مکان یابی وفقی موبایل به روش آزمون باقی‌مانده

پرنا شبستری [۱] و محمد حسین کهائی [۲*]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم وصنعت ایران

[۲] دانشیار دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم وصنعت ایران

(تاریخ دریافت ۸۷/۱۱/۱، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۹/۲/۱۱، تاریخ تصویب ۸۹/۵/۶)

چکیده

تعیین دقیق موقعیت موبایل بوسیله ی سیگنال زمان دریافتی [۱] نیازی اساسی در مکان یابی موبایل در مخابرات سیار سلولی است. در برخی از روش‌های قبلی اندازه گیری‌ها بر اساس دید غیر مستقیم [۲] بود که موجب افزایش خطا می شد. همچنین برای سادگی در اکثر شبیه‌سازی‌ها محیط‌های واقعی غیر ایستان [۳] را ایستان [۴] درنظر می گیرند. در این مقاله الگوریتم (آزمون باقیمانده + کمترین مربع بازگشتی) [۵] پیشنهاد می شود که کارآیی خوبی در محیط غیر ایستان دارد که در آن با استفاده از الگوریتم آزمون باقی‌مانده [۶]، از میان کل ایستگاه‌های پایه [۷] تعداد ایستگاه‌های دارای دید مستقیم [۸] مشخص و شناسایی می شوند. شبیه سازی‌ها نشان می دهند که در ۹۰٪ موارد الگوریتم تشخیص صحیحی از تعداد ایستگاه‌های دارای دید مستقیم دارد. سپس از سیگنال زمان دریافتی بدست آمده از این ایستگاه‌ها به عنوان ورودی الگوریتم کمترین مربع بازگشتی [۹] استفاده و مکان موبایل با دقت بالا و محاسبات کم به دست می آید.

واژه های کلیدی : آزمون باقی‌مانده، (آزمون باقی‌مانده + تقریب Maximum Likelihood)، (آزمون باقی‌مانده + کمترین مربع بازگشتی)، خط دید غیر مستقیم، زمان دریافتی

مقدمه

در اکثر موارد با اندازه گیری زمان دریافتی، اختلاف زمان دریافتی، زاویه ی دریافتی، قدرت سیگنال و یا ترکیبی از آن ها می توان موقعیت موبایل را تعیین کرد. چنانچه اندازه گیری ها از خطوط دید غیر مستقیم به دست آمده باشند، میزان خطا بسیار بالا خواهد بود. در روش زمان دریافتی بیشتر از ۳ ایستگاه پایه زمان های دریافتی ارسالی از موبایل را اندازه گیری کرده و فاصله ی میان ایستگاه پایه و موقعیت موبایل از رابطه ی $\sigma_i = c.TOA_i$ به دست می آید، که در این رابطه c سرعت نور می باشد. به مرکز ایستگاه های پایه و به شعاع σ_i دایره می زنیم. محل تقاطع دایره های به دست آمده نشان دهنده ی موقعیت موبایل است [۱].

به طور کلی سه روش برای مقابله با مشکل خط دید غیر مستقیم در مکان یابی موبایل وجود دارد. در روش اول ابتدا مشخصات انتشار کانال اندازه‌گیری می‌شود و سپس مکان موبایل از روی مدل تفرق به دست می‌آید [۲] و [۳] و [۴]. اشکال این روش در به دست آوردن مدل دقیق است. همچنین مدل با تغییر فصل و با ساختار ساختمان‌ها تغییر می‌یابد. در روش دوم، مکان یابی با استفاده از تمامی سیگنال های خط دید مستقیم و خط دید غیر مستقیم صورت می گیرد. اما برای کاهش تأثیر ناشی از خط دید غیرمستقیم وزن دهی می‌کند. وزن ها از هندسه‌ی مکان یابی و طرز قرارگیری ایستگاه‌های پایه به دست می‌آید [۵] و [۶]. مزیت این روش در این است که حتی اگر تمام ایستگاه‌های پایه دارای خط دید غیر مستقیم باشند همیشه تخمینی از مکان موبایل داریم. مشکل این روش این است که جواب، دقت خوبی ندارد چون خطای ناشی از خط دید غیر مستقیم حتی اگر کم باشد نیز همیشه وجود دارد. روش سوم بر مبنای مشخص کردن ایستگاه‌های پایه‌ی دارای خط دید مستقیم از میان کل ایستگاه های پایه است که بعد از پیدا کردن آن ها با استفاده از آن ها به مکان یابی می‌پردازد.

الگوریتم آزمون باقی‌مانده در دسته ی سوم قرار می گیرد. در این الگوریتم پیدا کردن تعداد ایستگاه های پایه ی دارای خط دید مستقیم از میان کل ایستگاه های پایه و شناسایی آنها به طور همزمان انجام می شود. زمانی که اندازه گیری ها از ایستگاه های پایه ی دارای خط دید مستقیم باشند، Residual نرمالیزه شده توزیع Chi-Square مرکزی خواهد داشت. دقیقا بر عکس اندازه گیری های خطوط دارای دید غیر مستقیم که توزیع مرکزی

* نویسنده مسئول : تلفن : ۷۷۲۴۰۴۹۲ , فاکس : ۷۷۲۴۰۴۹۰ , Email: kahaei@iust.ac.ir

ندارند. منظور از Residual مربع اختلاف میان تخمین ها و موقعیت واقعی موبایل است.

لگوریتم (آزمون باقي‌مانـده + کمتـرین مربـع بازگشتی)

این الگوریتم شامل دو بخش است. در ادامـه آن هـا را توضیح می دهیم.

تخمین گرکمترین مربع بازگشتی

فرض کنیـد کـه N ایسـتگاه پایـه‌ی دارای خـط دیـد مسـتقیم در مختصـات (x_i , y_i) قـرار داشـته و $\sigma_i = c.TOA_i$ مقدار فاصله‌ی هر یـک از آنهـا از موبـایلی است که در محل $\theta = [x\ y]^T$ قرار دارد. آنگاه داریم،

$$\sigma_i = R_i + \varepsilon_i \qquad (۱)$$

که در آن R_i فاصـله‌ی واقعـی و ε_i متغیرهـای تصـادفی گوسـی دارای توزیـع مسـتقل ویکسـان بـا متوسـط صـفر هستند که معرف نویز اندازه‌گیری می باشند.

