

مکان‌یابی پسیو کاربر موبایل مبتنی بر سیگنالینگ واسط هوایی در شبکه‌های سلولی

ذبیح‌ا... حسن شاهی^۱، علیرضا رحمتی^۲، پاییز عزمی^{۳*}

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه جامع امام حسین (ع) ۲- دکتری، ۳- استاد، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت: ۹۵/۰۹/۰۲، پذیرش: ۹۶/۰۳/۲۷)

چکیده

مکان‌یابی سوژه خاص در شبکه‌های سلولی یکی از به‌روزترین محورهای تحقیقاتی دنیا بوده و در پدافند غیرعامل بسیار کارگشاست. این امر به یگان‌های نظامی و انتظامی در شناسایی و تعیین محل عملیات خرابکارانه و تروریستی، پیش از ارتکاب آن کمک شایانی می‌نماید. در این مقاله یک روش بسیار کارآمد و عملیاتی برای مکان‌یابی کاربران در شبکه‌های بی‌سیم ارائه می‌شود. به منظور مدیریت منابع بی‌سیم، شبکه‌های سلولی، اندازه‌گیری‌هایی را مبنی بر محاسبه قدرت سیگنال دریافتی از ایستگاه‌های ثابت موبایل همسایه و ایستگاه سرویس‌دهنده به کاربر، انجام می‌دهند. این اندازه‌گیری‌ها توسط کاربر موبایل انجام شده و بنابراین می‌توان با تعبیه یک سامانه پایش در واسط هوایی و در حین مکالمه کاربر به این اطلاعات دست یافت. در این مقاله، یک نقطه ضعف موجود در اکثر شبکه‌های سلولی را شرح داده و از طریق آن یک روش مکان‌یابی پسیو ارائه شده است. در این روش مکان‌یابی، سامانه پایش مستقر در واسط هوایی به راحتی می‌تواند از روی پیام‌های سیگنالینگ مبادله شده میان موبایل و شبکه، از محل استقرار موبایل آگاهی یابد. الگوریتم‌های هندسی نشان می‌دهد که الگوریتم مکان‌یابی پیشنهادی قادر است بدون بهره‌گیری از ارائه آنتن بهتر از الگوریتم شناخته‌شده‌ای نظیر روش زاویه ورود عمل نماید.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های سلولی، پیام‌های سیگنالینگ واسط هوایی، روش‌های مکان‌یابی

Passive Mobile Localization Based on the Air Interface Signaling in Cellular Networks

Z. Hasanshahi, A. R. Rahmati, P. Azmi*

Tarbiat Modares University

(Received: 22/11/2016; Accepted: 17/06/2017)

Abstract

Geolocation of a special target in the cellular network is one of the cutting edge research areas in the world and is very essential for passive defence. This effectively helps the military and law enforcement unit to detect and determine the location of the subversive and terrorist operations, before committing an offence. This paper proposes an effective and practical method for localization of users in wireless networks. In order to radio resource management in cellular networks, mobile station measures the received signal strength (RSSI) from its neighbor base stations and sends the measurement report to the base station. These measurements can be obtained by using an interceptor during the given call in passive manner from each mobile station. In this paper, a passive mobile location technique which uses an interceptor to gather the RSSI information of mobile stations and finds the location of each user is proposed. Geometric algorithms show that the proposed localization algorithm can outperform the angle-of-arrival (AOA) technique without any need to use array antennas and LOS propagation environment.

Keywords: Geo Location, Wireless Cellular Networks, Signaling Messages, RSS Methods

*Corresponding Author E-mail: pazmi@modares.ac.ir

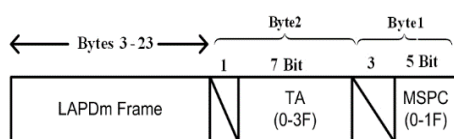
۱. مقدمه

مروری بر پارامتر TA و پیام Measurement Report خواهد شد و نحوه استخراج این فاکتورها از سیگنالینگ واسط هوایی GSM عنوان خواهد شد. در بخش سوم روش مکان‌یابی پیشنهادی را توصیف می‌شود. شبیه‌سازی‌هایی که بیانگر میزان کارایی روش مکان‌یابی ارائه شده است در بخش چهارم آورده شده‌اند. نتیجه‌گیری این مقاله در بخش پنجم آورده شده است.

