فصلنامه علوم و فنون نظامی
سال هفتم، شماره ۱۸، پاییز ۱۳۸۹، صص:۶۴-۵۱
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۲/۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۶/۲۳

اختلال هوشمند در سامانه‌های موقعیت یاب جهانی (GPS)

روزبه کمالی[۱]، محمد بخشنده[۲]

چکیده

امروزه بسیاری از سامانه‌های نظامی و تجاری از سیستم‌های GPS[۳] برای مکان‌یابی استفاده می‌کنند. یکی از تهدیدهایی که به سیستم‌های GPS آسیب وارد می‌کند، گمراه‌سازی[۴] است. در گمراه‌سازی، سیگنالی شبیه سیگنال GPS تولید می‌شود که حاوی اطلاعات غلط است و گیرنده GPS به اشتباه سیگنال آن را آشکارسازی کرده و موقعیت مکانی خود را از روی آن بدست می‌آورد و به این ترتیب مکان خود را به اشتباه محاسبه می‌کند و گمراه می‌شود. در این مقاله موضوع گمراه‌سازی بررسی و برای نخستین بار یک روش جدید برای گمراه‌سازی مطرح می‌گردد و با بررسی نحوه پیاده‌سازی و چالش‌های اصلی آن، صحت عملکرد آن با ارائه نتایج شبیه‌سازی بررسی می‌شود. این روش جدید گمراه‌سازی امکان پیاده‌سازی ارزان قیمت گمراه‌ساز را فراهم می‌آورد به‌طوری که گمراه‌سازهای مبتنی بر روش ارائه شده، از گمراه‌سازهای متداولی که امروزه استفاده می‌شوند، بسیار ارزان‌تر خواهند بود.

کلید واژگان:
GPS، مکان‌یابی، گمراه‌سازی، سیگنال

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

---

[۱] کارشناس ارشد مهندسی برق و مدرس دانشگاه هوایی شهید ستاری
[۲] کارشناس ارشد مدیریت دفاعی و مدرس دانشگاه هوایی شهید ستاری

3-Global Positioning system سامانه موقعیت یاب جهانی
4-Spoofing

مقدمه

استفاده از GPS هم در سیستم‌های نظامی و هم در سیستم‌های تجاری بسیار متداول گشته است. بسیاری از شبکه‌های مخابراتی، حمل و نقل، وسایل و تجهیزات، شبکه‌های توزیع برق قدرت و... از GPS برای تعیین محل و همزمان‌سازی استفاده می‌کنند.

با توجه به اهمیت و نقش GPS واضح است که بروز اختلال در سیستم‌های GPS می‌تواند آسیب‌های قابل توجهی به زیرساخت‌های یک کشور وارد سازد. اساس عملکرد GPS به این صورت است که ماهواره‌های GPS حول زمین در حال گردشند و اطلاعات مکان و زمان خود را منتشر می‌کنند و گیرنده‌هایی که روی زمین قرار دارند، با استفاده از سیگنال‌های دریافتی از ماهواره‌ها مکان و زمان خود را محاسبه می‌کنند. ایجاد تداخل روی سیستم‌های GPS بطور کلی به دو صورت انجام می‌گیرد: جمینگ[1] و گمراه‌سازی[2]. در سیستم جمینگ، یک سیگنال قوی در همان فرکانس سیگنال‌های GPS توسط اختلال‌گر منتشر می‌شود طوری که سیگنال‌های GPS در مقابل این سیگنال‌های قوی ارسالی بسیار کوچک هستند و در نتیجه گیرنده GPS نمی‌تواند عمل آشکارسازی را انجام دهد. به این ترتیب عملکرد سیستم‌های GPS مختل می‌شود. [A. J. Viterbi, 1995: 5]

در سیستم گمراه‌سازی، سیگنالی که تداخل‌گر منتشر می‌کند، مانند سیگنال‌های ماهواره‌های GPS است فقط اطلاعات غلط در آن قرار دارد. این امر باعث می‌شود که کاربر GPS احساس کند که سیستم GPS به‌خوبی کار می‌کند در حالی که اطلاعات غلط است و به این ترتیب کاربر GPS گمراه می‌شود. در این گزارش به بررسی انواع سیستم‌های گمراه‌سازی پرداخته می‌شود. با استفاده از سیستم‌های گمراه‌سازی می‌توان آسیب‌های قابل توجهی به دشمن وارد نمود. برای متوجه شدن این امر چند مثال می‌زنیم: بسیاری از سیستم‌های موشکی بر مبنای استفاده از GPS کار می‌کنند . به عنوان مثال موشکی را در نظر بگیرید که یک سیستم هدایت‌کننده داخلی دارد که آنرا به سوی هدف هدایت می‌کند. چنین موشکی موقعیت خود را بطور دائم با استفاده از سیگنال‌های دریافتی از ماهواره‌های GPS تخمین می‌زند و موقعیت هدف را هم در اختیار دارد. با در اختیار داشتن این دو موقعیت، موشک خود را به سمت هدف هدایت می‌کند. حال اگر یک سیستم