در الگوریتم کمترین مربع بازگشتی کـه یـک الگـوریتم بازگشتی می‌باشد، پارامترهای خروجی با یک فـرض اولیـه محاسبه می‌شوند. در مساله‌ی مکـان یـابی بـا اسـتفاده از الگوریتم کمترین مربع بازگشتی، دو پارامتر می‌بایست بـه طور همزمان بهینه شوند. بدین صورت که در ابتدا با فرض یک موقعیت برای موبایل الگوریتم کمترین مربع بازگشتی را حل می‌کنیم و خطای بین مکان محاسبه شده و مکـان پیش فرض را به دست می‌آوریم. سپس بـا توجـه بـه ایـن خطا و موقعیت اولیه‌ی پیش فرض، موقعیت بعدی تخمین زده می‌شود و بار دیگر الگوریتم کمتـرین مربـع بازگشـتی محاسبه می‌شود.

الگوریتم کمترین مربع بازگشتی ویرایش دوم به صورت ذیل است :

مقـــادیر ورودی $W(n-1)$، $X(n)$، $d(n)$ و $\Psi_\lambda^{-1}(n-1)$ می‌باشند.

مقادیرخروجی $Y_{n-1}(n)$ ، $W(n)$ ، $\Psi_\lambda^{-1}(n)$ می‌باشند.

۱- محاسبه‌ی مقادیر ذیل،

$$\Lambda(n) = \begin{bmatrix} \lambda^{n-1} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda^{n-2} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda^{n-3} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

$$\psi_\lambda(n) = X(n).\Lambda(n).X^T(n) \qquad (۳)$$

$$u(n) = \psi_\lambda^{-1}(n-1).X(n) \qquad (۴)$$

$$k(n) = \frac{1}{\lambda + x^T(n).u(n)} u(n) \qquad (۵)$$

که در رابطه ی (۲) λ، نشان دهنده ی حافظه ی سیستم می باشد و مقداری نزدیک به یک ولی کمتر از آن دارد.

۲- اعمال فیلتر

$$Y_{n-1}(n) = W^T(n-1).X(n) \qquad (۶)$$

۳- تخمین خطا

$$e_{n-1}(n) = d(n) - Y_{n-1}(n) \qquad (۷)$$

۴- محاسبه‌ی بردار $W(n)$

$$W(n) = W(n-1) + k(n).e_{n-1}(n) \qquad (۸)$$

۵- به روز رسانی Ψ_λ^{-1}

$$\Psi_\lambda^{-1}(n) = Tri\ \left\{\lambda^{-1}.\left(\Psi_\lambda^{-1}(n-1) - k(n).u^T(n)\right)\right\} \qquad (۹)$$

در رابطـه‌ی (۹)، Tri علامـت مـاتریس بـالامثلثی یـا پایین مثلثی می‌باشد.

حال به منظور روشن شدن چگونگی عملکـرد الگـوریتم کمترین مربع بازگشتی به بیان ساختار مقادیر بیـان شـده در بالا می‌پردازیم.

در m ، $X_{m\times1}$نشان دهنده‌ی تعداد ایستگاه‌های پایـه ی دارای خط دید مستقیم می‌باشد. X نیز مقادیر زمـان‌هـای دریافتی مربوط به ایستگاه‌هـای پایـه ی دارای خـط دیـد مستقیم می‌باشد. در این مساله هدف، پیدا کردن موقعیت دوبُعـدی موبایـل اسـت در نتیجـه $d(n)$، یـک بـردار دو مؤلفه‌ای، بیان کننده‌ی موقعیـت طـولی وعرضـی موبایـل است. که هر کدام به طور جداگانه محاسبه می‌شـوند و در هر محاسبه $d(n)$، یک عدد اسکالراسـت. داده‌ی خروجـی الگوریتم کمترین مربع بازگشتی نیز متنـاظر بـا $d(n)$ بـه صورت اسکالر می‌باشد، (Y). بردار W بـه صـورت $W_{m\times1}$ است. بقیه‌ی ماتریس ها نیـز بـه صـورت $k_{m\times1}$، $\Psi_{m\times m}$ و $u_{m\times1}$ است و خطا (e) نیز به صورت اسکالر می‌باشد. بایـد توجه کرد که در روند محاسبات الگـوریتم کمتـرین مربـع بازگشـتی، مؤلفـه‌هـای طـولی وعرضـی موقعیـت موبایـل مستقل از هم می‌باشند.

مقـــادیر اولیـــه در $n=1$، $\Psi_\lambda(0) = \sigma I$ (کـــه در آن I ماتریس مشخصه و σ عددی مثبت و بسیارکوچک است.)، $W(0)=0$ و $d(1)=0$ می باشند. بعد از به دسـت آوردن $Y_{n-1}(n)$ مـی‌تـوان بـا در نظرگـرفتن $e_{n-1}(n)$،$d(n)$ و

$Y_{n-1}(n)$موقعیت پیش فرض در لحظه‌ی n را تعیین کرد. پیش بینی هوشمند موقعیت $d(n)$ بسیار حائز اهمیت است. به منظور تسریع در روند همگرا شدن جواب وکاهش خطای تخمین موقعیت ($e(n)$)، می‌بایست مقادیری برای $d(n)$ در نظر گرفت که تا حد امکان به جواب نزدیک باشند. در اینجا مهم، تعیین موقعیت $d(n)$ در اولین تکرار و تکرارهای بعدی می‌باشد. در اولین تکرار، مقدار $d(n)=0$ را در نظرمی گیریم. در تکرارهای بعدی، مقدار بدست آمده در $Y_{n-1}(n)$ را در تکرارقبلی به عنوان $d(n)$ در تکرار بعدی در نظر می‌گیریم [۷]. به این صورت با تکرار الگوریتم عموماً به جواب نزدیک و نزدیک تر خواهیم شد و می‌توان اثبات کرد که در بی‌نهایت بار تکرار به جواب دقیق می‌رسیم.

