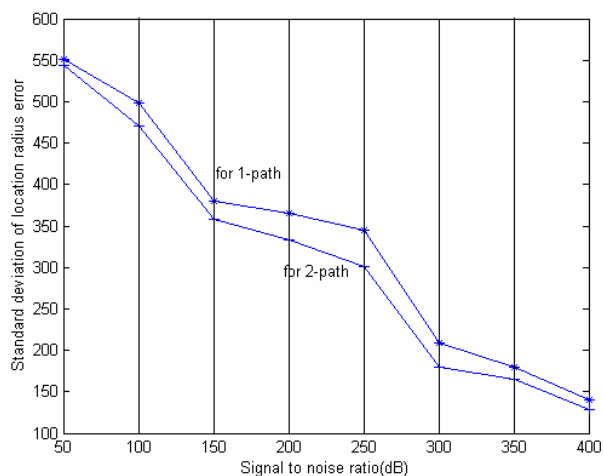
مقدار متوسط خطای تخمین موقعیت شعاع به ازای تغییر شعاع ناحیه پراکندگی



انحراف معیار خطای تخمین موقعیت شعاع به ازای تغییرات شعاع ناحیه پراکندگی



مقدار متوسط خطای تخمین موقعیت شعاع به ازای تغییرات نسبت سیگنال به نویز (dB)



انحراف معیار خطای تخمین موقعیت شعاع به ازای تغییرات نسبت سیگنال به نویز (dB)

#### 4- نتایج

طبق نتایج بدست آمده با افزایش مسیرهای دریافتی سیگنالهای کاربر (کاربر در فضای دو بعدی قرار دارد) خطای تخمین موقعیت کاهش می یابد (به علت اینکه اطلاعات ما در مورد سیگنال ارسالی از کاربر افزایش می یابد) و نیز هر چه که شعاع ناحیه پراکندگی سیگنال کاربر افزایش می یابد و نسبت سیگنال به نویز کاهش می یابد خطای تخمین موقعیت افزایش می یابد.

نتایج بدست آمده برای تعیین خطای زاویه کاربر کمتر از خطای بدست آمده برای فاصله کاربر تا گیرنده می باشد می توان نشان داد که هر چه که تعداد آنتنهای آرایه های افزایش یابد خطای تعیین زاویه کاربر نیز کاهش می یابد. نتایج بدست آمده در یادگیری شبکه نشان داد که هر چه تعداد نرونها در شبکه افزایش یابد زمان مصرفی برای یادگیری نیز افزایش می یابد در حالیکه کاهش خطا در مقابل پیچیدگی شبکه و مصرف زمان زیاد کاهش چشمگیری ندارد.

در حالیکه هر چه تعداد داده های یادگیری افزایش یابد، خطا بطور چشمگیری کاهش می یابد. میانگین و واریانس خطای بدست آمده در یک مسیر در جدول زیر آورده شده است.

شعاع	میانگین (m)	واریانس (m)
50	176.46	31.54
100	186.17	52.54
200	191.25	120.838
300	207.98	34.86
400	218.34	40.77

برای دو مسیر نیز نتایجی شبیه به بالا ولی با میانگین و واریانس کمتری بدست آمد.

#### 5- مراجع

- [1] SIMON HAYKIN, Communication Research Laboratory ,McMaster University,Hamilton, Ontario
- [2] H.El.Zooghby,C.G.Christodoulou and M.Gorgiopoulous, "Aneural network-based smart antenna for multiple source tracking," IEEE Trans . Antennas and Propagation, vol. 48,no.5,pp.768-776,May 2000
- [3] Hoi-Kit Ko , "NLOS mobile location determination in CDMA cellular system," M.Sc Thesis Toronto University, 1999
- [4]R.Estrada, D.M.Rodriguez, C.Molina and K.Basu, "Cellular position location techniques:a parameter detection approach,"49<sup>th</sup> IEEE Conf. Veh. Technol, vol. 2,pp.1166-1171,1999.
- [5] T.Gebauer and H. G. Gockler, "Channel---Individual adaptive beam forming for mobile satellite communication, " IEEE j. Selected Areas Commun.,vol. 13,pp.439-448,Feb.1995
- [6] S.Haykin, Neural Network :A Comprehensive Foundation, (2 ed), New Jersey : Prentice Hall,1999
- [7] N. J. Thomas and D. G. M. Cruickshank, "A passive mobile location system for UMTS, " IEE, Colloquium on UMTS Terminal and Software Radio, pp.10/1-10/6,1999