۲. روش تحقیق

۲-۱. پارامترهای سیگنالینگ وابسته به مکان کاربر

کانال SACCH در GSM دربردارنده اطلاعات عملکرد رادیویی لینک MS-BTS است و دستورهای نظیر سنکرون‌سازی و اندازه‌گیری‌های مرتبط با کیفیت کانال از این طریق اعمال می‌گردد [۱۲]. پیام‌های کانال SACCH معمولاً هر ۱۲ فریم روی کانال ترافیکی ۲۶ مولتی فریمی^۵ ارسال شده و به همین خاطر، این کانال در استاندارد ETSI کند (slow) اطلاق می‌شود. شکل (۱) فریم بندی که در قالب آن، پیام‌های سیگنالینگ واسط هوایی بر روی کانال SACCH^۶ ارسال می‌شوند را نشان می‌دهد [۱۳]. MS هر ۴۸۰ میلی‌ثانیه فریم شکل (۱) را برای BTS سرویس‌دهنده‌اش ارسال می‌کند تا BTS را از کیفیت لینک رادیویی فرسو مطلع سازد. پیام سیگنالینگ که مشتمل بر کیفیت و قدرت سیگنال دریافتی در حین یک مکالمه فعال باشد را Measurement Report Message می‌نامند [۱۰ و ۱۱]. این اندازه‌گیری به عنوان ورودی مرکز BSC که در آن اجرای عملیات کنترلی مدیریت می‌شود، برای اجرای فعالیت‌هایی نظیر Handoff مورد استفاده قرار می‌گیرد.



MSPC: MS power control (the power level that the MS actually uses, or will use)

شکل ۱. فریم بندی پیام فراسوی روی کانال SACCH [۱۳]

از پیام Measurement Report به عنوان اولین ورودی اعمالی به روش پیشنهادی مکان‌یابی استفاده خواهد شد. توجه دارید که فریم ارسال روی کانال SACCH مشتمل بر پارامتر TA نیز است که از روی آن BTS میزان سنکرون بودن خود با MS را سنجیده و مقدار TA تصحیح شده را برای MS ارسال می‌نماید. مقدار TA میزان زمانی را که لازم است MS صبر کند تا پس از دریافت داده از BTS، اطلاعاتش را ارسال نماید، مشخص می‌کند. هر چند

تحقیق روی الگوریتم‌های مکان‌یابی بی‌سیم، به منظور تخمین موقعیت جغرافیایی MS، در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند و در بسیاری از کاربردها نظیر سرویس‌های فوری^۱، امدادهای جاده‌ای، جهت‌یابی، پیگرد افراد و ... استفاده شده‌اند [۸-۱]. یک روش معمول مکان‌یابی AOA نام دارد که مبتنی بر اندازه‌گیری زاویه ورود سیگنال ارسالی توسط MS در چندین BTS قرار دارد [۹ و ۱۰]. هر تخمین AOA منجر به پدید آمدن یک خط حامل^۲ LOB از BTS به MS می‌شود که نقطه تقاطع حاصل از چندین LOB موقعیت احتمالی حضور MS را نشان می‌دهد. روش AOA نیازی به سنکرون بودن میان BTS‌ها نداشته و تنها به ازای داشتن دو BTS نیز قابل پیاده‌سازی است. با این حال، این روش نیازمند استفاده از ارائه آنتن‌ها بوده و می‌بایست در شرایط محیطی دید مستقیم^۳ LOS مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، پیاده‌سازی روش AOA مستلزم ایجاد تغییراتی در شبکه است که این امر اجازه پیاده‌سازی پسیو مکان‌یابی را غیرممکن می‌سازد. مکان‌یابی پسیو در بسیاری از کاربردها مورد توجه است و ردیابی سوژه خاص توسط پلیس و یا سرویس‌های شنود دارای مجوز از مکان‌یابی پسیو استفاده می‌نمایند. به منظور رفع مسائل پیشروی روش AOA و نیز امکان پیاده‌سازی مکان‌یابی پسیو، روشی را معرفی خواهد شد که برتری‌های چشمگیری نسبت به روش AOA دارد. روش ارائه‌شده نیازی به ارائه آنتن نداشته و در شرایط دید غیرمستقیم^۴ NLOS نیز به خوبی کار می‌کند. همچنین، روش ارائه‌شده یک روش مکان‌یابی پسیو خواهد بود که صرفاً از سیگنالینگ موجود در شبکه‌های سلولی استفاده می‌نماید. پیام Measurement Report و پارامتر Timing Advance (TA) دو فاکتور کلیدی برای پیاده‌سازی روش مذکور هستند که این دو مشخصه را می‌توان با قرار دادن یک سامانه پایس در واسط هوایی و استخراج پیام‌های سیگنالینگ مابین MS و BTS استخراج نمود. توجه شود که در اکثر شبکه‌های بی‌سیم نظیر GSM، GPRS، UMTS و ...، پیام سیگنالینگ Measurement Report و پارامتر TA حضور دارند که به ترتیب به منظور مدیریت منابع رادیویی و سنکرون‌سازی میان MS و BTS مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۰ و ۱۱]. به منظور توصیف کارایی روش مکان‌یابی ارائه‌شده، شبکه سلولی GSM به دلیل فراگیری و ساده‌تر بودن آن انتخاب شده است. مطالبی که در ادامه این مقاله آورده شده است مشتمل بر موارد زیر هستند: در بخش دوم

¹ Emergency Services

² Line of Bearing

³ Line of Sight

⁴ Non Line of Sight

⁵ Multi Frame

⁶ Slow Associated Control Channel

مطرح شده‌اند که از میان آن‌ها می‌توان به مدل Lee, Hata و Walfisch-Ikegami اشاره نمود [۱۵].

