

ارائه ی راهکارهای مکانیابی سیار در سیستم سلولی

سید طه سید صدر

دانشپذیر کارشناسی ارشد مخابرات

دانشکده برق، دانشگاه علم و صنعت

E-mail: STS.Sadr@Gmail.com

چکیده - در حال حاضر بخش عظیمی از کلیه ی تماسها ناشی از تلفنهای همراه می باشند که دسترسی به مکان و محل این دسته از مشترکان با ابزار و تکنولوژیهای موجود قابل برآورد نیست، علاوه بر سرویسهای اضطراری، بسیاری از کاربردهای دیگر تکنولوژی مکانیابی سیار، از قبیل نمایش ردیابی به دلایل امنیتی، ردگیری مالی، هدایت ناوگانهای نظامی و غیره از اندک مواردی هستند که می توان جزء اهداف مکانیابی سیار به آنها اشاره نمود، در این میان مشکلاتی همچون محوشدگی کانال، پایین آمدن نسبت سیگنال به نویز، تداخل خطوط ارتباطی، شرایط چند مسیریگی شدن و ارتباط با مشترک در مکان مسقف از جمله موانع و مشکلات پیش رو می باشند. بکارگیری سیستمهای موقعیت یاب مانند GPS نیز از نظر هزینه و قیمت بصره نیست، همچنین دقت اندازه گیری GPS در محیطهای شهری و درون ساختمانها کاهش می یابد. با توجه به مسائل توضیح داده شده در این مقاله روشهای جدید برای مکانیابی مانند AOA، TOA و TDOA، مزایا و معایب و همچنین ترکیب روشها باهم و رسیدن به راه حل بهینه را باهم دنبال خواهیم کرد.

کلیدواژه- مکانیابی سیار ، ترکیب داده ها ، TOA ، AOA ، TDOA

۱- مقدمه

۲- کاربردهای مکانیابی سیار

۲-۱- مکانیابی سیار برای امنیت

فناوری مکانیابی سیار می تواند برای ردیابی اشخاص و داراییهای آنها، مکانیابی کودکان گم شده و بیماران همچنین ردیابی سارقها، گروگانگیرها، تروریستها و ... بسیار مفید و موثر واقع شود.

۲-۲- مکانیابی سیار برای تبلیغات و تجارت

اطلاعات مکانی برای در دسترس قرار دادن تبلیغات و بازار فروش مفید خواهد بود. برای مثال فروشگاهها قادر خواهند بود مکانهای مشتریان را مشخص و با سفارشی کردن نیازهای مشتری باعث جذب آنها شوند. خرید مدرن که خریداران را بر اساس مکان و محلشان نسبت به فروشگاه مورد نظر هدایت می کند، بخشهای مختلف یک فروشگاه،

طراحی اولیه ی شبکه های سیار مبتنی بر سیستمهای ارتباطی و اطلاعاتی صوتی بوده است. با توجه به استفاده ی روزافزون و به کارگیری این شبکه ها، انتظار می رود که کاربریهای مکانی نقش مهمی در بازارهای جهانی مخابرات سیار ایفا کنند، گرچه سرویسهای سیار امروزه بوسیله ی نیازهای امنیتی و اضطراری تحمیل شده بر شبکه های سیار هدایت می شود ولی در آینده تقاضای جهانی برای سیستمهای سیار مبتنی بر مکانیابی افزایش چشمگیری خواهد یافت، به معنای دقیقتر می توان گفت که اطلاعات مکانی سیار بعد جدیدی را به کاربریها در آینده خواهد افزود.

مراکز خرید، موزه ها و ... از کاربردهای بالقوه در استفاده از این فناوری به شمار می آید.