1-Jamming
2- Spoofing

گمراه‌کننده GPS در اختیار داشته باشیم که سیگنال‌های ارسالی از ماهواره‌های GPS را دچار تغییر نماید، موشک موقعیت خود را به اشتباه تخمین خواهد زد و در نتیجه در مسیر درستی به سمت هدف حرکت نخواهد کرد و در نهایت به مکانی غیر از هدف اصلی خود اصابت خواهد کرد. به همین ترتیب می‌توان هواپیماهای دشمن را نیز گمراه کرد، علاوه بر این مورد، موارد فراوان دیگری نیز وجود دارند

. برای هر چه بیشتر مشخص شدن نقش گمراه‌سازی GPS در لطمه‌زدن به دشمن، یک سناریو را بررسی می‌کنیم؛ یک منطقه عملیاتی را در نظر بگیرید که تانک‌های دشمن در آن منطقه در حال حرکت و پیشروی هستند. هر یک از این تانک‌ها به یک سیستم GPS مجهز است که محل تانک را برای خدمه داخل تانک مشخص می‌کند. یکی از تانک‌ها یا یک مرکز فرماندهی که در جایی نزدیک به منطقه عملیاتی قرار دارد، وظیفه هدایت و فرماندهی سایر تانک‌ها را بر عهده دارد و آنرا تانک مرجع می‌نامیم، تانک‌ها اطلاعات مکان خود را برای آن ارسال می‌کنند. حال اگر با استفاده از گمراه‌سازی، کاری کنیم که تانک‌ها مکان خود را به اشتباه محاسبه و به تانک مرجع ارسال کنند، مرکز فرماندهی گمراه خواهد شد و به این ترتیب دشمن گمراه می‌شود و فرصت لطمه‌زدن و غافلگیر کردن او فراهم می‌گردد [M. S. Grewal,2001,19 : E. D. Kaplan,2006,8].

روش معمول گمراه‌سازی استفاده از ادواتی است به نام شبیه‌ساز ماهواره GPS[1]. این ادوات سیگنال‌هایی مانند سیگنال‌های ماهواره‌های GPS تولید می‌کنند. می‌توان اطلاعات غلط در آنها قرار داد و سیگنال آن را در فضای آزاد انتشار داد. به علت این‌که سطح این سیگنال‌ها از نظر توان از سیگنال دریافتی از ماهواره‌ها بیشتر است، گیرنده GPS سیگنال ارسالی از این ادوات را آشکارسازی می‌کند و به این ترتیب گمراه می‌شود.

این روش گمراه‌سازی مستلزم آن است که تمام اجزای به کار رفته در ماهواره‌های GPS برای تولید سیگنال مورد نیاز دوباره پیاده‌سازی شوند و به همین دلیل ساخت آنها هزینه بسیار بالایی در بردارد. [Hung, 2011,12]. در این مقاله، یک روش جدید برای گمراه‌سازی گیرنده‌های GPS ارائه داده می شود. ایده اصلی این روش گمراه‌سازی تاخیر دادن سیگنال

1- GPS Satellite Simulator

دریافتی از ماهواره‌ها و ارسال مجدد آنها است. نشان داده می شود که این روش نسبت به روش متداول گمراه‌سازی کم هزینه‌تر است. در این مقاله در مورد نحوه پیاده‌سازی این روش و چالش-های آن نیز بحث خواهد شد و صحت عملکرد آن را با شبیه‌سازی مورد تایید قرار داده می شود.

در ادامه نحوه عملکرد سیستم GPS بررسی می گردد. سپس روش گمراه‌سازی پیشنهای خود را تشریح کرده و در ادامه نتایج شبیه‌سازی را ارائه می‌دهیم و در بخش انتهایی این مقاله نیز جمع بندی و نتیجه‌گیری نهایی ارائه می شود.