کل الگوریتم را می‌توان به r بار تکرار محدود کرد. در نهایت تعداد r تا خطای تخمین($\xi(n)$) داریم که مقادیر طول و عرض متناظر با کوچکترین $\xi(n)$ را به عنوان مکان موبایل در نظر می گیریم. به منظور محاسبه‌ی مقدار خطا در کل بازه‌ی زمانی $k=1,2,...,n$ می‌توان مقدارخطاها را به صورت رابطه ی (۱۰) با هم جمع کرد، که در آن $\rho_n(k)$ تابع وزن دهی می‌باشد و ضریب به یادآوری مقادیر گذشته است.

$$\xi(n)=\sum_{k=1}^{n}\rho_n(k)e_n^2(k) \qquad (۱۰)$$

$$\rho_n(k)=\lambda^{n-k},\ \ k=1,2,...,n \qquad (۱۱)$$

الگوریتم آزمون باقی‌مانده

فرض کنید N ایستگاه پایه موجود باشد که در آن برخی یا همه ی σ_i ها (مقدار فاصله ی ایستگاه های پایه از موبایل) دارای خط دید مستقیم باشند. حال مسأله بر سر تعیین تعداد ایستگاه های پایه ی دارای خط دید مستقیم (که با D نشان می دهیم.) است.

الگوریتم آزمون باقی‌مانده با فرض $D=N$ شروع به کار می کند. این الگوریتم ابتدا کل ترکیبات i تایی از N ایستگاه پایه را که در آن $i=3,4,\ldots,N$ می باشد به صورت زیر محاسبه می کند.

$$\sum_{i=3}^{N} {}_N C_i \qquad (۱۲)$$

فرض کنید $N=7$ باشد، آنگاه از رابطه ی (۱۲)، ۹۹ ترکیب مختلف به دست می آید.

با الگوریتم کمترین مربع بازگشتی، کل $\hat{\theta}(k)$ را که در آن $k=1,2,\ldots,99$ است، تخمین می زنیم. سپس الگوریتم آزمون باقی‌مانده مربع Residual های نرمالیزه شده رامحاسبه می کند.

$$\chi_x^2(k)=\frac{[\hat{x}(k)-\hat{x}(99)]^2}{B_x(k)} \qquad (۱۳)$$

$$\chi_y^2(k)=\frac{[\hat{y}(k)-\hat{y}(99)]^2}{B_y(k)} \quad و \quad k=1,2,\ldots,98$$

تخمین مرجع، $\hat{\theta}(99)$ بوده که بهترین تخمین واقعی θ میان $\hat{\theta}(k)$ ها به شمار می آید زیرا در شرایطی است که همه ی ایستگاه های پایه دارای خط دید مستقیم باشند. همچنین $B_x(k)$ و $B_y(k)$ عناصر روی قطر اصلی ماتریس اطلاعات Fisher می باشند و در واقع تخمین باند پایین Cramer - Rao موقعیت موبایل هستند [۸].

حال چنانچه $D=7$ و $\hat{\theta}$ نیز تخمین کمترین مربع بازگشتی از θ باشد. آنگاه متغیرهای تصادفی

$$\frac{\hat{x}(k)-x}{\sqrt{B_x(k)}} \quad و \quad \frac{\hat{y}(k)-y}{\sqrt{B_y(k)}} \qquad (۱۴)$$

دارای تابع چگالی احتمال به صورت $N(0,1)$ می باشند و بنابراین متغیرهای تصادفی در رابطه ی (۱۳) دارای تابع چگالی احتمال به صورت توزیع Chi-Square مرکزی با یک درجه‌ی آزادی می‌باشند [۹]. اگر به هر طریق، بیش از یک δ_i به صورت خط دید غیر مستقیم باشند، $\hat{\theta}(99)$ و برخی از $\hat{\theta}(k)$ها دارای بایاس خواهند بود و تابع چگالی احتمال متغیرهای تصادفی در رابطه‌ی (۱۳) دیگر به صورت Chi-Square مرکزی نخواهد بود.

به طور خلاصه مراحل اجرای الگوریتم آزمون باقیمانده برای $D=7$ به صورت زیر می باشد [۱۰].

۱- مقادیر $\sum_{i=3}^{7} {}_7 C_i$ و $\hat{\theta}(k)$ و $k=1,2,\ldots,99$ محاسبه می شوند.

۲- مقادیر $B_x(k)$ و $B_y(k)$ و سپس $\chi_x^2(k)$ و $\chi_y^2(k)$ در رابطه‌ی (۱۳) محاسبه می‌شوند.

۳- تعداد متغیرهای تصادفی (l) در رابطه‌ی (۱۳) که بزرگتر از $TH=2.71$ هستند، محاسبه می شوند.

۴- اگر $D=7$ ، $l\le 20$ می باشد آنگاه $\hat{\theta}(99)$ جواب است در غیر این صورت با $D=6$ شروع به بررسی مجدد می کند. اگر جواب $D=6$ نبود الگوریتم آزمون باقیمانده

را برای $D=5$ و $D=4$ تکرار می کنیم. در هر مرحله بعد از پیدا کردن تعداد ایستگاه های پایه ی دارای خط دید مستقیم نوبت به شناسایی آن ها می رسد. آن مجموعه ای را به عنوان مجموعه ی ایستگاه های پایه ی دارای خط دید مستقیم در نظر می گیریم که دارای کمترین مقدار متغیرهای تصادفی به دست آمده از رابطه ی (۱۳) باشد.

حال فرض کنید در الگوریتم آزمون باقیمانده، به $D=3$ رسیده ایم، قدم بعدی تشخیص ۳ ایستگاه پایه ی دارای خط دید مستقیم از میان ۷ ایستگاه پایه خواهد بود. به علت آنکه ۳ ایستگاه پایه نمی توانند مقدار مناسبی از متغیر های تصادفی را ایجاد کنند، الگوریتم آزمون باقیمانده قابل اعتماد نیست و از الگوریتم دیگری به نام آزمون دلتا استفاده می کنیم. که در آن ابتدا دو ایستگاه پایه به عنوان مجموعه‌ی مرجع که دارای خط دید مستقیم هستند انتخاب شده (BS_1 و BS_2) و یک ایستگاه پایه را نیز به صورت خط دید غیر مستقیم، (BS_j) در نظر می گیریم.