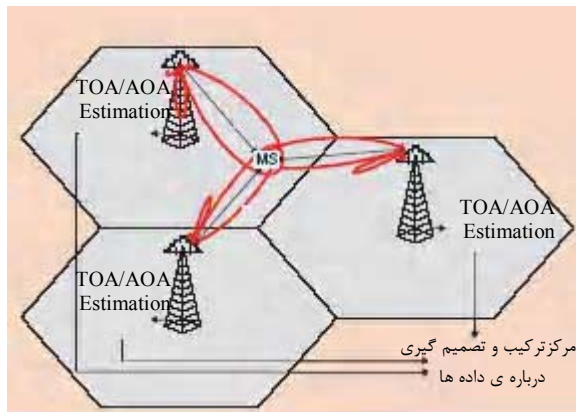
۲-۳- نرم افزارهای حساس به تغییر مکان

سازندگان و پشتیبانی کنندگان از خدمات تلفن سیار میتوانند با استفاده از مکان و اطلاعات مکانی کاربران برنامه ها و یا خدمات تلفنی را با نرخ متغیر که بر اساس مکان تماس گیرنده تغییر می کند، طراحی و اجرا نمایند.

۳- تکنیکهای مکانیابی

تکنولوژی مکانیابی بی سیم به دو دسته ی عمده تقسیم میشود: بر پایه ی موبایل و تکنیکهای بر پایه ی شبکه در سیستمهای مکانیابی موبایلی، مکان موبایل با استفاده از سیگنالهای دریافتی از ایستگاه پایه^۱ و یا از طریق GPS (سیستم تعیین موقعیت جهانی) تعیین می شود. در برآوردهایی که بر اساس GPS انجام می شود موبایل پارامترهای سیگنالی را حداقل از چهار ماهواره دریافت و اندازه گیری می نماید. سیستمهای GPS از نظر دقت در رده نسبتا بالایی قرار دارند، این سیستمها اطلاعات مکانی را در سطح جهان برآورد می کنند. کار گذاشتن گیرنده های GPS در دستگاه های موبایل منجر به افزایش هزینه، ابعاد و مصرف باتری می شود، این سفارش باعث تعویض میلیونها گوشی موبایل می شود که تا امروز به بازار آمده اند. علاوه بر این دقت اندازه گیریهای GPS در محیطهای شهری و درون ساختمانها کاهش می یابد، به همین سبب بعضی از سازندگان و پشتیبانی کنندگان سرویسهای سیار ممکن است از این روش به عنوان یک فناوری مکانیابی و منحصر به فرد استقبال نکنند. از طرف دیگر مکانیابی شبکه ای برای تعیین موقعیت کاربر موبایل با اندازه گیری پارامترهای سیگنال هنگام رسیدن به ایستگاه مورد استفاده قرار می گیرد، در این فناوری ایستگاهها سیگنالهای گسیل یافته از یک موبایل را اندازه گیری کرده و سپس آنها را به یک پایگاه مرکزی جهت پردازش بیشتر می فرستند و پس از آن داده های ارسال شده برای تعیین برآوردی از مکان ایستگاه با هم تلفیق می شوند. امتیاز مهم تکنیکهای شبکه ای این است که موبایل با فرآیند یافتن مکان سر و کار ندارد بنابراین این فناوری نیاز به وجود یک عامل تعدیل کننده در دستگاه موبایل ندارد.

جهت برآورد مکانی در ایستگاه پایه دو عملیات عمده انجام می گیرد، ایستگاههای پایه باید بعضی از پارامترهای سیگنالی از قبیل: زمان و زاویه ی دریافت را از سیگنالهای دریافت شده اندازه گیری نمایند، پس از این پارامترهای اندازه گیری شده ی سیگنال در مرحله ی تصمیم گیری داده ها جهت تهیه ی برآوردهایی از مکان ترکیب می شوند. تصویر (۱) روش اندازه گیری و تصمیم گیری درباره داده ها را برای محیطهای خارجی با استفاده از یک شبکه ی سلولی نشان می دهد.