بر اساس مدل Cost231 Hata، رابطه کلی میان قدرت سیگنال RXLEV و فاصله میان MS-BTS، d ، به صورت زیر مدل می‌شود:

$$RXLEV = A + B \log_{10}(d / km) \quad (2)$$

که در آن، ضریب A مشتمل بر چندین ثابت نظیر ارتفاع آنتن MS و BTS، و فرکانس کریر است. پارامتر B نیز بیانگر نمای تلفات مسیر^۴ است که عموماً مقداری از ۲ تا ۴ را می‌پذیرد. در حالت کلی پارامترهای A, B نامعلوم هستند و بنابراین، دانستن مقادیر RXLEV برای تعیین استقرار MS به تنهایی کافی نیست. زمان اندازه‌گیری بین دو RXLEV در MS، ۴/۶۱۵ میلی‌ثانیه (دوره زمانی فریم TDMA) است. علاوه بر این، دوره زمانی بلوک SACCH ۴۸۰ میلی‌ثانیه است که سبب می‌شود، مقدار متوسط گیری شده‌ای با حدود ۱۰۰ اندازه‌گیری مرتبط با Measurement Report را در هر بار ارسال پیام Measurement Report توسط MS در اختیار داشته باشیم که این امر یک متوسط گیری ذاتی برای سامانه ابداعی به وجود آورده و سبب می‌شود تا اثرات محوشدگی سریع^۵ در الگوریتم مکان‌یابی پیشنهادی کاهش یابد.

0	0	0	0	0	1	1	TF	1
0	0	0	1	0	1	0	1	2
0	1	1	1	0	0	0	1	1
0	DTX	RXLEV Serving Cell						2
0	0	RXQUAL FULL	RXQUAL SUB					3
0	# NCELL		RXLEV					4
NCELL 1	0	BCCH FREQ NCELL 1						5
BSIC NCELL 1			RXLEV					6
NCELL 2	0	BCCH FREQ						7
NCELL 2	BSIC NCELL 2						8	
RXLEV NCELL 3			0	BCCH				9
FREQ NCELL 3			BSIC					10
NCELL 3	RXLEV NCELL 4						11	
0	BCCH FREQ NCELL 4			BSIC				12
NCELL 4	RXLEV						13	
NCELL 5	0	BCCH FREQ NCELL 5						14
BSIC NCELL 5			RXLEV					15
NCELL 6	0	BCCH FREQ						16
NCELL 6	BSIC NCELL 6						17	

شکل ۲. پیام Measurement Report Message در واسط هوایی [۱۳]

BTS از مقدار TA تخصیصی به MS مطلع است ولی همان‌گونه که شکل (۱) نشان می‌دهد، پارامتر TA نیز هر ۴۸۰ میلی‌ثانیه یک بار برای BTS ارسال می‌شود. پارامتر TA به عنوان دومین ورودی الگوریتم مکان‌یابی پیشنهادی عمل می‌کند. توجه داریم که هر دو ورودی الگوریتم مکان‌یابی به راحتی از طریق سیگنالینگ فراسو در واسط هوایی و هر ۴۸۰ میلی‌ثانیه در اختیار ما قرار می‌گیرد. همان‌گونه که در استاندارد GSM 05.10 آورده شده است [۱۴]، مقدار TA بین ۰ تا ۶۳ متغیر است که این بازه متناظر با مقادیر زمانی ۰ تا ۲۳۳ میکروثانیه است. بنابراین، به ازای قرار داشتن در سلولی به شعاع ۳۵ کیلومتر، هر واحد تغییر در مقدار TA متناظر با جابه‌جایی مکانی به میزان ۵۵۰ متر خواهد بود:

$$dTA = \frac{TA \times 3 \times 10^8 \frac{m}{s} \times 3.69 \times 10^{-6} s}{2} = TA \times 554m \quad (1)$$

۲-۲. استخراج Measurement Report و مدل انتشار^۱:

ارتباط میان پارامتر TA و فاصله میان MS-BTS در رابطه (۱) نشان داده شده است. بنابراین، هر ۴۸۰ میلی‌ثانیه، سامانه پایش قادر است فاصله میان MS-BTS را از طریق گوش دادن به سیگنالینگ GSM در واسط هوایی به واسطه وجود پارامتر TA در فریم SACCH تخمین بزند. با این حال، همان‌گونه که از رابطه (۱) مشخص است، رزولوشن فاصله حدود ۵۵۰ متر است که دقت خوبی را نتیجه نمی‌دهد. به منظور بهبود دقت مکان‌یابی، از اطلاعات قدرت سیگنال اندازه‌گیری شده توسط MS که در پیام Measurement Report قرار دارد و در شکل (۲) نشان داده شده است، استفاده می‌شود. داده‌ای که MS از طریق ارسال این پیام ارسال می‌نماید عبارت‌اند از: سطح قدرت سیگنال دریافتی (RXLEV) مربوط به سلول سرویس‌دهنده و ۶ سلول همسایه، شناسه BTS (BSIC^۲) و شماره فرکانس (ARFCN^۳) هر کانال کنترلی پخش عمومی (BCCH). کانال BCCH مشتمل بر پارامترهای سامانه‌ای است که به منظور شناسایی شبکه و اتصال به شبکه GSM مورد استفاده قرار می‌گیرد. در الگوریتم مکان‌یابی پیشنهادی از حداقل دو مقدار از ۷ مقدار مربوط به RXLEV ایستگاه‌های پایه استفاده خواهد شد.