سیستم GPS

مجموعه‌ای متشکل از ۲۴ ماهواره GPS بطور دائم حول زمین در حال چرخش هستند و سیگنال‌هایی را به تمام سطح زمین مخابراه می‌کنند. مهمترین اطلاعاتی که این ماهواره‌ها مخابره می‌کنند، موقعیت مکان و زمان خود ماهواره‌ها است [M. S. Grewal,2001,34 : E. D. Kaplan,2006,24]. گیرنده‌های GPS که روی زمین قرار دارند، سیگنال‌های تک‌تک ماهواره‌ها را دریافت نموده و پس از آشکارسازی اطلاعات نهفته در آنها، متوجه می‌شوند که ماهواره‌های GPS در چه زمانی و در چه مکانی قرار دارند.

این گیرنده‌ها از روی اطلاعات زمان ماهواره‌ها تاخیر انتشار سیگنال‌های GPS را اندازه‌گیری می‌کنند. با اندازه‌گیری این تاخیر انتشار فاصله ماهواره‌ها از گیرنده مشخص می‌شود. چنانچه گیرنده GPS این اطلاعات یعنی مکان ماهواره و فاصله ماهواره از خود را حداقل برای ۴ ماهواره محاسبه کند، می‌تواند موقعیت خود را با حل دستگاه ۴ معادله ۴ مجهول بدست بیاورد [Hung, 2011,8: Lo, Sherman,2011,42: Seo, Jiwon,2011,63]. این نحوه عملکرد سیستم‌های GPS است. به این ترتیب سیستم GPS یک سیستم یک طرفه است. لازم به ذکر است که جداسازی سیگنال ماهواره‌های مختلف بر اساس تکنیک[1] CDMA انجام می‌گیرد. [A. J. Viterbi, 1995: 8]

روش گمراه‌سازی پیشنهادی

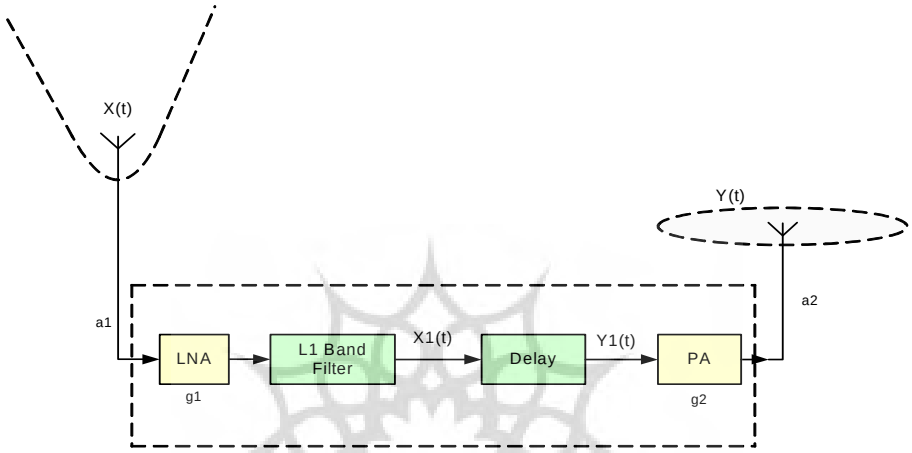
هدف اصلی این روش افزایش خطاهایی نظیر خطای چند مسیره و خطای لایه یونسفر جو ناشی از تاخیر ناخواسته در سیگنال ارسالی از ماهواره‌ها است. برای این‌کار سیگنال دریافتی از ماهواره‌ها پس از اعمال یک تاخیر اضافی دوباره ارسال می‌گردد. گیرنده GPS سیگنال تاخیر یافته را به

1- Code Division Multiple Access

عنوان سیگنال دریافتی از ماهواره‌ها آشکارسازی می‌کند. تاخیر اضافی باعث می‌شود که گیرنده GPS فاصله خود از ماهواره‌ها را به اشتباه تخمین بزند و در نتیجه در محاسبه مکان خود دچار اشتباه گردد و در نهایت گمراه شود. بلوک دیاگرام این روش در شکل (۱) ارائه شده است.