تصویر (۱): مکانیابی سیار (اندازه گیری و تصمیم گیری درباره داده ها)

۴- روشهای تصمیم گیری درباره ی داده ها

در مرحله ی تصمیم گیری درباره ی داده ها اندازه گیریهای حاصل از ایستگاههای مختلف برای بدست آوردن تخمین از مکان موبایل با هم ترکیب می شوند. در دستگاهها مختصات کارتزین (x_m, y_m) را مولفه های مکان مورد نظر فرض میکنیم، مولفه های سه ایستگاه مختلف $(B.S_1, B.S_2, B.S_3)$ سه نقطه ی (x_1, y_1) ، (x_2, y_2) ، (x_3, y_3) را نمایش می دهند (برای سادگی از مولفه ی z در این نقاط صرفنظر میگردد). فرض می کنیم ایستگاههای مختلف و مکان کاربران موبایلها روی یک سطح واقعند، مبدا مختصات را روی نقطه مربوط به $B.S_1$ در نظر می گیریم یعنی $(x_1, y_1) = (0, 0)$ باید توجه داشت که اجرای روشهای مختلف بستگی به پارامترهایی دارند که در یک ایستگاه پایه اندازه گیری میشود، متداولترین پارامترهای سیگنال: زمان، زاویه و دامنه سیگنال منتشر شده از موبایل می باشد.

۴-۱- ترکیب داده ها در زمان رسیدن سیگنال

روش ترکیب داده ها در زمان رسیدن سیگنال $(TOA)^2$

۱) Base Station

۲) Time of arrival

در این روش ترکیب TOA اندازه گیری شده در بیش از سه ایستگاه پایه ی مختلف امکان پذیر نیست، این مساله با ترکیب همه اندازه گیریهای موجود با استفاده از روش حل کمترین مربعات، پس از ساده کردن بصورت زیر در خواهد آمد:

$$\begin{aligned} r_1^2 - r_1^2 &= x_m^2 + y_m^2 - 2x_m x_1 + y_m^2 + y_1^2 - \\ &2y_m y_1 - x_m^2 - y_m^2 = x_1^2 - 2x_m x_1 + y_1^2 - 2y_m y_1 \end{aligned} \quad (5)$$

اگر $k_i^2 = x_i^2 + y_i^2$ باشد می توان روابط فوق را بصورت ماتریس نمایش داد:

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} k_1^2 - r_1^2 + r_1^2 \\ k_2^2 - r_2^2 + r_1^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

می توان (۶) را بصورت (۷) نوشت:

$$H.x = b \quad (7)$$

که در آن:

$$H = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix}, \quad b = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} k_1^2 - r_1^2 + r_1^2 \\ k_2^2 - r_2^2 + r_1^2 \end{bmatrix}$$

اگر بیش از سه اندازه گیری از TOA در دسترس باشد، رابطه ی (۷) بصورت زیر تعمیم می یابد:

$$H = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad b = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} k_1^2 - r_1^2 + r_1^2 \\ k_2^2 - r_2^2 + r_1^2 \\ k_3^2 - r_3^2 + r_1^2 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

این موضوع نشان می دهد که روش ترکیب داده های TOA به دقت سنکرون بودن کلاکها بین ایستگاههای پایه و موبایلها نیاز دارد و بنابراین اندازه گیریهای r_i بصورت تقریبی برای فواصل واقعی مناسب هستند. در بسیاری از استانداردهای سیستمهای سیار رایج، تنها دقت سنکرون سازی کلاکها در ایستگاههای پایه سفارش شده است. کلاک موبایل ممکن است دارای انحرافی به اندازه ی چند میکروثانیه باشد، این انحراف به طور مستقیم خطایی را در برآورد مکانی روش TOA ایجاد می کند.