با توسعه ی روابط فاصله ی ایستگاه های پایه ی دارای خط دید مستقیم و خط دید غیر مستقیم از موبایل، به رابطه ی (۱۵) می رسیم [۱۰].

$$\Delta_j = 2R_j\alpha_j + 2\alpha_j\varepsilon_j + \alpha_j^2 \qquad (۱۵)$$

که در آن R_j، فاصله ی واقعی ایستگاه پایه ی دارای خط دید غیر مستقیم از موبایل و α_j، فاصله‌ی اضافی بوجود آمده از خط دید غیر مستقیم و ε_j، نویز اندازه گیری سیستم است. مجموع $|\Delta_j|$های حاصل از ۳ مجموعه ی ایجاد شده از ۳ ایستگاه پایه ی مشابه را بدست می آوریم. وقتی تمامی ۳ ایستگاه پایه، دارای خط دید مستقیم باشند آنگاه مجموع $|\Delta_j|$های حاصل یک مقدار کوچک نزدیک به ۰ خواهند داشت و وقتی حداقل یکی از ۳ ایستگاه پایه، دارای خط دید غیر مستقیم باشد مقدار مجموع $|\Delta_j|$ها مقداری غیر از ۰ دارد.

نتایج شبیه سازی ها

شکل (۱) محیط تجربی ای را که برا ی شبیه سازی در نظر گرفته شده نشان می دهد که در آن واحدها بر حسب متر هستند.

فاصله‌ی موبایل از ایستگاه پایه با دید مستقیم به صورت زیر است:

$$\delta_i = R_i + \varepsilon_i \qquad (۱۶)$$

که در آن ε_i متغیر تصادفی گوسی با متوسط صفر و واریانس σ^2 است و برای خط دید غیر مستقیم

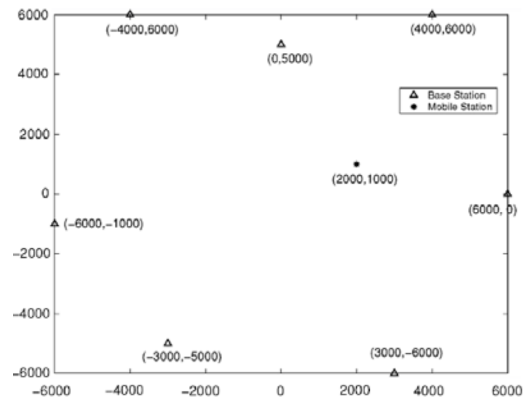
$$\delta_i = R_i + \varepsilon_i + \alpha_i \qquad (۱۷)$$

که در آن α_i متغیر تصادفی به صورت گوسی و دارای تابع توزیع احتمال یکنواخت بین ۱۰۰ متر و ۱۳۰۰ متر می باشد. برای D و σی داده شده، ۱۰۰۰ نمونه‌ی مستقل وجود دارد. ایستگاه‌های پایه‌ی دارای خط دید مستقیم و خط دید غیر مستقیم به صورت رندم برای هر نمونه انتخاب می شوند. الگوریتم آزمون باقی‌مانده، $\hat{D}$ را مشخص کرده و بر اساس آن تخمین می زند. پارامتر D بین ۳ تا ۷ و σ (جذر واریانس نویز محیط) از ۰/۰۵ تا ۱۸/۰۵ متر تغییر می کند. در این شبیه سازی ها که با استفاده از نرم افزار MATLAB انجام شده است، برای الگوریتم کمترین مربع بازگشتی، $\lambda = 0.9899$ در نظر گرفته شده است. همچنین بعد از ۱۰۰۰۰۰ بار تکرار، الگوریتم کمترین مربع بازگشتی همگرا شده و بعد از آن متوسط گیری روی ۱۰۰۰ نمونه انجام گرفته شده است.

در این شبیه‌سازی‌ها یک بار محیط را ایستان و بار دیگر غیر ایستان در نظر می‌گیریم. همانطور که می‌دانیم محیط ایستان محیطی است که در آن خصوصیات آماری فرآیند در زمان تغییر نکند و محیط غیر ایستان محیطی است که در آن خصوصیات آماری فرآیند متغیر با زمان باشد. در محیط غیر ایستان واریانس نویز محیط را متغیر با زمان در نظر می گیریم.

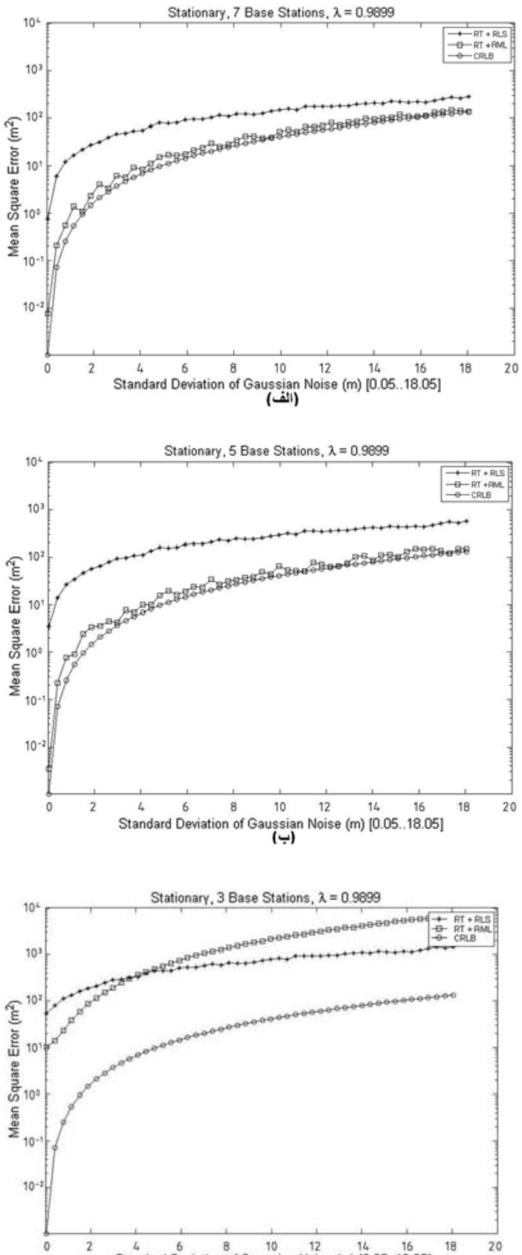
پارامتر σ، (واریانس نویز محیط) در خطای گوسی محیط، اعمال شده در محاسبه ی زمان های دریافتی، تحت تاثیر پارامترهای بسیاری می باشد. در بسیاری موارد به منظور ساده سازی محاسبات، این مقدار را ثابت در نظر می گیرند که در نتیجه ی آن ساختار خط انتقال را ساختاری ایستان می گویند. در برخی از شبیه سازی ها نیز به منظور واقعی تر کردن محاسبات و در نظرگیری پارامترهای متغیر در خط انتقال، آن را متغیر در نظر می‌گیرند که این نوع ساختارها ساختاری غیر ایستان می باشد. تغییرات این پارامتر را می توان ناشی از تغییرات پارامترهای دخیل در معادلات خط انتقال و محاسبه ی زمان های دریافتی و ساختارهای ارسال و دریافت امواج همچون آنتن دانست. یکی از ساده ترین پارامترهایی که σ