[Lo, Sherman,2011,14: Seo, Jiwon,2011,17]

شکل(۱) بلوک‌دیاگرام روش پیشنهادی برای گمراه‌ساز

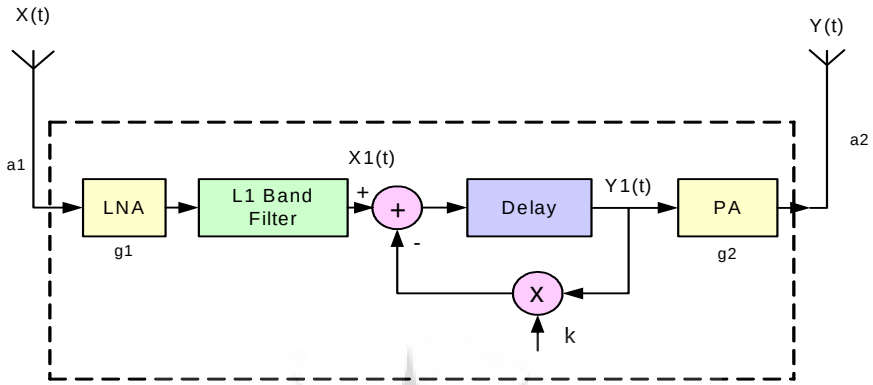


نحوه عملکرد گمراه‌ساز در شکل (۱) تشریح شده است. سیگنال دریافتی از ماهواره‌ها ابتدا توسط آنتن ورودی دریافت و سپس تقویت و فیلتر می‌شود. این سیگنال تاخیر داده شده و دوباره تقویت و ارسال می‌گردد. به این ترتیب سیگنال ارسالی از گمراه‌ساز همان سیگنال دریافتی از ماهواره‌ها است که پس از اعمال تاخیر ارسال شده است.

دو چالش عمده پیاده‌سازی سیستم فوق عبارتند از: پیاده‌سازی تاخیر آنالوگ و ایزولاسیون آنتن‌های ورودی و خروجی. آنتن‌های ورودی و خروجی هر دو در یک فرکانس کار می‌کنند که همان فرکانس سیستم‌های GPS است. بنابراین سیگنال ارسالی می‌تواند روی سیگنال دریافتی تاثیر بگذارد و عملکرد گمراه‌ساز را با اشکال روبرو سازد. برای رفع این مشکل باید آنتن‌ها با پترن‌های مختلف و در جهات مختلف قرار بگیرند تا حتی الامکان ایزوله شوند. مثلا آنتن ورودی می‌تواند به سمت آسمان جهت‌گیری شود در حالی که آنتن خروجی سیگنال را در همه

جهات در سطح زمین پخش می‌کند. یک راه دیگر برای حل این مشکل این است که سیگنال دریافتی از آنتن خروجی را از سیگنال دریافتی از آنتن ورودی کم کنیم. بلوک‌دیاگرام مربوطه در شکل(۲) نمایش داده شده است:

شکل (۲) بلوک‌دیاگرام اصلاح شده گمراه‌ساز



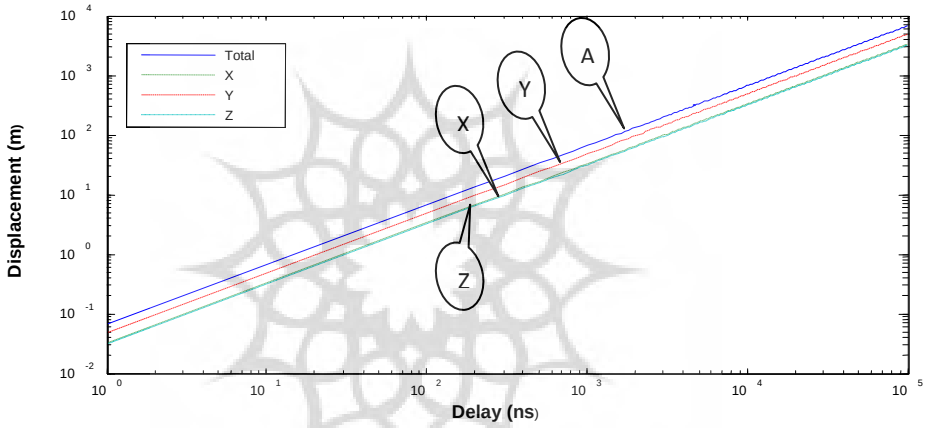
مساله دیگر، پیاده‌سازی تاخیر آنالوگ است. همین ارسال مجدد سیگنال از گمراه‌ساز که در مسیر مستقیم ماهواره به گیرنده GPS قرار ندارد، باعث می‌شود که سیگنالی که به گیرنده GPS می‌رسد، به علت طی کردن مسیر غیر مستقیم، با تاخیر بیشتری به گیرنده برسد در نتیجه گیرنده فاصله خود از ماهواره را به اشتباه بیشتر از مقدار حقیقی تخمین بزند و همانطور که در ادامه خواهیم دید، چنانچه گمراه‌سازی در حد چند ده متر (فاصله مقدار محاسبه شده با مقدار حقیقی) مورد انتظار باشد، همین مقدار تاخیر کافی خواهد بود و نیازی به پیاده‌سازی تاخیر آنالوگ نیست اما چنانچه مقدار بیشتری گمراه‌سازی لازم باشد، می‌توان تاخیر آنالوگ را به روش‌هایی نظیر تبدیل سیگنال به حوزه نوری و استفاده از کلاف فیبر نوری و سپس تبدیل مجدد سیگنال به حوزه الکتریکی استفاده کرد.