در قسمت بعدی یک روش ترکیب داده ها ارائه می شود که در آن زمانهای DOA (TDOA)^۱ با هم ترکیب و از خطای

میباشد که بر اساس ترکیب تخمینهای TOA سیگنال موبایل زمانی که به سه ایستگاه مختلف می رسد، از آنجا که سرعت سیگنال تقریباً برابر با سرعت سیر نور است ($C=3 \times 10^8 \text{ m/s}$) فاصله ی میان موبایل و ایستگاه پایه ی i ام ($B.S_i$) بصورت زیر بدست می آید:

$$r_i = (t_i - t^0) c \quad (1)$$

t^0 زمانی است که موبایل در مبدا قرار دارد و t_i ، (TOA) سیگنال موبایل در ایستگاه پایه i ام یا $B.S_i$ می باشد. فواصل (r_1, r_2, r_3) را می توان با حل معادلات زیر و با استفاده از تصویر (۲) برای برآورد (x_m, y_m) بکار برد:

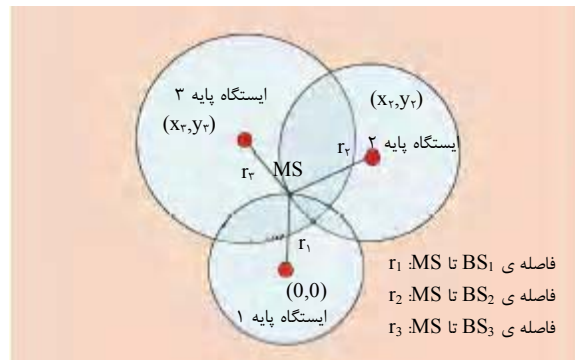
$$r_1^2 = x_m^2 + y_m^2 \quad (2)$$

$$r_2^2 = (x_2 - x_m)^2 + (y_2 - y_m)^2 \quad (3)$$

$$r_3^2 = (x_3 - x_m)^2 + (y_3 - y_m)^2 \quad (4)$$

بدون اینکه خللی به کلیت موضوع وارد شود فرض میکنیم:

$$r_1 < r_2 < r_3$$



تصویر (۲): ترکیب داده ها TOA با استفاده از سه ایستگاه

روش حل به این صورت است که ابتدا روابط (۲) و (۳) را با هم حل کرده تا مقادیر مجهول (x_m, y_m) که دارای دو جواب است را بدست آوریم، همانگونه که در تصویر (۲) نشان داده شده معادلات (۲) و (۳) محلی را نشان می دهند که موبایل باید در آنجا قرار بگیرد. دوم آنکه فاصله ی میان هر یک از دو موقعیت ممکن (دو جواب) و دایره حاصل از معادله (۴) محاسبه می شود، جوابی که کوتاهترین فاصله از دایره معادله (۴) را بدست می آورد جهت برآورد مولفه های مکانی موبایل انتخاب می شود، اگرچه این روش ابهام میان دو جواب حاصل از معادله های (۲) و (۳) را برطرف نمیکند، اما مقدار r_3 بصورت بهینه با آن ترکیب نمی شود. علاوه براین

اختلاف کلاکها در ایستگاههای پایه ی مختلف نیز پرهیز می شود.

۲-۴- تصمیم گیری درباره ی داده ها TDOA

TDOA در ارتباط با B.S_i است که در آن $t_i - t_1$ یعنی اختلاف میان TOA های سیگنال موبایل در B.S₁ و B.S_i صدق می کند. اکنون فاصله بین اختلاف را تعریف میکنیم:

$$r_i \triangleq r_i - r_1$$

$$= (t_i - t^0)c - (t_1 - t^0)c = (t_i - t_1)c \quad (8)$$

لازم به ذکر است که این اختلافها توسط خطاهای زمانهای کلاک موبایل (t^0) تاثیر نگرفته اند، هنگامیکه دو TOA اندازه گیری شود (t^0) کنسل می گردد.

$$r_i = r_i - r_1 \quad \left. \vphantom{r_i} \right\} r_{21} = r_2 - r_1$$

$$(r_{21} + r_1)^2 = (r_2 - r_1 + r_1)^2 = r_2^2 \quad (9)$$

اگر رابطه ی (۹) را در رابطه ی (۳) جایگذاری کنیم:

$$(r_{21} + r_1)^2 = x_2^2 + x_m^2 - 2x_2x_m + y_2^2 + y_m^2 - 2y_2y_m \quad (10)$$

$$i = 2 \rightarrow x_i^2 + y_i^2 = k_i^2 \rightarrow x_2^2 + y_2^2 = k_2^2 \quad (11)$$