نظیر تمامی روش‌های مکان‌یابی مبتنی بر قدرت سیگنال دریافتی، از مدل انتشار محیط به منظور برقراری تناظر میان قدرت سیگنال دریافتی و فاصله میان MS-BTS استفاده خواهد شد. برای این منظور، مدل‌های مختلفی در طی سال‌های گذشته

^۴ Path Loss Exponent

^۵ Fast Fading

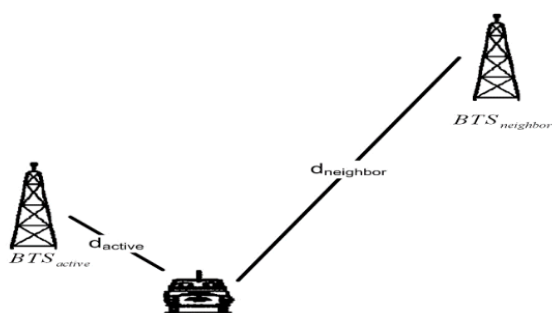
^۱ Propagation Model

^۲ Base Station Identity Code

^۳ Absolute Radio Frequency Channel Number

ارتفاع آنتن هر دو BTS نیز برابر است. علاوه بر این، فرض کنید محیط فیزیکی یکسانی در هر دو لینک برقرار است به نحوی که پارامترهای A و B برای هر دو لینک برابر باشد. در این صورت، مقادیر d_{active} و $d_{neighbour}$ در هر بازه زمانی ۷۸۰ میلی ثانیه‌ای با دانستن مقادیر RXLEV و پارامترهای مدل Hata از رابطه زیر به دست می‌آیند:

$$\begin{cases} d_{active} = 10^{\frac{RXLEV_{BTS_{active}} - A}{B}} \\ d_{neighbour} = 10^{\frac{RXLEV_{BTS_{neighbour}} - A}{B}} \end{cases} \quad (۶)$$



شکل ۳. سناریو قرارگیری MS و BTSها در محیط [16]

شکل (۴)، روابط مثلثاتی یافتن فاصله MS نسبت به سامانه پایش را نشان می‌دهد که بیانگر سناریویی است که در آن، سامانه پایش، MS سوژه‌ای را که با دو BTS، BTS_{active} و $BTS_{neighbour}$ ، تبادل اطلاعات دارد را رصد می‌کند. فرض کنید، فاصله BTSها نسبت به هم، فاصله BTSها نسبت به سامانه پایش و زاویه آنها نسبت به هم معلوم است. توجه دارید که فاصله MS نسبت به BTSها از رابطه (۶) به دست آورده شده بود. با داشتن فرضیات فوق، به راحتی می‌توان فاصله میان MS و سامانه پایش، X ، را از رابطه زیر به دست آورد:

$$\begin{aligned} h &= d_{neighbour} \sin \alpha = d_{active} \sin(\beta - \theta) \\ \Rightarrow \alpha &= \sin^{-1} \left(\frac{d_{active} \sin(\beta - \theta)}{d_{neighbour}} \right) \quad (۷) \\ P &= d_{neighbour} \cos \alpha + d_{active} \cos(\beta - \theta) \\ &\stackrel{(7)}{=} P = d_{neighbour} \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{d_{active} \sin(\beta - \theta)}{d_{neighbour}} \right) \right) \\ &+ d_{active} \cos(\beta - \theta) \\ &= d_{neighbour} \sqrt{1 - \frac{d_{active}^2}{d_{neighbour}^2} \sin^2(\beta - \theta)} + d_{active} \cos(\beta - \theta) \\ \Rightarrow P^2 &+ d_{active}^2 \cos^2(\beta - \theta) - 2d_{active} P \cos(\beta - \theta) \\ &= d_{neighbour}^2 \left(1 - \frac{d_{active}^2}{d_{neighbour}^2} \sin^2(\beta - \theta) \right) \end{aligned} \quad (۷)$$

۳. الگوریتم پسیو پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی برای تعیین مکان MS مشتمل بر سه مرحله است. در مرحله نخست دو پارامتر A و B در مدل انتشار Cost231 Hata نشان داده شده در رابطه (۲) تخمین زده می‌شوند. سپس، با استخراج حداقل دو مقدار RXLEV مرتبط با دو BTS، فاصله میان MS-BTS برای دو BTS در نظر گرفته شده، از رابطه (۲) به دست می‌آید. در مرحله آخر نیز فاصله میان MS تا دستگاه پایش از طریق روابط مثلثاتی به دست خواهد آمد. این امر در ادامه توضیح داده شده است. یافتن پارامترهای A و B در مدل انتشاری Cost231 Hata تخمین دو پارامتر A و B به منظور استخراج فاصله MS-BTS مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این منظور از پارامتر TA که هر ۴۸۰ میلی ثانیه از روی پیام Measurement Report قابل استخراج است، به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$\begin{cases} RXLEV_{BTS_{active}}(1) = A + 10 \times B \times \log_{10}(d(1)) \\ RXLEV_{BTS_{active}}(2) = A + 10 \times B \times \log_{10}(d(2)) \end{cases} \quad (۳)$$