نتایج شبیه‌سازی

شبیه‌سازی‌ها در نرم افزار MATLAB انجام شده است. برای بررسی نحوه عملکرد گمراه‌ساز، یک‌بار مکان اصلی شیئ با فرض در اختیار داشتن سیگنال‌های خود ماهواره‌ها محاسبه می‌شود و یک‌بار مکان شیئ با در اختیار داشتن سیگنال‌های تاخیر یافته محاسبه می‌گردد و اختلاف نتایج

معرف نحوه عملکرد گمراه‌کننده خواهد بود. شکل (۳) میزان اختلاف محل حقیقی و محل اشتباه را بر حسب میزان تاخیر گمراه‌کننده نشان می‌دهد.

برای رسم این نمودار یک نقطه نوعی روی کره زمین و چهار ماهواره در چهار نقطه نوعی ثابت در نظر گرفته شده اند. در شکل (۳) خط آبی رنگ(A) معرف مقدار کل اختلاف مکان است و سه خط دیگر هر یک معرف میزان اختلاف در یکی از راستاهای مختصات دستگاه ECEF [1] هستند. همانطور که انتظار داریم با افزایش دادن تاخیر میزان اشتباه مکان (اختلاف مکان با مکان اصلی) بیشتر می‌شود. با توجه به این نمودار در مورد نحوه ارتباط تاخیر اعمال شده و اختلاف مکان بدست آمده، هم احساسی بدست می‌آوریم. مثلا با ایجاد 100ns تاخیر می‌توان انتظار داشت که به اختلاف مکانی حدود ۱۰ متر رسید.

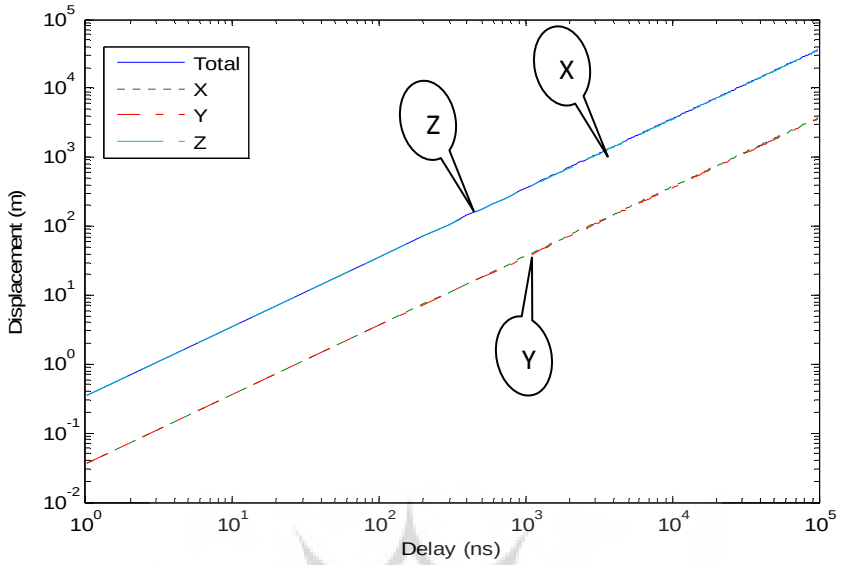


شکل (۳) میزان اختلاف محل حقیقی و محل اشتباه بر حسب میزان تاخیر گمراه‌کننده.

در شکل (۳) میزان اختلاف مکان در راستاهای x و y و z تقریبا برابر است اما این مساله همواره این گونه نیست و بستگی به موقعیت نسبی ماهواره ها و نقطه دارد. شکل (۴) همان نمودار شکل (۳) را برای یک نقطه دیگر نشان می‌دهد:

1- Earth Centered Earth Fixed

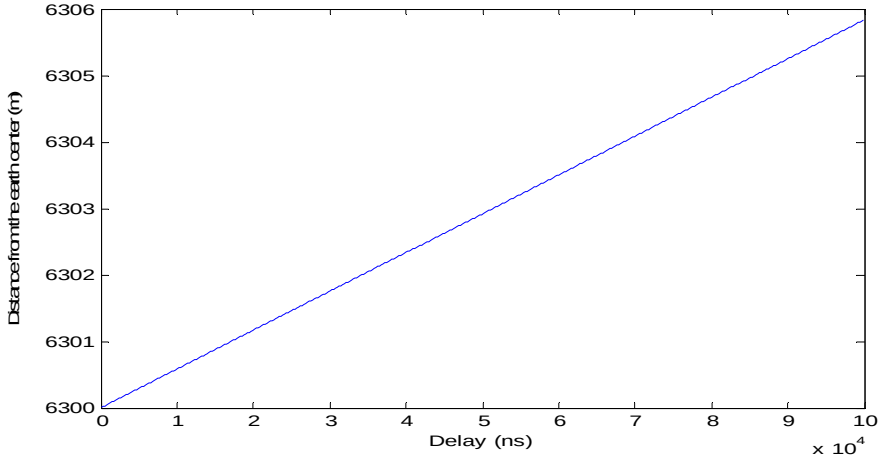
شکل (۴) میزان اختلاف محل حقیقی و محل اشتباه بر حسب میزان تاخیر گمراه‌کننده در حالت توزیع نامتوازن جهات



همان‌طور که دیده می‌شود، در این حالت تقریبا تمام اختلاف در راستای z ایجاد شده است و در راستای x و y اختلاف مکان بین نقطه واقعی و نقطه مجازی کمتر است.

شکل (۵) فاصله از مرکز زمین را بر حسب تاخیر اعمال شده نشان می‌دهد. با توجه به شکل به نظر می‌رسد که با افزایش دادن تاخیر فاصله از مرکز زمین نیز افزایش می‌یابد که به این معنا است که جسم از زمین دور می‌گردد، اما همانطور که در نمودارهای بعدی خواهیم دید، این مساله برای نقاط مختلف یکسان نیست و در حالیکه اعمال تاخیر ممکن است برای یک نقطه باعث زیاد شدن ارتفاع نقطه محاسبه شده شود، برای یک نقطه دیگر ممکن است باعث کاهش ارتفاع آن گردد. دقت شود که شعاع کره زمین در این شکل برابر مقدار تقریبی 6300Km در نظر گرفته شده است.

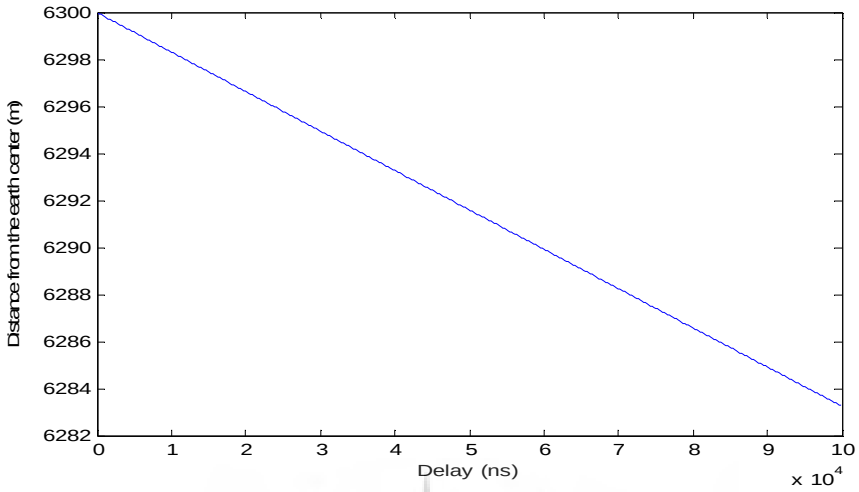
شکل (۵) مقدار عمق (فاصله از مرکززمین) بر حسب میزان تاخیر گمراه‌کننده



شکل (۶) همان دیاگرام شکل (۵) را برای یک نقطه دیگر نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، با افزایش تاخیر، فاصله از مرکز زمین کم می‌گردد و نقطه نسبت به زمین نزدیکتر از مقدار حقیقی‌اش به نظر می‌رسد.