با توجه به رابطه (۱۱) رابطه ی (۱۰) را می توان بصورت زیر نوشت:

$$(r_{21} + r_1)^2 = k_2^2 - 2x_2x_m - 2y_2y_m + r_1^2$$

$$-x_2x_m - y_2y_m = r_{21}r_1 + \frac{1}{4}(r_{21}^2 - k_2^2) \quad (12)$$

به طور مشابه رابطه ی (۱۲) برای رابطه ی (۴) نیز بدست می آید:

$$-x_3x_m - y_3y_m = r_{31}r_1 + \frac{1}{4}(r_{31}^2 - k_3^2) \quad (13)$$

در نتیجه معادله ی ماتریس بصورت زیر در می آید:

$$Hx = r_1c + d \quad (14)$$

که در آن:

$$c = \begin{bmatrix} -r_{21} \\ -r_{31} \end{bmatrix} \quad d = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} k_2^2 - r_{21}^2 \\ k_3^2 - r_{31}^2 \end{bmatrix}$$

برای بدست آوردن x از معادله ی (۱۴) می توان:

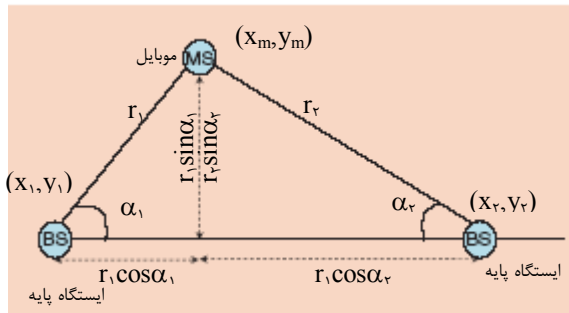
$$H^{-1}(Hx) = H^{-1}(r_1c + d)$$

$$x = r_1H^{-1}c + H^{-1}d \quad (15)$$

با قرار دادن رابطه ی (۱۵) در (۲)، رابطه ای بر حسب r_1 بدست می آید، با بدست آوردن جواب r_1 و قرار دادن آن در رابطه ی (۱۵) می توانیم جواب x را تعیین کنیم. اگر بیش از سه ایستگاه پایه برای تشخیص مکان موبایل داشته باشیم رابطه ی (۱۴) به صورت زیر در می آید:

$$H = \begin{bmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ x_4 & y_4 \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix}, \quad c = \begin{bmatrix} -r_{21} \\ -r_{31} \\ -r_{41} \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad d = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} k_2^2 - r_{21}^2 \\ k_3^2 - r_{31}^2 \\ k_4^2 - r_{41}^2 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

۳-۴- ترکیب داده ها در زاویه ی دریافت



تصویر ۳: ترکیب اندازه گیری های AOA

برآوردهای مربوط به زاویه ی دریافت (AOA) سیگنال در ایستگاه پایه را می توان با استفاده از یک آنتن آرایه ای بدست آورد. جهت و سمت دریافت سیگنال را می توان بوسیله ی اندازه گیری اختلاف فاز میان المانهای آنتن آرایه ای یا بوسیله ی اندازه گیری چگالی طیف توان (PSD) از طریق آنتن که به آن شکل دهی پرتو^۲ گفته میشود، محاسبه کرد. با ادغام برآوردهای AOA حاصل از دو ایستگاه پایه یک تخمین کلی از موقعیت مکانی موبایل بدست می آید (تصویر ۳). تعداد ایستگاههای پایه ای که برای این پروسه ی مکانیابی مورد نیاز است کمتر از روش TOA می باشد، از دیگر مزایای روش مکانیابی AOA این است که