را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد، چگالی هوا (خط انتقال) می باشد. سرعت امواج مغناطیسی در هوای آزاد تقریبا برابر با سرعت نور در خلا می باشد. چگالی هوا متاثر از تغییرات دما و رطوبت تغییرات زیادی می کند که منجر به تغییر سرعت انتشار امواج مغناطیسی و نهایتا تغییر مقدار ز مان دریافتی به ازای یک مسافت ثابت می شود. تغییرات چگالی هوا باعث تغییرات پیوسته ی مقدار پارامترσ می شود.



شکل ۱ : محیط مورد استفاده شبیه سازی با ۷ ایستگاه پایه و ۱ موبایل.

در شکل (۲ – الف) در شرایطی که $D = 7$ و محیط ایستان است، متوسط مربع خطای ناشی از الگوریتم (آزمون باقی‌مانده + تقریب Maximum Likelihood) نزدیک به تخمین باند پایین Cramer - Rao است ولی مقداری بالاتر از آن قرار دارد. این نکته به این دلیل است که در بعضی موارد در الگوریتم آزمون باقی‌مانده، $\hat{D} < 7$ به دست آمده است، بنابراین باعث ایجاد متوسط مربع خطای بالاتری می شود. متوسط مربع خطای الگوریتم (آزمون باقیمانده + کمترین مربع بازگشتی) بیشتر از تخمین باند پایین Cramer - Rao بوده و در مجموع عملکرد ضعیف تری نسبت به الگوریتم بهینه ی (آزمون باقی‌مانده + تقریب Maximum Likelihood) دارد. در این شرایط متوسط مربع خطای الگوریتم (آزمون باقی‌مانده + تقریب Maximum Likelihood) ۳/۰۶ برابر کمتر از الگوریتم (آزمون باقی‌مانده + کمترین مربع بازگشتی) است. در شکل (۲- ب) تحت شرایط $D = 5$ و در محیط ایستان شبیه سازی‌ها انجام گرفته و نتایج حاصل مشابه حالت $D = 7$ است و در این شرایط به دلیل کاهش تعداد ایستگاه های پایه ی دارای خط دید مستقیم، متوسط

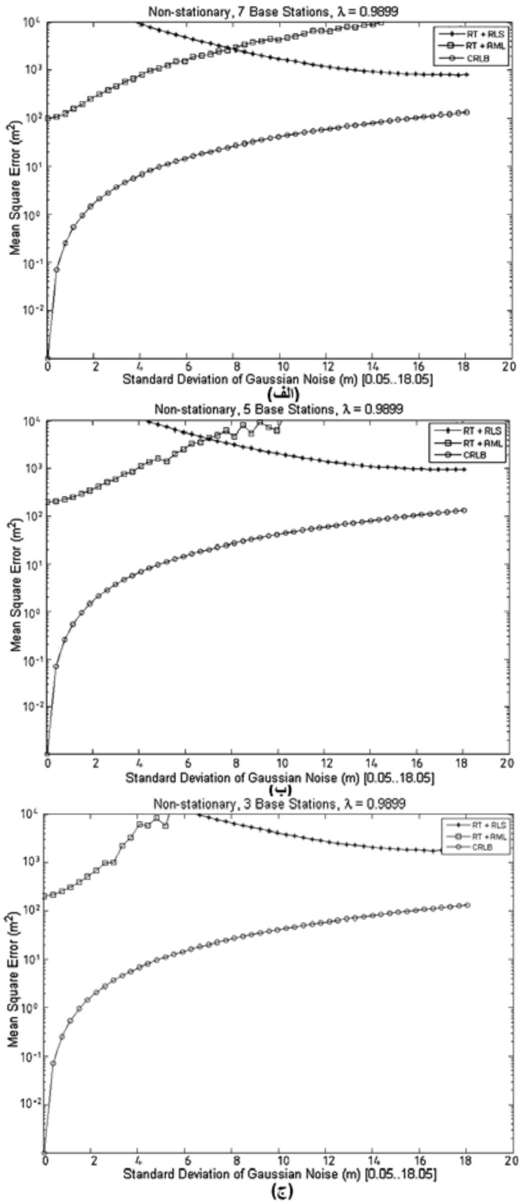


شکل ۲ : متوسط مربع خطا برحسب σ در محیط ایستان (الف) برای $D = 7$ (ب) برای $D = 5$ (ج) برای $D = 3$.

مربع خطای الگوریتم(آزمون باقیمانده + تقریب Maximum Likelihood) ۳/۸۹ برابر کمتر از (آزمون باقی‌مانده + کمترین مربع بازگشتی) است. وقتی $D = 3$ و محیط ایستان باشد، همانگونه که در شکل ۲(ج) مشاهده می کنیم، چون درصد خطای الگوریتم آزمون باقیمانده در پیدا کردن صحیح ایستگاه‌های پایه‌ی دارای خط دید مستقیم بالاتر است، در نتیجه متوسط مربع

خطـای الگـوریتم هـای (آزمـون بـاقی‌مانـده + تقریـب Maximum Likelihood) و (آزمون باقیمانـده + کمتـرین مربع بازگشتی) نیـز بسـیار بـالاتر از تخمـین بانـد پـایین Cramer - Rao خواهد بود و در این شرایط متوسط مربـع خطای الگوریتم وفقی (آزمون باقی‌مانده + کمترین مربـع بازگشتی)، ۱۳/۱۷ برابر کمتر از الگوریتم (آزمون باقی‌مانده + تقریـبMaximum Likelihood) اسـت. نتـایج بـرای $D=4$ و $D=6$ شبیه به موارد $D=5$ و $D=7$ اسـت و به خاطر همین موضوع این موارد نشان داده نشده‌اند.

در شکل (۳ - الـف) در شـرایطی کـه $D=7$ و محـیط غیرایستان است متوسط مربـع خطـای الگـوریتم (آزمـون بـاقی‌مانـده + تقریـب Maximum Likelihood) بیشـتر از تخمـین بانـد پـایین Cramer - Rao بـوده و در مجمـوع عملکرد ضعیف تری نسـبت بـه الگـوریتم وفقـی (آزمـون باقی‌مانده + کمترین مربع بازگشتی) دارد. در ایـن شـرایط متوسـط مربـع خطـای الگـوریتم (آزمـون بـاقی‌مانـده + کمترین مربع بازگشتی)، ۲۲/۱۶ برابـر کمتـر از الگـوریتم (آزمـون بـاقی‌مانـده + تقریـب Maximum Likelihood) است. در شکل (۳ - ب) تحت شرایط $D=5$ و در محـیط غیر ایستان شبیه سازی‌هـا انجـام گرفتـه و نتـایج حاصـل مشابه حالت $D=7$ به دست آمده است و در این شـرایط بدلیل کاهش تعداد ایستگاه های پایه ی دارای خـط دیـد مستقیم، متوسط مربع خطای الگوریتم (آزمون باقیمانده + کمترین مربـع بازگشـتی)، ۶۲/۷۷ برابـر کمتـر از (آزمـون باقیمانده + تقریب Maximum Likelihood) است. وقتـی $D=3$ و محـیط غیرایسـتان باشـد، همانگونـه کـه در شکل (۳ - ج) مشاهده مـی کنـیم، چـون درصـد خطـای الگـــوریتم آزمـــون باقیمانـــده در پیـــدا کـــردن صـــحیح ایستگاه‌های پایه‌ی دارای خط دید مسـتقیم بـالاتر اسـت، در نتیجه متوسـط مربـع خطـای الگـوریتم هـای (آزمـون باقی‌مانـده + تقریـب Maximum Likelihood) و (آزمـون باقی‌مانده + کمترین مربـع بازگشـتی)نیـز بسـیار بـالاتر از تخمین باند پـایین Cramer - Rao خواهـد بـود و در ایـن شـرایط متوسـط مربـع خطـای الگـوریتم وفقـی (آزمـون باقی‌مانده + کمترین مربع بازگشتی) ۳۸۳۷/۲ برابرکمتر از الگـــوریتم (آزمـــون بـــاقی‌مانـــده + تقریـــب Maximum Likelihood) است. نتایج برای $D=4$ و $D=6$ شبیه به موارد $D=5$ و $D=7$ است و به خاطر همین موضوع ایـن موارد نشان داده نشده‌اند.



شکل ۳ : متوسط مربع خطا برحسب σ در محیط غیرایستان (الف) برای $D=7$ (ب) برای $D=5$ (ج) برای $D=3$.

در شرایط غیر ایستان مشاهده می‌کنیم که الگوریتم بهینه ی (آزمون باقی‌مانـده + تقریـب Maximum Likelihood) تغییرات محیط را نمی‌توانـد بـه خـوبی دنبـال کنـد ولـی الگوریتم (آزمون بـاقی‌مانـده + کمتـرین مربـع بازگشـتی) چون یک الگوریتم وفقی است توانسته خود را به خوبی بـا تغییرات محیط وفـق دهـد و آن را دنبـال کنـد. مشـاهده می‌کنیم که در شکل (۳) با زیاد شـدن σ، متوسـط مربـع خطـــای الگـــوریتم هـــای (آزمـــون بـــاقی‌مانـــده + تقریـب Maximum Likelihood) و تخمـین بانـد پـایین Cramer - Rao افـزایش مـی‌یابـد، ولـی متوسط مربـع

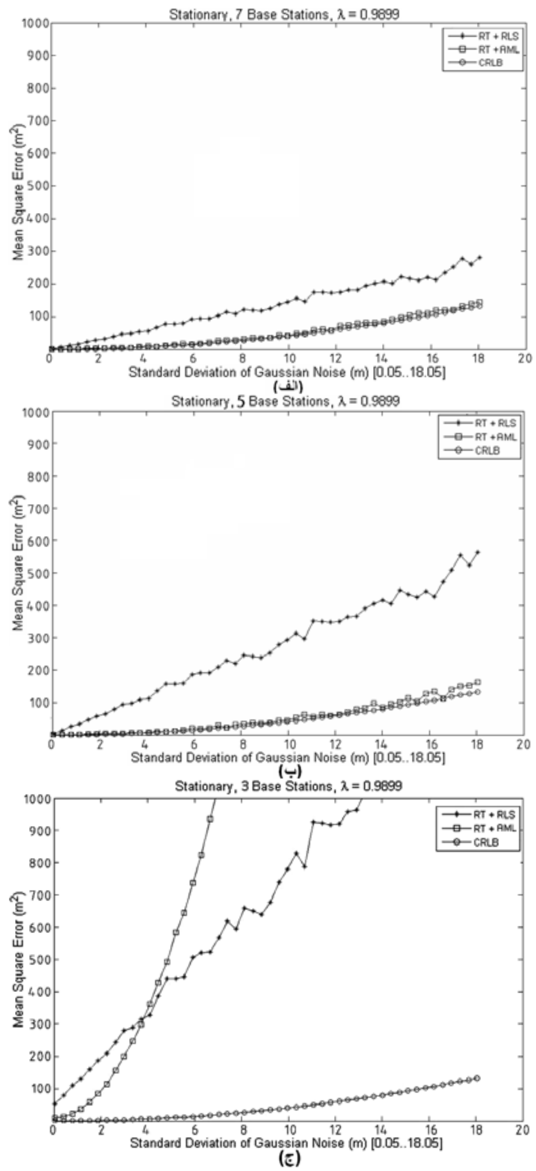
خطـای الگـوریتم (آزمـون بـاقی‌مانـده + کمتـرین مربـع بازگشتی) کـاهش مـی یابـد زیـرا در نقطـه‌ی $\sigma = 0.05$ الگوریتم، یک بار و برای $\sigma = 18.05$ الگوریتم ۱۰۰۰۰۰ بار تکرار شده است و سـپس متوسـط گیـری روی ۱۰۰۰ سری دیتا صورت گرفته است و همان‌طور که می دانیم در الگوریتم کمترین مربع بازگشتی با افزایش تعداد تکرارها، متوسط مربع خطا کاهش می یابد. در شـکل هـای (۲) و (۳) محور متوسط مربع خطا، لگاریتمی و محـور σ خطـی است. مشاهده می‌کنیم که به همین علت با زیاد شـدن σ، تفاوت متوسـط مربـع خطـای بـین الگـوریتم هـا کـاهش مـی‌یابـد. بـرای جلـوگیری از ایجـاد خطـا در ایـن مـورد، نمودارها را به صورت خطی نیز رسم کرده‌ایم که در ادامـه آمده اند.

شکل های (۴) و (۵) متوسـط مربـع خطـا بـر حسـب متـر مربـع (m^2) الگــوریتم (آزمــون بــاقی‌مانــده + تقریـب Maximum Likelihood) و الگــوریتم (آزمــون باقیمانده + کمترین مربع بازگشتی) (برای ۱۰۰۰ نمونـه‌ی مستقل از هم) را بـر حسـب تـابعی از نـویز σ در محـیط ایستان و غیر ایستان نشان داده اند. در این نمودارها محور متوسط مربع خطـا، خطـی و محـور σ نیـز خطـی تغییـر می‌کند. مشاهده می‌کنـیم کـه بـا زیـاد شـدن σ، تفـاوت متوسط مربع خطای بین الگوریتم‌ها نیز افزایش می‌یابد.

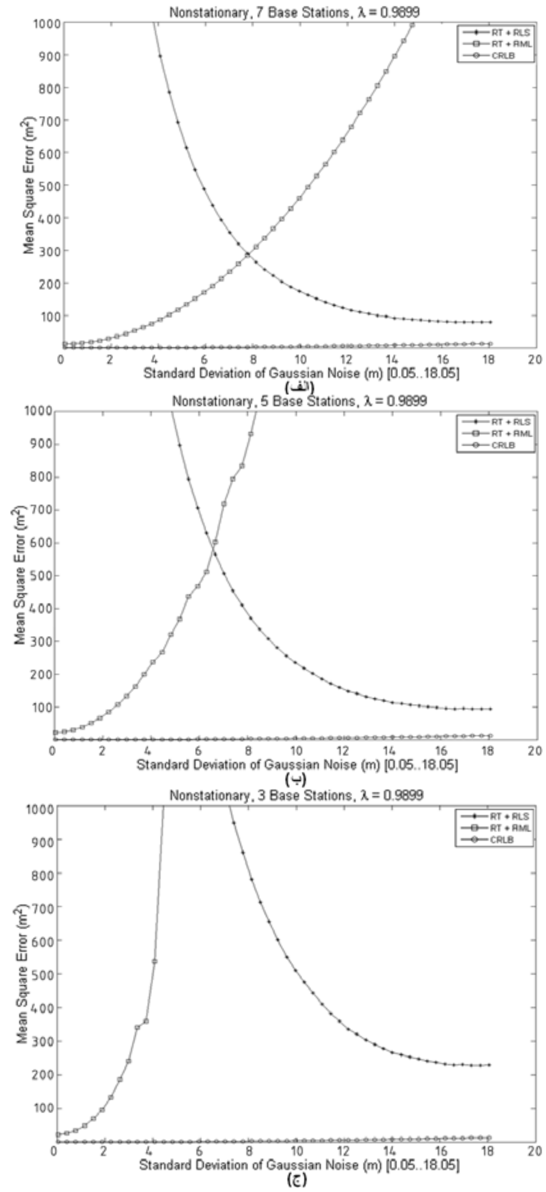
در شکل های (۶) و (۷)، متوسط مربع خطا (بـر حسـب متر مربع) بر اساس تعداد ایستگاه‌های پایـه‌ی دارای خـط دید مستقیم درمحیط ایستان و غیر ایستان برای الگوریتم های (آزمون باقی‌مانده + تقریب Maximum Likelihood) و (آزمون باقی‌مانده + کمترین مربع بازگشتی) رسـم شـده است. مشاهده می‌کنیم با افزایش تعداد ایستگاه‌هـای پایـه خط دید مستقیم مقدار متوسط مربع خطا کاهش می‌یابـد و در مورد مقایسه ی متوسط مربع خطای الگـوریتم هـای (آزمون بـاقی‌مانـده + تقریـب Maximum Likelihood) و (آزمون باقیمانده + کمترین مربع بازگشتی) به همان نتایج بیان شده در شکل های (۲) و (۳) مـی رسـیم. همچنـین حجـم محاسـبات الگـوریتم کمتـرین مربـع بازگشـتی همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می کنیم بسیار کمتر از الگوریتم تقریـب Maximum Likelihood اسـت و ایـن موضوع مزیت دیگـر الگـوریتم پیشـنهادی در ایـن مقالـه است.

جدول ۱ : مقایسه حجم محاسبات الگوریتم های تقریب Maximum Likelihood و کمترین مربع بازگشتی برای $D = 7$ و $D = 5$ و $D = 3$.

Arith matic Opra tor	AML			RLS		
	$D=7$	$D=5$	$D=3$	$D=7$	$D=5$	$D=3$
+	256	404	244	386	146	34
-	646	465	279	2	2	2
×	854	624	374	608	264	80
/	115	83	49	2	2	2
$\sqrt{\ }$	1	1	1	0	0	0

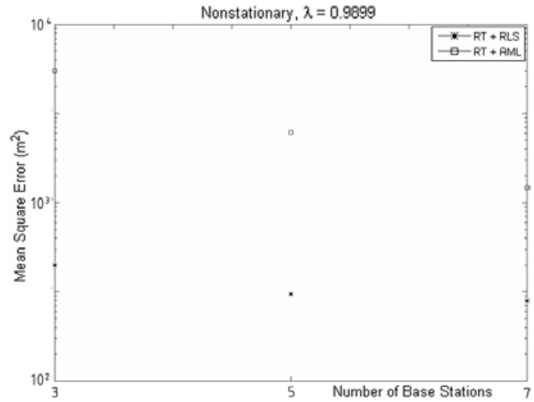


شکل ۴ : متوسط مربع خطا برحسب σ در محیط ایستان (الف) برای $D = 7$ (ب) برای $D = 5$ (ج) برای $D = 3$.



شکل ۵ : متوسط مربع خطا برحسب σ در محیط غیرایستان (الف) برای $D=7$ (ب) برای $D=5$ (ج) برای $D=3$.

شکل ۶ : متوسط مربع خطا برحسب تعداد ایستگاه های پایه دارای خط دید مستقیم در محیط ایستان برای $D=7$ ، $D=5$ و $D=3$.



شکل ۷ : متوسط مربع خطا برحسب تعداد ایستگاه های پایه دارای خط دید مستقیم در محیط غیرایستان برای $D=7$ ، $D=5$ و $D=3$.

نتیجه گیری

در الگوریتم آزمون باقی‌مانده که یکی از الگوریتم های مکان یابی موبایل در شرایط خط دید غیر مستقیم است ابتدا تعداد ایستگا ه های پایه ی دارای خط دید مستقیم از میان کل ایستگاه های پایه مشخص و شناسایی می شوند. سپس با استفاده از سیگنال های زمان دریافتی از این ایستگاه های پایه به عنوان ورودی الگوریتم تخمین مکان (در این مقاله الگوریتم کمترین مربع بازگشتی)، مکان موبایل تخمین زده می شود. چون محیط های واقعی که با آنها سروکار داریم محیط غیر ایستان هستند در این مقاله پیشنهاد می شود که از الگوریتم وفقی کمترین مربع بازگشتی در محیط غیر ایستان برای تخمین مکان موبایل استفاده شود. شبیه سازی ها نشان می دهد که در محیط غیر ایستان متوسط مربع خطای تخمین مکان موبایل الگوریتم پیشنهادی (الگوریتم کمترین مربع بازگشتی) نسبت به الگوریتم تقریب Maximum Likelihood کاهش می یابد و همچنین حجم محاسبات الگوریتم پیشنهادی (الگوریتم کمترین مربع بازگشتی) کمتر از الگوریتم تقریب Maximum Likelihood است.

تقدیر و تشکر

در اینجا از کمک های علمی و مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران کمال تشکر وقدردانی را داریم.

مراجع

1 - Wange, X,. Wange, Z. and Odea B. (2003). "A TOA- based location algorithm reducing the error due to non-line-of-sight (NLOS) propagation." *IEEE Trans. Veh. Technol.,* Vol. 52, No. 1, PP. 112-116, Jan.

2 – Ertel, R. B. and Reed, J. H. (1999). "Angle and time of arrival statistics for circular and elliptical scattering models." *IEEE J. Sel. Areas Commun.,* Vol. 17, No. 11, PP. 1829- 1840, Nov.

3 - AI – Jazzar, S. and Caffery, Jr., J. (2002). "ML and bayesian TOA location estimators for NLOS environments." *In Proc. IEEE Vehicular Technology Conf., V*ol. 2, PP. 1178 – 1181, Sep.

4 - AI-Jazzar, S., Caffery, Jr., J. and You, H. R. (2002). "A scattering model based approach to NLOS mitigation in TOA location systems." *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.,* Vol. 2, PP. 861-865, May.

5 - Venkatraman, S., Caffery, Jr., J. and You, H. R. (2002). "Location using LOS range estimation in NLOS environments," *In Proc. IEEE Vehiculare Technology Conf.,* Vol.2, PP. 856 – 860, May.

6 – Khajehnouri, N. and Sayed, A. H. (2003). "A non – Line – of – Sight equalization Scheme for wireless cellulare location." *In Proc, ICASSP – 03,* Vol. 6, PP. 549– 552, Apr.

7 - Borujeny, B. F. Adaptive Filters Theory & Applications.

8 – Chan, Y. T. and Ho, K. C. (1994). "A simple and efficient estimator for hyperbolic location." *IEEE Trans. Signal. Process,* Vol. 42, No.8, PP. 1905 – 1915, Aug.

9 - Papoulis, A. (1984). *Probability, Random Variables, and Stochastic Process*. New York : McGraw- Hill.

10 - Chan, Y. T., Tsui, W. Y. and Cheung, H. (2006). "Timeof-arrival based localization under NLOS conditions." *IEEE Trans. Veh, Technol.*, Vol. 55, No. 1, PP. 17-24, Jan.

11 - Chan, Y. T., Yau, C. H. and Ching, D. C. (2006). "Exact and approximate maximum Likelihood Localization algorithms." *IEEE Trans. Veh. Technol.,* Vol. 55, No. 1, PP. 10-16, Jan.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Time of Arrival (TOA)
2 - Non – Line – if – Sight (NLOS)
3 - Stationary
4 - Non Stationary
5 - (Residual Test + Recursive Least Square) (RT + RLS)
6 - Residual Test (RT)
7 - Base Stations (BSs)
8 - Line Of Sight (LOS)
9 - Recursive Least Square (RLS)