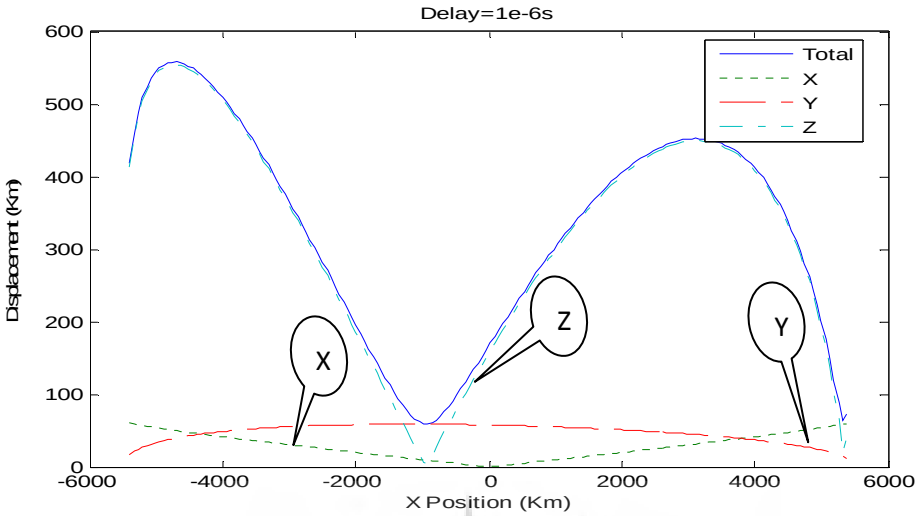
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل (۶) مقدار عمق (فاصله از مرکززمین) بر حسب میزان تاخیر گمراه‌کننده وقتی که با افزایش تاخیر کاهش می‌یابد



شکل (۷) میزان اختلاف مکان را بر حسب مکان نقطه(به جای میزان تاخیر) نشان می‌دهد. نقطه حول دایره‌ای حرکت داده می‌شود و هربار میزان اختلاف مکان برای یک تاخیر ثابت محاسبه می‌گردد. مرکز دایره روی نقطه (0,0,R/2) در دستگاه ECEF قرار دارد و نقطه حول دایره‌ای موازی با صفحه xy حرکت داده می‌شود و مقدار z آن ثابت است. فرض شده که میزان تاخیر در گمراه‌ساز ثابت و برابر یک میکروثانیه است. شکل (۷) میزان اختلاف مکان را بر حسب موقعیت x نمایش می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، با تغییر محل نقطه، حتی برای یک مقدار ثابت تاخیر، اختلاف مکان محاسبه شده تا چند صد کیلومتر تغییر می‌کند. البته این مساله نباید چندان باعث تعجب باشد و یا به عنوان یک عیب بزرگ تلقی گردد زیرا در شکل زیر عملا محیط یکی از مدارهای کره زمین طی شده است و این مقدار اختلاف برای نقاط دو سوی کره زمین اختلاف چندان بزرگی نیست. به علاوه در شکل (۷) دیده می‌شود که عمده تغییرات مکان در راستای z انجام گرفته و در راستاهای x و y تغییرات کمتر است.

شکل (۷) میزان جابجایی از مقدار حقیقی در جهات مختلف بر حسب موقعیت گیرنده

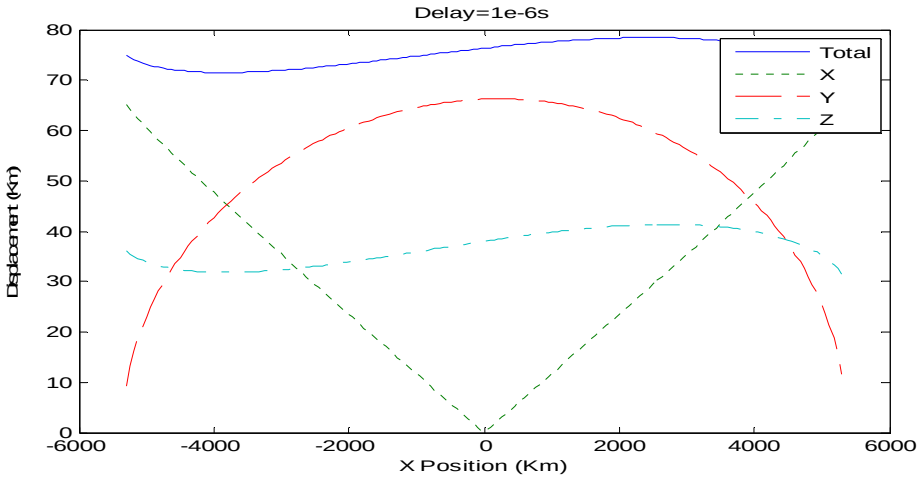


علت این امر موقعیت نسبی ماهواره‌ها و مداری است که روی کره زمین در نظر گرفته شده است و برای سایر موقعیت‌ها، نتایج متفاوتی بدست خواهد آمد.

به عنوان مثال شکل (۸) برای مدار دیگری رسم شده و نتایج نیز متفاوت هستند.