که در آن، $(RXLEV_{BTS_{active}}(1), d(1))$ و $(RXLEV_{BTS_{active}}(2), d(2))$ مقادیر مربوط به قدرت سیگنال و فاصله $MS - BTS_{active}$ در دو زمان متوالی ۴۸۰ میلی ثانیه‌ای هستند. توجه دارید که $RXLEV_{BTS_{active}}(i)$ به ازای $i = 1, 2$ از پیام Measurement Report قابل استخراج بوده و $d(i)$ نیز از پارامتر TA به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\begin{cases} d(1) = \frac{TA(1) \times 3 \times 10^8 \frac{m}{s} \times 3.69 \times 10^{-6} s}{2} = TA(1) \times 554m \\ d(2) = \frac{TA(2) \times 3 \times 10^8 \frac{m}{s} \times 3.69 \times 10^{-6} s}{2} = TA(2) \times 554m \end{cases} \quad (۴)$$

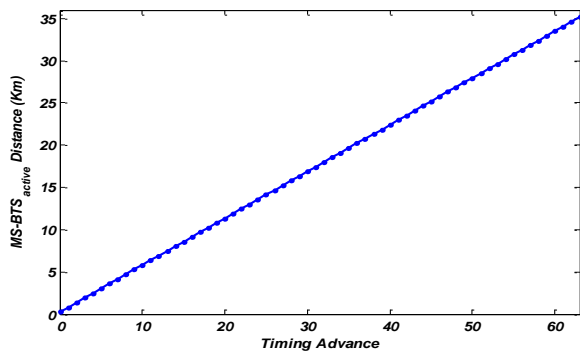
بنابراین، دو پارامتر A و B به راحتی از رابطه زیر نتیجه می‌شوند:

$$\begin{cases} A = RXLEV_{BTS_{active}}(1) - \left(\frac{RXLEV_{BTS_{active}}(1) - RXLEV_{BTS_{active}}(2)}{\log_{10} d(1) - \log_{10} d(2)} \right) \times \log_{10} d(1) \\ B = \frac{RXLEV_{BTS_{active}}(1) - RXLEV_{BTS_{active}}(2)}{\log_{10} d(1) / d(2)} \end{cases} \quad (۵)$$

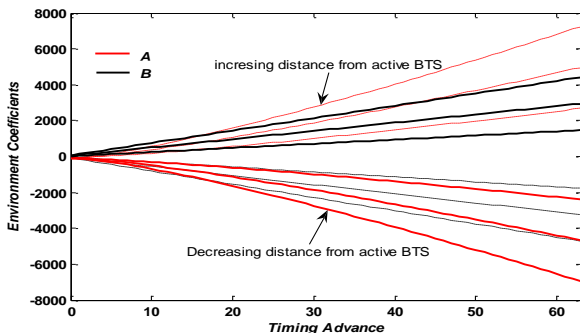
۳-۱. یافتن فاصله MS-BTS

شکل (۳) سناریویی را نشان می‌دهد که در آن یک MS به طور هم‌زمان با دو BTS در ارتباط است که یکی BTS سرویس‌دهنده به MS ، BTS_{active} ، و دیگری BTS همسایه MS ، $BTS_{neighbour}$ است. فرض کنید هر دو لینک در فرکانس یکسان کار می‌کنند و

می‌دهد از اندازه‌گیری مربوط به TA استفاده می‌شود که ارتباط میان d_{active} و TA از شکل (۵) استخراج می‌شود. شکل (۶) میزان وابستگی پارامترهای محیطی A و B در مدل انتشار Hata نسبت به پارامتر TA، به ازای دور و یا نزدیک شدن MS به BTS فعال، را نشان می‌دهد. توجه دارید که برای مدل کردن دور و یا نزدیک شدن MS نسبت به BTS فعال در شبیه‌سازی، از تغییر مقادیر RXLEV استفاده شده است. بدین ترتیب که با توجه به رنج تغییرات RXLEV در GSM که از $-48dBm$ ، به ازای نزدیک‌ترین موقعیت قرارگیری MS نسبت به BTS، تا 110 ، به ازای دورترین موقعیت قرارگیری MS نسبت به BTS، متغیر است، دور و یا نزدیک شدن MS نسبت به BTS فعال در شبیه‌سازی‌ها لحاظ شده است.



شکل ۵. رابطه پارامتر TA و فاصله در سامانه GSM



شکل ۶. تغییرات ضرایب مدل هاتا نسبت به مقادیر مختلف TA به ازای دور و یا نزدیک شدن MS نسبت به BTS فعال

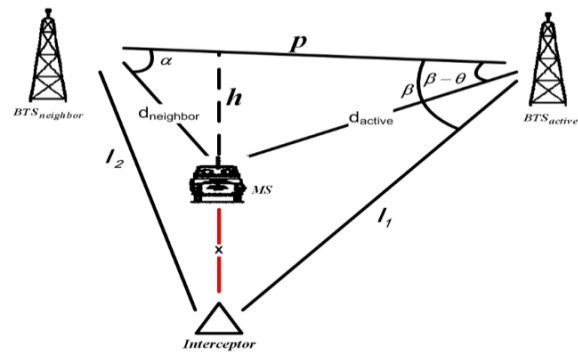
دور شدن و نزدیک شدن MS نسبت به BTS، به ترتیب با خطوط نقطه‌چین و خطوط پر نشان داده شده‌اند. توجه دارید که با افزایش (کاهش) فاصله، A مقادیر مثبت (منفی) بیشتر و B مقادیر منفی (مثبت) بیشتری به خود می‌گیرد. همچنین توجه دارید که میزان حساسیت پارامتر A نسبت به تغییرات TA و در نتیجه فاصله قرارگیری MS نسبت به BTS فعال در مقایسه با پارامتر B بسیار بیشتر است. هر چه میزان وابستگی پارامترهای محاسبه‌شده A و B نسبت به TA کمتر باشد، مقادیر حاصل برای A و B قابل اطمینان‌تر بوده و دقت رابطه تخمین فاصله که

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{d_{active}}{d_{neighbour}} \sin \left(\cos^{-1} \left(\frac{P^2 + d_{active}^2 - d_{neighbour}^2}{2d_{active}P} \right) \right) \right) \quad (8)$$

$$\beta - \theta = \cos^{-1} \left(\frac{P^2 + d_{active}^2 - d_{neighbour}^2}{2d_{active}P} \right) \quad (9)$$

$$x^2 = d_{active}^2 + I_1^2 - 2d_{active}I_1 \cos \theta$$

$$= d_{active}^2 + I_1^2 - 2d_{active}I_1 \cos \left(\beta - \cos^{-1} \left(\frac{P^2 + d_{active}^2 - d_{neighbour}^2}{2d_{active}P} \right) \right) \quad (10)$$



شکل ۴. شماتیک سناریو شنود [16]

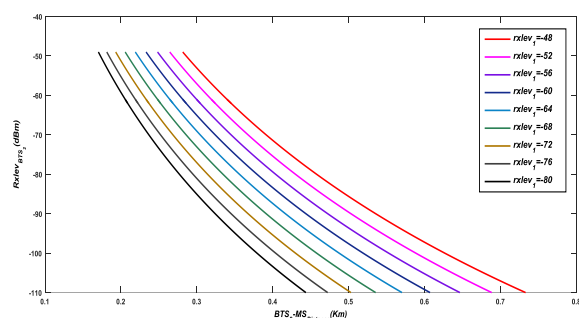
همان‌طور که دیده می‌شود، فاصله میان MS تا سامانه شنود از رابطه (۱۰) قابل استخراج است. توجه دارید پیاده‌سازی هیچ‌یک از گام‌های سه‌گانه مذکور نیازی به تغییر سخت‌افزاری و یا نرم‌افزاری در شبکه GSM و یا MS ندارند. همچنین، الگوریتم مکان‌یابی ارائه‌شده را می‌توان به صورت پسیو و استفاده از یک سامانه پایش پیاده‌سازی نمود. همان‌طور که از روابط (۸ و ۹) مشخص است، الگوریتم پیشنهادی مشابه روش AOA عمل نموده و بدون نیاز به ارائه آنتن و عدم نیاز به شرایط محیطی LOS می‌تواند به عملکردی نظیر AOA دست یابد.

۴. نتایج شبیه‌سازی

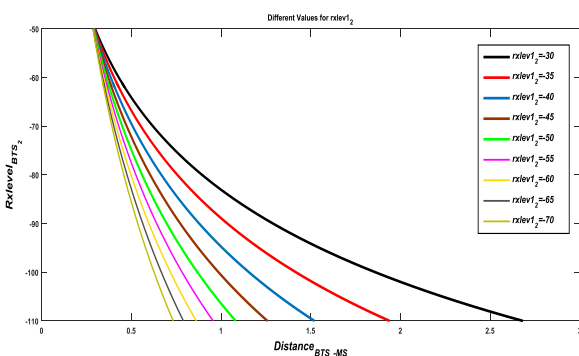
در این بخش نتایج شبیه‌سازی مربوط به مباحث مطرح‌شده در بخش‌های ۲ و ۳ آورده شده است. به منظور بررسی ارتباط میان پارامتر TA و فاصله، شکل (۵) آورده شده است که در آن با افزایش فاصله MS نسبت به BTS فعال از ۰ تا ۳۵ کیلومتر، پارامتر مذکور از ۰ تا ۶۳ تغییرات خواهد داشت. تغییر فاصله ۵۵۰ متری به ازای هر واحد تغییرات در TA به خوبی در این شکل مشخص است.

در روش پیشنهادی، نخست لازم بود پارامترهای وابسته به محیط A و B در مدل انتشار هاتا، از روی اندازه‌گیری‌های RXLEV و d_{active} مربوط به BTS فعال در دو لحظه محاسبه شوند. برای محاسبه d_{active} که فاصله MS نسبت به BTS فعال را نشان

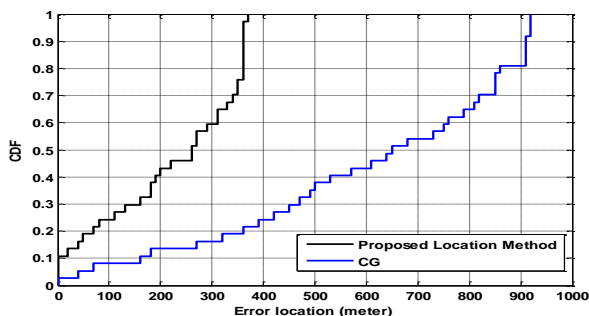
(۸)، با توجه به متغیر بودن اختلاف سطح RXLEV مربوط به BTS فعال در بازه زمانی ۴۸۰ میلی ثانیه‌ای، فرض شده است که RXLEV در لحظه اول دارای مقدار -48 dBm باشد و این پارامتر در لحظه دوم برای محاسبه پارامترهای A و B ، مقادیر $rxlev_2$ نشان داده شده روی شکل را به خود می‌گیرد. به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی، تابع توزیع تجمعی^۱ خطای محل استقرار MS بر حسب میزان خطای الگوریتم مکان‌یابی محاسبه شده است که نتیجه آن به صورت شکل (۹) به دست می‌آید.



شکل ۷. سطح RXLEV دریافتی در BTS همسایه بر حسب فاصله به ازای اختلاف سطح ثابت سیگنال RXLEV برای محاسبه A و B در BTS فعال



شکل ۸. سطح RXLEV دریافتی در BTS همسایه بر حسب فاصله به ازای اختلاف سطح متغیر سیگنال RXLEV برای محاسبه A و B در BTS فعال



شکل ۹. تابع توزیع تجمعی خطای الگوریتم پیشنهادی دوم در مقایسه با روش CG

از مقادیر A و B استفاده می‌نمایند، بیشتر خواهد بود. توجه کنید که در عمل، شرایط خیلی بهتر از فرض در نظر گرفته شده در شکل فوق است و میزان تغییرات پارامترهای A و B بسیار کمتر از رنج تغییرات نشان داده شده در شکل است. چرا که به منظور نشان دادن میزان بیشتر وابستگی پارامتر A به تغییرات TA نسبت به B ، در شبیه‌سازی انجام شده فرض شده است که امکان تغییر TA از ۰ تا ۶۳ به ازای هر میزان نزدیک و یا دور شدن MS نسبت به BTS وجود دارد. این در حالی است که پارامتر TA در هر ۵۵۰ متر جابه‌جایی، فقط یک واحد تغییرات دارد.

در شکل‌های (۷) و (۸)، کارایی الگوریتم پیشنهادی در شرایط حضور MS، یک BTS همسایه، و BTS فعال نشان داده شده‌اند. هر منحنی در این شکل‌ها، نشان‌دهنده فاصله میان BTS و MS همسایه، به ازای تمامی مقادیر ممکن RXLEV مربوط به BTS همسایه است. برای توضیح بیشتر می‌توان گفت که بسته به دو مقدار RXLEV مربوط به BTS فعال در بازه زمانی ۴۸۰ میلی-ثانیه‌ای، پارامترهای A و B محاسبه شده و متعاقب آن مقدار فاصله بین MS و BTS همسایه محاسبه می‌شود. توجه دارید که برای در نظر گرفتن حالت کلی، تقریباً تمام رنج مقادیر ممکن RXLEV (-48 dBm تا -110 dBm)، برای BTS همسایه به ازای هر مقدار به دست آمده برای A و B محاسبه شده است. منحنی‌های متعدد در هر شکل نیز به واسطه پارامترهای A و B مختلف پدیدار شده‌اند. پارامترهای A و B گوناگون، در نتیجه اعمال دو مقدار مختلف RXLEV مربوط به BTS فعال در بازه زمانی ۴۸۰ میلی‌ثانیه‌ای حاصل می‌شوند. در شکل (۷) فرض شده است که اختلاف سطح RXLEV مربوط به BTS فعال در بازه زمانی ۴۸۰ میلی‌ثانیه‌ای ثابت می‌ماند و این در حالی است که در شکل (۸) فرض بر این است که اختلاف سطح RXLEV متغیر است. علاوه بر این، نحوه انتخاب RXLEV مربوط به BTS فعال به صورت کاهشی در نظر گرفته شده است. یعنی فرض شده است که MS در حال دور شدن از BTS فعال و نزدیک شدن به همسایه است.

هر یک از مقادیر $rxlev_1$ نشان داده شده در شکل (۷)، بیانگر مقدار RXLEV در لحظه اول بازه زمانی ۴۸۰ میلی‌ثانیه‌ای BTS فعال است که برای محاسبه پارامترهای A و B مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به فرض ثابت بودن اختلاف سطح RXLEV مربوط به BTS فعال در بازه زمانی ۴۸۰ میلی‌ثانیه‌ای در شکل (۷)، RXLEV مربوط به لحظه دوم در هر منحنی، 40 dBm از $rxlev_1$ نشان داده شده کمتر در نظر گرفته شده است. در شکل

^۱ Cumulative Distribution Function

- IEEE Commun. Let. 2013, 2, 163–166.
- [8] Wang, J.; Chen, J.; Cabric, D. “Cramer-Rao Bounds for Joint RSS/DoA Based Primary-User Localization in Cognitive Radio Networks”; IEEE Trans. Wireless Commun. 2013, 12, 1363–1375.
- [9] Taponecco, L.; Amico, A. A.; Mengali, U. “Joint TOA and AOA Estimation for UWB Localization Applications”; IEEE Trans. Wireless Commun. 2011, 10, 118-130.
- [10] Dogancay, K.; Hmam, H. “Optimal Angular Sensor Separation for AOA Localization”; Signal Process 2008, 88, 1248–1260.
- [11] 3GPP TS 05.08 “Radio Subsystem Link Control”; ETSI TS, 1998.
- [12] GSM 04.08 “Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Mobile Radio Interface Layer 3 Specification”; ETSI TS, 1998.
- [13] 3GPP TS 05.02 “Multiplexing and Multiple Access on the Radio Path”; ETSI TS, 1998.
- [14] 3GPP TS 05.10 “Radio Subsystem Synchronization”; ETSI TS, 1998.
- [15] Heine, G.; Sagkob, H. “GPRS: Gateway to Third Generation Mobile Networks”; Artech House, 2003.
- [16] Lin, D. B.; Juang, R. T. “Mobile Location Estimation Based on Differences of Signal Attenuations for GSM Systems”; IEEE Trans. Vehicular Tech. 2005, 4, 1447-1454.

به منظور مقایسه، تابع توزیع تجمعی خطای روش CG^1 نیز محاسبه و ترسیم شده است. به بهبود ناشی از الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش مکان‌یابی CG که یک روش متداول مکان‌یابی است، توجه کنید. بر مبنای شکل فوق، ۴۰٪ خطاهای مکان‌یابی ($CDF=0.4$) الگوریتم پیشنهادی دارای خطای کمتر از ۲۰۰ متر هستند و این در حالی است که تنها ۱۰٪ خطاهای مکان‌یابی روش CG دارای خطای کمتر از ۲۰۰ متر هستند. علاوه بر این، با احتمال ۱۰۰٪، کلیه خطاهای مکان‌یابی روش پیشنهادی کمتر از ۳۷۰ متر خواهند بود که در روش CG این مقدار کمتر از ۹۰۰ متر خواهد بود. بنابراین در بدترین شرایط، روش پیشنهادی به اندازه ۵۳۰ متر ($900m - 370m = 530m$) بهتر از روش CG عمل خواهد نمود.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید مکان‌یابی در سامانه‌های سلولی بر مبنای پارامتر TA و پیام Measurement Report ارائه شده است. مشخص شد که می‌توان پارامترهای کلیدی مذکور را در هر شبکه سلولی با مانیتور کردن اطلاعات کانال SACCH به دست آورد. در نهایت نشان داده شد که با قرار دادن این سامانه پایش، می‌توان به کارایی بهتری در مقایسه با روش AOA دست یافت بدون اینکه نیازی به استفاده از ارائه آنتن‌ها در BTS و الزام استفاده از شرایط LOS باشد.

۶. مراجع‌ها

- [1] Ge, X.; Cheng, H.; Mao, G.; Yang, Y.; Tu, S. “Vehicular Communications for 5G Cooperative Small-Cell Networks”; IEEE Trans. Vehicular Tech. 2016, 10, 7882–7894.
- [2] Wang, C.; Qi, F.; Shi, G.; Wang, X. “Convex Combination Based Target Localization with Noisy Angle of Arrival Measurements”; IEEE Commun. Let. 2014, 3, 124-127.
- [3] Yang, S.; Jeong, E.; Han, S. “Indoor Positioning Based on Received Optical Power Difference by Angle of Arrival”; Electron. Let. 2014, 50, 49–51.
- [4] Ma, Z.; Ho, K. C. “A Study on The Effects of Sensor Position Error and The Placement of Calibration Emitter for Source Localization”; IEEE Trans. Wireless Commun. 2014, 13, 26-32.
- [5] Conti, A.; Dardari, D.; Guerra, M.; Mucchi, L.; Win, M. Z. “Experimental Characterization of Diversity Navigation”; IEEE Syst. J. 2014, 8, 115–124.
- [6] Yang, S.; Jung, E.; Han, S. “Indoor Location Estimation Based on LED Visible Light Communication Using Multiple Optical Receivers”; IEEE Commun. Lett. 2013, 17, 1834–1837.
- [7] He, Z.; Ma, Y.; Tafazolli, R. “Improved High Resolution to a Estimation for OFDM-WLAN Based Indoor Ranging”;

¹ Center of Gravity