۱) Angle of arrival

۲) Power spectral density

۳) Beam forming

ایستگاههای پایه نزدیکتر است، دقت این روشها می تواند به دلیل پایین بودن نسبی SNR سیگنال دریافت شده از موبایل در یک یا چند ایستگاه پایه دچار کاهش گردد، اگر از کنترل توان کمک گرفته شود چون زمانی که موبایل به یک ایستگاه پایه نزدیک می شود توانش تنزل پیدا می کند، دقت کار باز هم کاهش می یابد. در این موارد یک شیوه ی خاص تصمیم گیری در باره ی داده ها جهت بدست آوردن برآوردهای AOA و ترکیب نمودن آنها با نتایج TOA بکار می رود. در موارد واقعی دقت برآوردهای AOA و TOA به طور معمول تابعی از محیط اطراف می باشد، برای مثال در نواحی روستایی اگر یک آنتن آرایه ای بزرگ بکار گرفته شود، اندازه گیریهای AOA از TOA می تواند دقیقتر باشد، از طرف دیگر اندازه گیریهای TOA نسبت به اندازه گیریهای AOA دقیقتر خواهند بود حتی در شرایطی که آنتن آرایه ای ایستگاه پایه توسط بسیاری از پراکنده سازها^۲ محاصره شده باشد. موارد زیر دو روش جهت تکنیک ادغام داده ها بصورت کمترین مربعات را به طور ساده نشان می دهد. فرض کنید n ایستگاه پایه، AOA و TOA را برای موبایل تخمین می زنند، فرض کنید (x_m, y_m) با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده TOA از رابطه زیر بدست می آید:

$$\begin{pmatrix} x_m \\ y_m \end{pmatrix}_{TOA} = (H_{TOA}^T H_{TOA})^{-1} H_{TOA}^T b_{TOA} \quad (۱۹)$$

که در آن:

$$H_{TOA} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & y_n \end{bmatrix}, \quad b_{TOA} = \frac{1}{c} \begin{bmatrix} k_1^2 - r_1^2 + r_1^2 \\ k_2^2 - r_2^2 + r_2^2 \\ \vdots \\ k_n^2 - r_n^2 + r_n^2 \end{bmatrix}$$

برآورد (x_m, y_m) تنها با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده ی AOA که قبلا توضیح داده شد، بصورت زیر بدست می آید:

$$\begin{pmatrix} x_m \\ y_m \end{pmatrix}_{AOA} = (H_{AOA}^T H_{AOA})^{-1} H_{AOA}^T b_{AOA} \quad (۲۰)$$

که در آن:

نیاز به سنکرون سازی کلاکهای موبایل و ایستگاه پایه ندارد، علی رغم این موارد ایراد عمده ای را که می توان به روش AOA وارد دانست این است که آنتن آرایه ای بطور رایج در سیستمهای نسل دوم وجود ندارد و به همین دلیل استفاده از آنتنهای آرایه ای در سیستمهای نسل سوم از قبیل UMTS و CDMA2000 در نظر گرفته شده است.

بطور کلی n ایستگاه پایه را در نظر بگیرید که AOA سیگنال موبایل را برآورد می کند، هدف از ادغام این اندازه گیریها تخمین مکان موبایل است. همانگونه که در تصویر (۳) نشان داده شده α_1 ، AOA سیگنال موبایل را در ایستگاه پایه ی دوم ($B.S_2$) معین می کند:

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \cos \alpha_1 \\ r_1 \sin \alpha_1 \end{bmatrix} \quad (۱۶)$$

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_2 \cos \alpha_2 \\ r_2 \sin \alpha_2 \end{bmatrix}$$

بطور کلی برای ایستگاه پایه ی i ام ($B.S_i$) خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_i \cos \alpha_i \\ r_i \sin \alpha_i \end{bmatrix} \quad (۱۷)$$

با جمع آوری این نسبتها می توان یک رابطه به شکل زیر بیان کرد:

$$Hx = b \quad (۱۸)$$

که در آن:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} r_1 \cos \alpha_1 \\ r_1 \sin \alpha_1 \\ \hline x_2 + r_2 \cos \alpha_2 \\ y_2 + r_2 \sin \alpha_2 \\ \hline \vdots \\ \hline x_n + r_n \cos \alpha_n \\ y_n + r_n \sin \alpha_n \end{bmatrix}$$

۴-۴- تکنیکهای هیبریدی^۱ ترکیب داده ها

در روشهای TOA، TDOA و AOA دو یا چند ایستگاه پایه در فرآیند مکانیابی موبایل بکار برده می شوند. در وضعیتهایی که موبایل به یک ایستگاه خاص نسبت به سایر

۱) Hybrid

۲) Scatterers

این عمل در سطح قابل قبولی از نظر دقت و کیفیت مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

بر خود لازم می دانم از زحمات بی دریغ اساتید بزرگوار و گرامی دانشکده ی برق دانشگاه علم و صنعت سپاسگزاری و قدردانی و نمایم.

مراجع

[1] A.H.Seyed & A.Tarighat & N.Khajehnoori, "Network-Based wireless Location" IEEE Signal Processing Mag, 2005

[2] X.Cheng & A.Thaeler & D.Chen, "A Time-Based Positioning scheme for outdoor wireless sensor Netwoks" IEEE INFOCOM 2004

[۳] سید طه سیدصدر، "چالشهای پیش رو در ارائه تکنیکهای مکانیابی سیار در راهکارهای آن" دانشگاه علم و صنعت، بهمن ۱۳۸۴

$$H_{AOA} = \begin{bmatrix} 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix}, \quad b_{AOA} = \begin{bmatrix} r_1 \cos \alpha_1 \\ r_1 \sin \alpha_1 \\ \vdots \\ x_n + r_n \cos \alpha_n \\ y_n + r_n \sin \alpha_n \end{bmatrix}$$

برآورد نهایی مکانیابی می تواند بصورت یک ترکیب خطی از دو برآورد TOA و AOA به شکل زیر بیان شود:

$$\begin{pmatrix} \hat{x}_m \\ \hat{y}_m \end{pmatrix} = \eta \begin{pmatrix} \hat{x}_m \\ \hat{y}_m \end{pmatrix}_{TOA} + (1-\eta) \begin{pmatrix} \hat{x}_m \\ \hat{y}_m \end{pmatrix}_{AOA} \quad (21)$$

که در آن پارامتر مثبت η به دقت نسبی مقادیر اندازه گیری شده ی AOA و TOA بستگی دارد.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

همانطوری که گفته شد بسیاری از تماسهایی که برقرار میشود از طریق تلفنهای همراه صورت می گیرد که انتظار می رود برای برقراری امنیت، مکان کاربران مشخص گردد و باید به خاطر داشت که کاربر بر پایه ی مکان نقش مهم و اساسی در آینده ی بازارهای جهانی مخابرات سیار ایفا میکند. مکانیابی سیار بر پایه ی پردازش سیگنال دارای مشکلات متعددی است. الگوریتمهای برآورد و تخمین باید برآورد های نسبتا دقیقی را از پارامترهای مکان تحت شرایط دشوار نظیر محو شدگی سریع کانال^۱، نسبت سیگنال به نویز پایین، اثرات چند مسیریگی^۲ و اختلالات چند کاربری^۳ را فراهم نمایند، زیرا باید به خاطر داشت که خطاهای کوچک در برآورد، زمینه ساز خطاهای بزرگ در مکانیابی خواهد شد، برای مثال یک درجه خطا در برآورد AOA می تواند باعث خطای مکانی در حدود ۵۵ متر گردد. به همین دلیل الگوریتمهای برآورد مکان و روشهای تصمیم گیری و ترکیب داده ها باید هر یک از اطلاعات محیط را بطور دقیق مورد بررسی قرار دهند (از جمله می توان به شرایط محوشدگی، فرکانس داپلر و ... اشاره نمود). تا دقت این برآورد افزایش پیدا کند، علاوه بر این به جستجوگرهای مکانی برای اکتساب و نمایش تغییر شرایط، نیاز می باشد (از جمله میتوان به سرعت حرکت موبایل اشاره نمود). تا

۱) Fast Fading
۲) Multipath effects
۳) Multiuser Interference