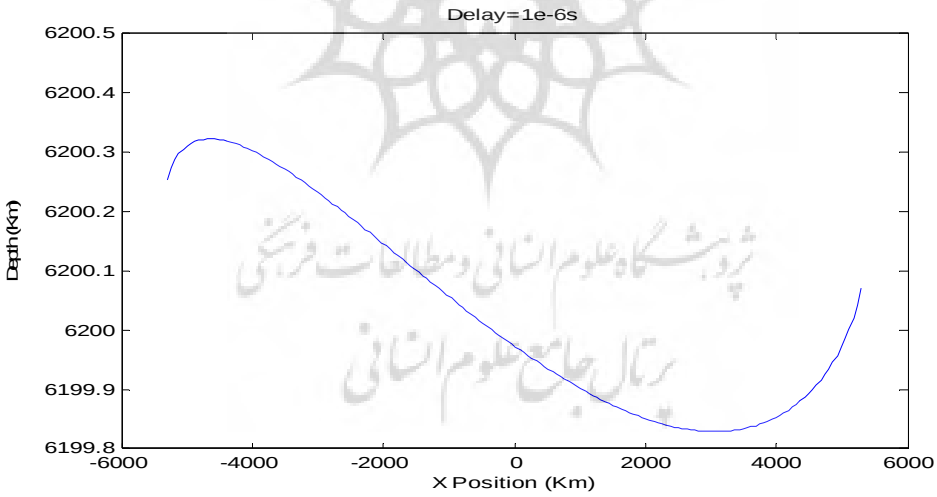
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل (۸) میزان جابجای از مقدار حقیقی در جهات مختلف بر حسب موقعیت گیرنده برای یک مدار دیگر



در شکل (۹) فاصله از مرکز زمین بر حسب موقعیت X برای همان مدار حرکتی فوق رسم شده است. همانطور که دیده می‌شود برای برخی مقادیر X، نقطه به زمین نزدیکتر و برای برخی دورتر شده است.

شکل ۹: فاصله از مرکز زمین بر حسب موقعیت X.



نتیجه‌گیری

نتایج اولیه شبیه‌سازی حاکی از آنند که روش تاخیر تمام سیگنال‌ها می‌تواند سیستم‌های GPS را گمراه کند اما میزان گمراه‌شدگی و اختلاف فاصله بین مکان حقیقی و مکان محاسبه شده به علت گمراه‌سازی، به موقعیت نسبی ماهواره‌ها و نقطه مورد نظر بستگی دارد و قابل تنظیم نیست.

به علاوه مشاهده شد که با افزایش دادن میزان تاخیر، همان‌طور که انتظار می‌رود، میزان اختلاف مکان افزایش می‌یابد و به طور تقریبی تاخیری حدود ns ۱۰۰ می‌تواند تغییر مکانی حدود ۱۰ متر را سبب شود.

بنابراین برای ساخت این گمراه گننده، به ایجاد تاخیرهای آنالوگ خیلی زیادی احتیاج نیست و این نوع پیاده‌سازی این روش را ساده می‌کند زیرا پیاده‌سازی تاخیر آنالوگ کار پیچیده‌ای است. در اغلب موشک‌ها و هواپیماهای جنگنده داده‌های سیستم GPS یکی از مهمترین داده ها برای تعیین موقعیت می‌باشد. اغلب گمراه سازهای موجود باعث اختلال در موقعیت‌یابی شده و سیستم متوجه قابل اطمینان نبودن اطلاعات GPS می گردد. این روش می تواند باعث موقعیت یابی اشتباه توسط سیستم‌های دشمن گردد.

منابع

[1] M. S. Grewal, L. R. Weill, A. P. Andrews, Global Positioning System, Internal Navigation and Integration, John Wiley & Sons, 2001.

[2] E. D. Kaplan, C. J. Hegarty, Understanding GPS, Artech House, 2006.

[3] A. J. Viterbi, Principles of Spread Spectrum Communication, Addison Wesley Publishing Company, 1995.

[4] Heng, Liang, Gao, Grace, Walter, Todd, and Enge, Perv, Statistical Characterization of GPS Signal-In-Space Errors, ION Institute of Navigation International, 2011.

[5] Lo, Sherman, and Enge, Per, Capacity Study of Two Potential Alternative Position Navigation and Timing (APNT) Technologies for Aviation, ION Institute of Navigation International, 2011.

[6] Seo, Jiwon, Walter, Todd, and Enge, Per Correlation of GPS Signal Fades Due to Ionospheric Scintillation for Aviation Applications, Published in Advances in Space Research, 2011.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی