Vol. 11/ No. 3/ Fall 2018

JSST
Journal of Space Science & Technology

Study of the Most Important Applications of Local Positioning System (LPS) In Iran

M. Rezaei[1*], M. Mirzaei[2] and H. Gholamibaei[3]

1. Department of Electrical and Electronics Academic Complex, Malek Ashtar University of Technology

2. Department of Electrical Engineering, Semnan University

3. Department of Aerospace Engineering, Amirkabir University of Technology

[*]Postal Code: 1465774111, Tehran, IRAN

Rezaei_m@mut.ac.ir

Demand for positioning services with proper coverage and high accuracy has been increased rapidly in recent years. A global positioning system solves many users' requirements and presents positioning services with global coverage and proper accuracy. However, satellite-based positioning systems are made and control by Developed countries and their precise location services are rarely available to civilians and other countries. Also, the signals of the satellite systems are fallible and low-power, and are not suitable for closed locations. The use of a local positioning system along with global positioning is one of the programs that governments are urging in the future to enhance the reliability of the positioning, increase coverage of users and reduce the system error. In this research, after introducing local positioning system and its most important applications, its indicators will be compared with international positioning standards and its market in Iran will be analyzed.

Keywords: Positioning system, Local positioning, Positioning standards, Local positioning applications and market

1. Professor (Corresponding Author)
2. M. Sc. Student
3. PhD Student

Received: 2018.01.05 , Accepted: 2018.09.12

JSST
فصلنامهٔ علمی - پژوهشی علوم و فناوری فضایی

جلد ۱۱ / شمارهٔ ۳ / پاییز ۱۳۹۷ (پیاپی ۳۶)
ص. ص . ۴۵- ۳۳

بررسی مهم‌ترین کاربردهای سیستم موقعیت‌یاب محلی (LPS) در کشور ایران

محمد رضایی[۱]، محمد میرزایی[۲] و حمید غلامی‌بایی[۳]

۱- مجتمع دانشگاهی برق، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۲- دانشکده مهندسی برق، دانشگاه سمنان

۳- دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Rezaei_m@mut.ac.ir

در سال‌های اخیر تقاضا برای سرویس‌های مکان‌یابی با پوشش مناسب و دقت بالا به سرعت افزایش یافته است. سیستم‌های مکان‌یابی ماهواره‌ای تقاضای بسیاری از کاربران را رفع می‌کنند و سرویس‌های مکان‌یابی با پوشش جهانی و دقت مناسب ارائه می‌دهند. با این وجود این سیستم‌های مکان‌یابی ماهواره‌ای توسط کشورهای توسعه‌یافته ساخته و کنترل می‌شوند و سرویس‌های مکان‌یابی دقیق آن به ندرت در اختیار کاربران غیرنظامی و سایر کشورها قرار می‌گیرد. همچنین سیگنال سیستم‌های ماهواره‌ای نویزپذیر و کم قدرت بوده و مناسب مکان‌های بسته نیست. استفاده از سیستم موقعیت‌یاب محلی در کنار موقعیت‌یاب جهانی از جمله برنامه‌هایی است که دولت‌ها در آینده نزدیک به منظور افزایش قابلیت اطمینان موقعیت‌یابی، افزایش پوشش کاربران و کاهش خطای سیستم به دنبال آن هستند. در این پژوهش پس از معرفی سیستم‌های موقعیت‌یاب محلی، به مهم‌ترین کاربردهای آن و مقایسه شاخص‌های آن با استانداردهای موقعیت‌یاب بین المللی پرداخته می‌شود و بازار آن در ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: سیستم موقعیت‌یاب، موقعیت‌یاب محلی، استانداردهای موقعیت‌یابی، کاربردها و بازار سیستم موقعیت‌یاب محلی

علائم و اختصارات

سیستم موقعیت‌یاب جهانی	Global Positioning System (GPS)
سیستم موقعیت‌یاب ماهواره‌ای	Differential Global Positioning System (DGPS)
سیستم موقعیت‌یاب محلی	Loacl Positioning System (LPS)
سیستم زمانی هماهنگ جهانی	Coordinated Universal Time (UTC)
سیستم تقویتی هواپیما	Aircraf-Based Augmentation System (ABAS)
سیستم تقویت ماهواره	Satelite-based Augmentation System (SBAS)
سیستم تقویتی زمین‌پایه	Ground-based Augmentation System (GBAS)
سیستم تقویتی زمین‌پایه ناحیه‌ای	Ground-based Regional Augmentation System (GRAS)
سیستم تقویت محلی	Local Area Augmentation System (LAAS)
سیستم روش دقیق فرود ارتش مشترک ایالات متحده	Joint Precision Approach and Landing System (JPALS)

مقدمه

زمانی که تکنولوژی پیشرفته امروزی وجود نداشت، مردم و بخصوص سیاحان گاهی در یک گستره جغرافیایی بخصوص شهرها و

۱. استاد (نویسنده مخاطب)
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد
۳. دانشجوی دکتری

دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۱۵ ، تأیید مقاله ۹۷/۰۶/۲۱

کشورهای بیگانه از مکان دقیق خود باخبر نبودند و حتی گاهی در بیابان‌ها و دریاها مسیر خود را گم می‌کردند. از سوی دیگر استفاده از ستارگان، قطب‌نما و سایر عوامل طبیعی در دنیای قدیم تا اندازه‌ای راهگشای بشر بود. امروزه پیچیدگی‌های جغرافیایی از جمله بافت شهر، خیابان و غیره اصولا زمینه استفاده از این‌گونه روش‌ها را تا حد زیادی منتفی و بی‌معنا کرده و ضرورت استفاده از فناوری‌های مدرن جهت توسعه‌ی مراحل جمع‌آوری، توزیع و کاربردی ساختن اطلاعات جغرافیایی و داده‌های زمین مرجع را نمایان نموده است [۱].

سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) یکی از فناوری‌های مدرن است که توانسته کمک شایانی در پیشبرد بسیاری از کاربردهای موقعیت‌یابی داشته باشد. در ابتدا GPS به عنوان یک سیستم به منظور رفع نیازهای نظامی آمریکا ساخته شد. با این وجود با توجه به کاربرد و نیاز به آن در سایر زمینه‌ها پس از مدتی در اختیار شهروندان عادی قرار گرفت و در حال حاضر هر فرد نظامی یا غیرنظامی قابلیت دسترسی به آن را دارد. با این وجود این سیستم های ماهواره‌ای توسط آمریکا و هم‌پیمانانش ساخته و کنترل می‌شود و سرویس‌های مکان‌یابی دقیق آن به ندرت در اختیار کاربران غیرنظامی و سایر کشورها قرار می‌گیرد. مشکل دیگر GPS به جز تعلق آن به یک کشور خاص، تأخیر زمانی و وجود خطای عمدی با مقادیر مختلف با توجه به کیفیت ارائه خدمات است. علاوه بر مشکلات فوق، عدم پاسخگویی این سیستم به نیازهای کاربران در مکان‌های بسته، داخل ساختمان‌ها، دره‌ها و پوشش‌های جنگلی و همچنین آسیب‌پذیری بالای آن نسبت به حملات و تداخلات عمدی و غیرعمدی از دیگر مسائل قابل توجه است [۱]-[۳].

روش‌های موقعیت‌یابی دیگری بخصوص در موقعیت‌یابی درون ساختمان وجود دارد که از جمله آن می‌توان به سیستم‌های موقعیت‌یاب Bluetooth [۴]، RFID [۵]، شبکه محلی بی‌سیم WLAN [۶]، سنسورهای دیداری [۷]، سیگنال فراصوت [۸]، سیستم مادون قرمز [۹] و غیره اشاره کرد. با وجود اینکه هر یک از این سیستم‌ها مزایا و معایب خود را دارند اما چند عیب اساسی در همه آن‌ها مشترک است. این سیستم‌های موقعیت‌یاب اغلب به نصب ادوات و تجهیزات در محل موردنظر نیاز دارند که برای همه اقشار جامعه مناسب نیست و بسیاری از افراد و سازمان‌ها تمایلی به این سرمایه‌گذاری ندارند. علاوه بر این، محدوده سرویس‌دهی این سیستم‌ها محدوده کوچکی است که اغلب به منظور افزایش دقت درون ساختمان کابرد دارد و نیازهای منطقه‌ای و کشوری را برآورده نمی‌سازد. با توجه به مشکلات سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای و توجه به این که ساخت، راه‌اندازی و کنترل سیستم‌های مکان‌یابی ماهواره‌ای با پوشش جهانی بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر است، کشورهای مختلف برای رفع این مشکل به ساخت سامانه‌های موقعیت‌یابی محلی با محدوده پوشش وسیع روی آورده اند. این سامانه به عنوان یک جایگزین یا پشتیبان برای GPS به خصوص به منظور افزایش دقت و گسترش پوشش آن در مکان‌هایی که GPS (یا نمونه های روسی و اروپایی آن) با مشکل مواجه است، مناسب می‌باشد [۱۰]-[۱۳]. نمونه بارز یک سیستم موقعیت‌یاب محلی پیشرفته با پوشش وسیع را می‌توان eLoran[۴] دانست که نسبت به نسخه قدیمی خود یعنی Loran-C تغییرات مثبت زیادی داشته است [۱۴].

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه بهبود وضعیت سیستم‌های ماهواره‌ای یا ترکیب آن‌ها با سیستم‌های موقعیت‌یاب زمینی در قالب سیستم موقعیت‌یاب ماهواره‌ای تفاضلی (DGPS) و به منظور افزایش دقت، دسترسی و کارایی این سیستم‌ها انجام شده است. مرجع [۱۵] از ترکیب توانایی تمامی سیستم‌های ماهواره‌ای موجود در دنیا برای رسیدن به حداکثر دقت و دسترسی استفاده می‌کند و خدماتی که از این هماهنگی حاصل می‌شود را بیان می‌کند. همچنین ترکیب سیستم موقعیت‌یاب GPS با سیستم موقعیت‌یاب اینرسی در [۱۶] آمده است. در این مرجع با مدل‌سازی انواع خطاها و استفاده از فیلتر کالمن سعی شده به دقت کار موقعیت‌یابی افزوده شود. مرجع [۱۷] به استفاده همزمان از سیستم‌های GPS و LPS به منظور دقت و پوشش بیشتر استفاده کرده است. مرجع [۱۸] از سیستم تفاضلی GPS که به نوعی ترکیب عملکرد سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای و زمینی است به منظور حذف خطاهای سیستم موقعیت‌یاب GPS و رسیدن به دقتی در حد سانتیمتر استفاده کرده است.

اکثر کارهای ارائه شده در زمینه موقعیت‌یابی بر روی مکان‌یابی درون ساختمان و یا افزایش دقت سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای تمرکز دارد. همچنین مطالعات بسیاری به ترکیب سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای و زمینی با نام سیستم DGPS پرداخته است. در این مقاله بیشتر سعی شده بر روی عملکرد مستقل سیستم‌های موقعیت‌یابی زمین‌پایه کار شود و اهمیت اجرای این پروژه در کشور با توجه به کاربردهای مهمی که این سیستم دارد مشخص شود. به گونه‌ای که در صورت قطع یا بروز مشکل در سیگنال سیستم‌های ماهواره‌ای، سیستم مستقل LPS بتواند بدون هیچ مشکلی موقعیت‌یابی را برای حمل و نقل زمینی، هوایی، دریایی یا کاربردهای دیگر موقعیت‌یابی ادامه دهد. همچنین در هیچ یک از کارهای ارائه شده به وضعیت این سیستم و بازار آن در کشور ایران توجه نشده است. بنابراین این مقاله به بررسی وضعیت سیستم‌های موقعیت‌یاب LPS با پوشش وسیع در کشور ایران پرداخته و توانایی این سیستم در برآورده کردن نیازهای موقعیت‌یابی کاربران را مورد بررسی قرار می‌دهد.

4. Enhanced Loran

تاریخچه سیستم‌های LPS

از حدود ۵۰ سال پیش تاکنون، سیستم‌های موقعیت‌یابی توجه محافل تخصصی نظامی را به خود معطوف داشته است. دوره موقعیت‌یابی رادیویی با کشف فرکانس رادیویی آغاز گردید و به سرعت پیشرفت نمود. با آغاز جنگ جهانی دوم و پرواز هواپیماهای جنگنده، معضل فرماندهان جنگ جهت هدایت و کنترل آن‌ها آشکار گردید. از طرفی تردد کشتی‌ها در اقیانوس‌ها نیز انگیزه ابداع یک روش قابل‌اطمینان در تعیین مختصات و ناوبری را برانگیخت. در سال ۱۹۴۲ سیستم موقعیت‌یابی Gee به عنوان اولین سیستم موقعیت‌یابی هایپربولیکی توسط دولت بریتانیا ارائه و پیاده‌سازی شد. سیستم Gee با امواج VHF و با برد حدود ۵۵۰ کیلومتری در جنگ جهانی دوم توسط نیروی هوایی برای موقعیت‌یابی بمب‌افکن‌ها به کار گرفته شد. سیستم Gee الهام‌بخش محققان برای سیستم موقعیت‌یابی هایپربولیکی پیشرفته‌تری مانند Loran شد. در سال ۱۹۴۵ و در خلال جنگ جهانی دوم سیستم Loran-A توسط موسسه ماساچوست آمریکا ابداع شد و توسط نیروهای نظامی آمریکا در حوزه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت [۱۹].

پس از Loran-A نیروی دریایی آمریکا سیستم موقعیت‌یابی Loran-B را ارائه کرد که نسبت به نسخه قبلی‌اش دقت بهتری داشت اما مشکلات فنی مهمی پیدا کرد که سبب شد خیلی زود از مدار خارج شود. سرانجام در سال ۱۹۵۷ آمریکا با تغییراتی که در نسخه‌های قبلی این سیستم ایجاد کرد توانست سامانه پیشرفته‌تر Loran-C را بسازد. این سامانه برد بالاتر و دقت بیشتری نسبت به نسخه‌های قبلی داشت و تا سال ۱۹۷۴ تنها برای استفاده نظامی به کار برده شد. بعد از معرفی ترانزیستورها، لوازم الکترونیک مورد استفاده برای این سیستم به شکل قابل ملاحظه‌ای کوچکتر شدند. همین امر باعث قیمت پایین و کاربری آسان آن مخصوصا در گیرنده‌ها شد و در نهایت از سال ۱۹۷۴ کاربری این سیستم از یک سیستم نظامی صرف خارج شد و برای استفاده عموم عرضه شد. در نهایت سامانه Loran-C یکی از عمومی‌ترین و پرکاربردترین سامانه‌های موقعیت‌یابی در نواحی بسیار وسیعی از جهان شد. در آن دوره کشور شوروی هم توانست سیستمی کاملا مشابه Loran-C ایجاد کند که نام آن را Chayka گذاشت. Loran-C جهت ناوبری و موقعیت‌سنجی هواپیماهای نظامی و شخصی و کلیه کاربران زمینی و دریایی پیش‌بینی شده بود.

همزمان با ساخت سیستم‌های Loran در دهه ۱۹۵۰، سیستم‌های موقعیت‌یابی هایپربولیکی دیگری به نام‌های Decca و Omega در حال توسعه بودند که پس از شروع به بهره‌برداری سال‌های زیادی مورد استفاده قرار گرفتند. سیستم موقعیت‌یابی Decca از سیستم‌های فرکانس پایین بود که بیشتر در نواحی ساحلی مورد استفاده قرار می‌گرفت. سامانه Omega در سال ۱۹۶۸ توسط نیروی دریایی آمریکا و برای ناوبری هواپیماهای نظامی آن نیرو مورد بهره‌برداری قرار گرفت. سامانه فوق با هشت فرستنده تقریبا تمام اقیانوس‌های جهان را تحت پوشش قرار می‌داد. دقت این سامانه در تعیین مختصات در حدود ۲ تا ۴ مایل دریایی بود. از این سامانه اولین بار جهت ناوبری و جابجایی بمب‌های هسته‌ای در قطب شمال در روسیه استفاده شد و پس از موفقیت در این آزمایش، برای ناوبری زیردریایی‌ها نیز مناسب تشخیص داده شد [۱۹].

با آمدن سیستم‌های موقعیت‌یابی ماهواره‌ای در دهه ۱۹۹۰ میلادی، سیستم‌های موقعیت‌یابی زمین‌پایه از جمله Loran-C رو به افول رفت و سرانجام در ۳ اوت ۲۰۱۰ تمام سیگنال‌ها توسط گارد ساحلی آمریکا و گارد ساحلی کانادا بسته شد [۲۰]. محدودیت‌هایی که در فرستنده و گیرنده‌های Loran-C وجود داشت سبب شده بود که کارایی این سیستم‌ها برای بسیاری از کاربردها زیر سوال برود و دقت و کارایی لازم را در بسیاری از کاربردهای عصر جدید نداشته باشد. با این وجود قابلیت Loran در کاهش اثر از دست رفتن سیگنال‌های GPS در اثر عوامل مختلف و عدم وابستگی آن به سیستم‌های موقعیت‌یابی ماهواره‌ای سبب شد بیشتر مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد تا به یک سیستم مدرن موقعیت‌یابی، مسیریابی و زمان‌سنجی متناسب با تکنولوژی‌های عصر جدید یعنی eLoran تبدیل شود [۲۱]. eLoran را می‌توان نسل جدید و پیشرفته‌تر سیستم‌های Loran و پاسخگوی نیازهای این دوره دانست. دقت، دسترسی، درستی و پیوستگی این سیستم، قابلیت لازم آن برای کاربردهایی نظیر خلبانی، پهلو گرفتن و مانور کشتی‌ها، مکان‌یابی وسایل نقلیه زمینی، زمان‌سنجی دقیق و غیره را نشان می‌دهد.

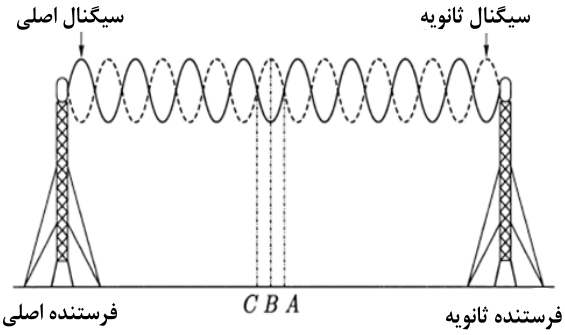
ساختار سیستم LPS

در ادامه روش کار و بخش‌های مختلف این سیستم به‌طور کامل شرح داده می‌شود.

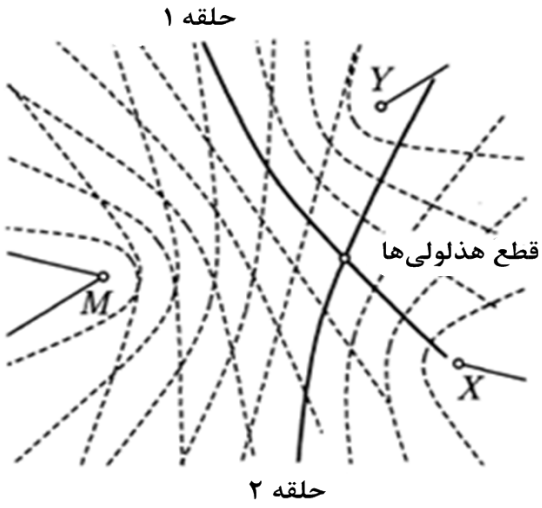
روش کار سیستم LPS

این سیستم‌ها بر پایه بیش از یک فرستنده عمل می‌کنند. فرستنده‌ها دارای قدرتی هستند که محدوده ناحیه تحت پوشش را پشتیبانی می‌کنند. فرستنده‌های متداول که از موقعیت‌یابی هایپربولیکی استفاده می‌کنند حداقل باید دارای ۳ فرستنده برای موقعیت‌یابی دوبعدی باشند. مطابق شکل ۱، دو فرستنده سیگنال پیوسته با فاز یکسان و با ایستگاه‌های اصلی و ثانویه را در نظر بگیرید. در A و C، گیرنده دو سیگنال را دریافت می‌کند و با حرکت از A به C، گیرنده از یک مسیر عبور می‌کند. عرض مسیر متناظر با نصف طول

موج فرکانس فرستاده شده است. مکان حداکثر فاز با B مشخص شده است. یک هذلولی خطی است که تمامی نقاط آن از کانون‌های آن اختلاف ثابتی دارند. بنابراین می‌توان برای تمام گیرنده‌هایی که سیگنال‌هایی از فرستنده‌های اصلی و ثانویه با فاز یکسان دریافت می‌کنند، مطابق شکل ۲، خط موقعیت را رسم کرد. این سیستم‌ها از اصل تفاوت بین زمان دریافت سیگنال‌های هماهنگ شده در طول هر معادله هذلولی ثابت استفاده می‌کنند. روش ناوبری ارائه شده توسط Loran، اندازه‌گیری اختلاف زمانی بین دریافت سیگنال‌ها از یک جفت فرستنده رادیویی با توجه به اختلاف زمان ثابت بین سیگنال‌ها از دو ایستگاه می‌باشد و اگر موقعیت دو ایستگاه هماهنگ شناخته شده هستند، سپس موقعیت گیرنده را می توان به عنوان جایی در معادله هذلولی به ویژه که در آن اختلاف زمان بین سیگنال‌های دریافت ثابت است، تعیین کرد. به این معنی که سیگنال باید حداقل از سه فرستنده Loran دریافت شود (شکل۲) [۲۲].



شکل ۱- دو فرستنده زمین‌پایه به طور پیوسته سیگنال منتشر می‌کنند [۲۲].



شکل ۲- موقعیت به دست آمده از قطع خط موقعیت فرستنده‌ها [۲۲].

اندازه‌گیری اختلاف زمان بین زمان رسیدن یک سیگنال از ثانویه و زمان رسیدن یک سیگنال از فرستنده اصلی، خط موقعیت هذلولی گون مکان گیرنده را تعیین می‌کند. هر اختلاف زمانی محتمل بین یک جفت ایستگاه اصلی و ثانویه، هذلولی مخصوص به خود را دارد. این خطوط موقعیت با مقادیر اختلاف زمانی موردنظرشان در جداول از پیش تعیین شده‌ای درج شده‌اند. اضافه کردن داده‌های اختلاف زمانی رسیدن سیگنال یک ثانویه دیگر با ایستگاه اصلی یک خط موقعیت هذلولی‌گون دیگر و محل قطع دو خط موقعیت هذلولی مکان گیرنده را نشان می‌دهد.

بخش‌های مختلف LPS

یک سیستم موقعیت‌یاب محلی مانند eLoran دارای سه بخش مراکز کنترل، ایستگاه‌های فرستنده و بخش گیرنده کاربر است که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد:

ایستگاه‌های فرستنده

تمامی فرستنده‌های eLoran از فرستنده‌های مدرن و تکنولوژی کنترلی استفاده می‌کنند. آن‌ها منابع برق غیرقابل قطعی دارند که این اطمینان را می‌دهند که هیچ خطایی در توان سیگنال‌های ارسالی به وجود نمی‌آید. شکل ۳ اجزای مختلف فرستنده‌های eLoran را نشان می‌دهد که بخش فرستنده آن شامل ایستگاه و برج فرستنده است. سیستم مرجع زمانی این سیستم از چندین ساعت دقیق سزیمی استفاده می‌کند. فرستنده‌های eLoran با سیستم زمانی هماهنگ جهانی (UTC) همزمان شده‌اند که کاملا از سیستم‌های ماهواره‌ای مستقل است. همزمانی eLoran با مرجع زمانی متداول UTC، به دریافت‌کننده‌ها امکان ترکیب سیگنال سیستم‌های ماهواره‌ای و eLoran را می‌دهد. این فرستنده‌ها فرکانسی در حد ۱۰۰ کیلوهرتز و توانی بین ۲۵۰ تا ۱۲۰۰ کیلووات دارند.

مراکز کنترل و پایش

ایستگاه‌های فرستنده eLoran بدون ملاحظات و تنظیمات خاصی راه‌اندازی می‌شوند. کارمندان معینی در مراکز کنترل مستقر می‌شوند تا به سرعت به خرابی‌ها پاسخ دهند و میزان دسترسی و پیوستگی بالای این سیستم را حفظ کنند و در صورت بروز مشکل، کاربران را از طریق کانال‌های ارتباطی مناسبی مطلع سازند. . دریافت‌کننده-های این ایستگاه‌ها، سیگنال‌های eLoran را پایش کرده و اطلاعات آنی را برای مراکز کنترل ارسال می‌کنند. این ایستگاه‌ها همچنین به حداقل یک ساعت دقیق برای همزمانی با UTC متصل هستند تا تصحیحات زمانی و فرکانسی را انجام دهند. همچنین این ایستگاه‌ها مسئول اصلاحات دیفرانسیلی سیستم eLoran و فرستنده هشدارها در مواقع ضروری به کاربران است.

شکل ۳- اجزای مختلف یک سیستم موقعیت‌یاب محلی

جدول ۱- استانداردهای آمریکا در حمل و نقل هوایی و دریایی [۱۲]

	دقت (متر)	دسترسی	درستی	پیوستگی
استاندارد هوایی FAA	۳۰۷	۰.۹۹۹۹-۰.۹۹۹	۰.۹۹۹۹۹۹۹	۰.۹۹۹۹-۰.۹۹۹ در بیش از ۱۵۰ ثانیه
استاندارد گارد ساحلی آمریکا	۸-۲۰	۰.۹۹۹-۰.۹۹۷	هشدار ۱۰ ثانیه/۲۵ متر خطا	۰.۹۹۹۷-۰.۹۸۵ در بیش از ۳ ساعت

گیرنده

یک گیرنده، وظیفه محاسبه مستمر موقعیت دقیق گیرنده، به حافظه سپردن یک نقطه از نقشه و هدایت گیرنده به آن نقطه، محاسبه جهت حرکت، سرعت و زمان رسیدن به مقصد را بر عهده دارد. گیرنده‌ها اغلب دارای آنتن و پیش‌تقویت‌کننده، گیرنده‌ی رادیویی، بلوک ردیابی سیگنال، واحد ورودی دستورات و واحد نمایش، واحد خروجی و ذخیره داده، منبع تغذیه و پردازنده هستند. گیرنده‌های eLoran در گذشته اندازه بزرگی داشتند اما با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژی محققان اخیراً توانستند به اندازه‌ای به کوچکی ۶۰×۳۰×۸ میلی‌متر دست یابند که قابلیت به کار گیری این سیستم‌ها در انواع کاربردهای موقعیت‌یابی را می‌دهد (شکل ۳). این گیرنده‌های دو کاناله توانی کمتر از ۵۰۰ میلی‌وات و ولتاژ ۳.۳ ولت دارند. همچنین این گیرنده‌ها قابلیت تطبیق با گیرنده‌ی سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای را نیز دارند.

قابلیت سیستم‌های LPS برای رعایت استاندارد موقعیت‌یابی کاربردهای مختلف

سیستم eLoran را می‌توان نسل جدید سیستم‌های Loran دانست. eLoran می‌تواند در کاربردهای هوایی، عملیات فرود و موقعیت‌یابی در مسیرهای هوایی با دقت بالایی استفاده شود. همچنین این سیستم در حمل و نقل دریایی هم کاربرد داشته و می‌تواند در عملیات ورود به بندر کشتی‌ها بسیار کمک‌کننده باشد. از کاربردهای مهم دیگر eLoran می‌توان به استفاده از آن در حمل و نقل زمینی، زمان‌سنجی و فرکانس‌سنجی و سرویس‌های برپایه موقعیت اشاره کرد. اگرچه eLoran استانداردهای لازم برای موقعیت‌یابی را داراست با این وجود این موقعیت‌یابی در راستای افقی انجام می‌شود و از نظر عمودی کمکی نمی‌کند و باید ارتفاع سنجی توسط روش‌ها یا سیستم‌های موقعیت‌یابی ماهواره‌ای انجام شود.

مفهوم جدید موقعیت‌یابی الکترونیکی بر پایه بهبود امنیت و حفاظت از محیط دریاها و البته کاهش هزینه شکل گرفته است. یکی از مهم‌ترین خدمات eLoran، امکان پشتیبانی سیستم‌های موقعیت‌یابی در شرایط نامساعد جوی است که سبب کاهش راهنماهای فیزیکی در دریاها و کاهش هزینه می‌شود. eLoran در ورودی لنگرگاه‌ها بخصوص هنگامی که شرایط جوی دید را محدود کرده و ترافیک کشتی‌ها ریسک برخورد را بالا برده می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد. جدول ۱ برخی استانداردهای بین‌المللی در حوزه‌های حمل و نقل هوایی و دریایی را از نظر دقت، پیوستگی، قابلیت اطمینان و دسترسی نشان می‌دهد [۱۲]. مطابق جدول، eLoran در این حوزه‌ها استانداردهای بین‌المللی را برآورده ساخته است. eLoran در موقعیت‌یابی و ردیابی زمینی نیز به دلیل ایمن بودن در برابر تداخلات از سیگنال‌های GPS بسیر مطمئن‌تر است. به دلیل فرکانس‌های پایین سیگنال‌های eLoran، بسیار سخت است سیگنالی تولید کرد که بیش از ناحیه محلی خیلی کوچکی بتوان در آن تداخل ایجاد کرد. در مقابل ایجاد تداخل در سیگنال‌های GPS حتی در سطح کل یک شهر کار سختی نخواهد بود [۲۳]. برتری دیگر سیگنال‌های eLoran بر روی زمین نفوذ به مکان‌هایی مانند دره‌های عمیق، جنگل‌ها، درون کانتینرهای فلزی کشتی‌ها، خودروهای ترانزیت و انبارهاست که سیگنال‌های GPS قادر به عبور از آن نیستند و از این لحاظ هم در موقعیت‌یابی زمینی بر سیستم GPS برتری دارد.

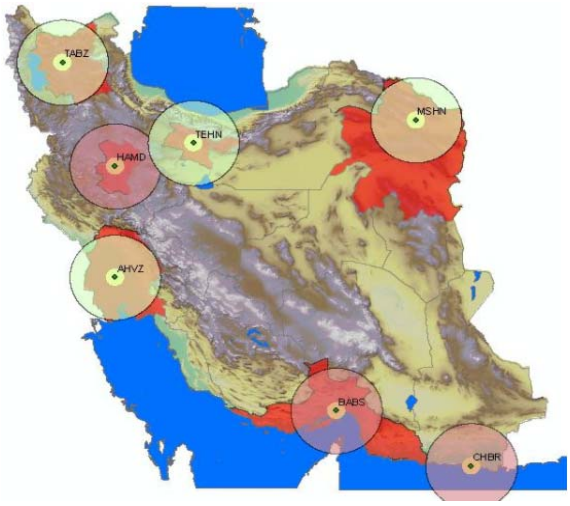
وضعیت کشور ایران در زمینه موقعیت‌یاب محلی

در کشور ایران چندین سامانه DGPS به منظور دقت و دسترسی بهتر سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای ساخته شده است اما سیستم موقعیت‌یاب محلی زمین‌پایه‌ای که به طور مجزا کار کند و بتواند در مواقعی که سیگنال سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای در

دسترس نیست، عملیات موقعیت‌یابی را ادامه دهد، هنوز مورد بهره‌برداری قرار نگرفته است. با توجه به اهمیت چنین سیستمی بخصوص در کاربردهای حیاتی، ساخت آن در دستور کار قرار گرفته و در حال توسعه در کشور ایران است و در سال‌های آتی به بهره‌برداری میرسد. با این وجود به منظور افزایش دقت و دسترسی سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای، چندین سیستم موقعیت‌یاب ترکیبی زمینی و ماهواره‌ای DGPS وجود دارد که می‌توان به سامانه‌های هدی برای موقعیت‌یاب زمینی در کل کشور، سامانه خلیج فارس برای موقعیت‌یابی در دریای خلیج فارس و سامانه سمت برای موقعیت‌یابی در سطح تهران اشاره کرد. در ادامه برخی خصوصیات هریک را بیان می‌کنیم.

سامانه هدی

در کشور ایران برای کاهش خطای سامانه GPS، سامانه ملی هدی و برای داشتن یک سامانه موقعیت‌یاب بومی به گفته وزیر محترم دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، LPS در حال توسعه است. سامانه ملی هدی در سه حوزه زمینی، دریایی و هوایی فعالیت می کند. در سال ۱۳۸۹ اولین مرحله از آن تحت عنوان سامانه ملی هدی در خشکی به بهره برداری رسید. هدف از اجرای این مرحله تولید تصحیحات آنی برای کاربران GPS در سطح خشکی بوده به طوری که قادر به موقعیت‌یابی دقیق لحظه‌ای با دقت تضمین شده باشند. در نتیجه این سامانه ضمن خدمات‌دهی به تعداد زیادی کاربر، دقت مکانیابی را به صورت آنی تا شعاع ۳۰ کیلومتری ایستگاه بالغ بر چند سانتیمتر و تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری آن به حدود یک متر می‌رساند. این میزان بسیار بالای دقت، هم برای فعالیت‌های نظامی، امنیتی، پلیسی و هم برای امور غیرنظامی کاملا کافی است. شکل ۴ برخی از ایستگاه‌های زمینی سامانه هدی در سطح کشور را نشان می‌دهد.



شکل ۴- برخی ایستگاه‌های سامانه ملی هدی

سامانه خلیج فارس

در حوزه دریایی نیز سامانه مشابه‌ای به نام خلیج فارس در حال توسعه است که از تعدادی ایستگاه دائمی و تعدادی ایستگاه موقت بهره خواهد برد. این سامانه نیز برای کمک به پیشرفت سریع‌تر و بهتر در فعالیت های دریایی کشور از پروژه‌های نفت و گاز در دریا گرفته تا کمک به پهلو گرفتن دقیق کشتی‌ها در اسکله و البته کمک به مسیر یابی شناورها و سلاح‌های دریایی کمک شایانی خواهد نمود.

سامانه سمت

این سامانه متشکل از ۶ ایستگاه مرجع دریافت اطلاعات ماهواره‌های تعیین موقعیت، با هندسه بسیار مناسب و فشردگی تعداد ایستگاه بالاست و نخستین سامانه در ایران است که تصحیحات مورد نیاز کاربران را با استفاده از مفهوم شبکه محاسبه و ارسال می‌کند. دقت تعیین موقعیت آنی با سرعت حرکت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت با کمک سامانه سمت در تهران حدود ۸۰ سانتی‌متر تجربه شده است. به عبارتی می‌توان گفت حرکت اشیای متحرک با دقت دسی‌متری و به‌صورت آنلاین قابل دسترس است. بنابراین طرح پرواز یک وسیله پرنده یا طرح حرکت یک وسیله متحرک را که از قبل طراحی شده است، توسط سامانه سمت می‌توان تعقیب کرد. با این قابلیت سامانه می‌تواند به عنوان کنترل‌کننده وسایل بدون راننده مطرح شده و از این طرح‌ها پشتیبانی کند.

برخی از مهم‌ترین کاربردهای LPS

در طول دهه گذشته تعداد کاربردهای سیستم‌های موقعیت‌یابی به طرز چشمگیری افزایش یافته است. احتمالا این امر به دلیل گسترش تکنولوژی‌هایی است که بر پایه سیستم‌های موقعیت‌یابی عمل می‌کنند. برای مثال این روزها، اتومبیل یا گوشی تلفن همراهی که به سیستم موقعیت‌یابی مجهز باشد چیز عجیبی نیست. اگرچه استفاده از سیستم‌های موقعیت‌یابی در تمامی زمینه‌های زمینی، دریایی و هوایی لازم و ضروری است اما اکثر کاربرد آن مربوط به موقعیت‌یابی زمینی است. دقت، دسترسی، درستی و پیوستگی سیستم eLoran، استانداردهای بین‌المللی اکثر کاربردهای مهم موقعیت‌یابی نظیر خلبانی، پهلو گرفتن و مانور کشتی‌ها، مکان‌یابی وسایل نقلیه زمینی، زمان‌سنجی دقیق و غیره را نشان می‌دهد.

موقعیت‌یابی در بخش‌های ساحلی و لنگرگاه‌ها

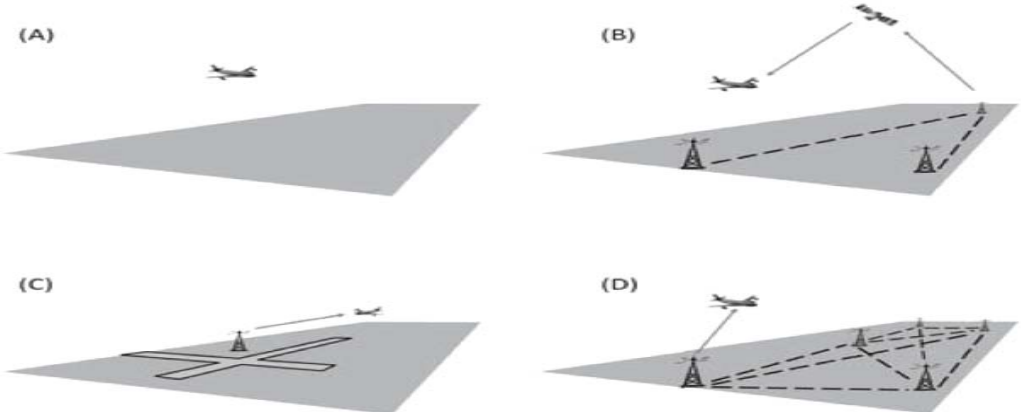
در موقعیت‌یابی دریایی، سیستم‌های موقعیت‌یابی محلی در هر فاز از عملیات کشتیرانی مانند اقیانوس‌ها، ساحل‌ها، لنگرگاه‌ها و مانورهای

دریایی در هر شرایط آب و هوایی به کار می‌روند. در میان این عملیات‌ها برای کشتی، نزدیک شدن به لنگرگاه و لنگرگیری دقیق بخصوص در شرایط آب و هوایی نامناسب و با دید کم از بقیه عملیات‌ها سخت‌تر است. برای حل این مشکل به کارگیری سیستم‌های موقعیت‌یابی دقیق ضروری است. سیستم‌های محلی مانند eLoran توانایی انجام موقعیت‌یابی این عملیات با دقت بالا را دارند.

سیستم‌های موقعیت‌یابی می‌توانند در پهلو گرفتن و قرار گرفتن کشتی‌های بزرگ در کنار یکدیگر در لنگرگاه‌ها بسیار کمک‌کننده باشند. علاوه بر مکان پهلو گرفتن، وضعیت و زوایه قرارگیری کشتی‌ها در ساحل و در کنار کشتی‌های دیگر اهمیت دارد بنابراین کشتی‌ها به منظور جهت‌گیری درست و مناسب چندین گیرنده در اطراف خود قرار می‌دهند. با افزایش روزافزون صنعت کشتی‌رانی و افزایش ترافیک دریایی به کار گیری کشتی‌های سریعتر و بزرگتر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که سبب می‌شود حساسیت، دقت و قابلیت اطمینان سیستم موقعیت‌یابی به خصوص هنگام ورود به لنگرگاه بدون دید کافی و در ساعات شلوغ بسیار بیشتر شود.

عملیات فرود در هواپیماها

وجود تکنولوژی‌های موقعیت‌یابی مطمئن و با دقت یکی از شرایط اساسی برای فرود مطمئن هواپیماها تحت شرایط با دید محدود است. چهار دسته از سیستم‌های تقویتی مورد تایید سیستم هوایی است. مطابق شکل ۵ این دسته‌ها شامل سیستم تقویتی هواپیما (ABAS)، سیستم تقویتی ماهواره‌ای (SBAS)، سیستم تقویتی زمین‌پایه (GBAS) و ساختار ترکیبی سیستم تقویتی زمین‌پایه ناحیه‌ای (GRAS) می‌شود [۲۴]. در این مقاله سیستم‌هایی ارزیابی می‌شوند که از موقعیت‌یابی زمین‌پایه استفاده می‌کنند.



شکل ۵- چهار نوع سیستم تقویتی فرود دقیق ABAS(a، SBAS(b، GBAS(c، GRAS(d [۲۴].

سیستم GBAS برای حذف اطلاعات نادرست از شبکه‌ای از فرستنده‌های زمین‌پایه در محدوده کوچکی در حدود چند صد متر در نواحی حساس استفاده می‌کند. این سیستم‌ها مانند سیستم تقویت محلی (LAAS) و سیستم روش دقیق فرود ارتش مشترک ایالات متحده (JPALS)، به دنبال حمایت از کاربردهای هوایی دقیق در محدوده خاصی (زیر ۶۰ کیلومتر) نظیر باند فرود هستند. در GBAS، هشدارها و تصحیحات دیفرانسیلی توسط یک فرستنده زمینی پخش می‌شود. اگرچه پیام GBAS در محدوده کوچکتری منتشر می‌شود اما کاربران آن از مزیت نزدیکی به آنتن بهره می‌برند. در مسافت‌های کوتاه، تصحیحات دیفرانسیلی با دقت بیشتری که ارائه می‌دهند سبب حذف موثرتر انواع منابع خطای سیستم می‌شوند. با توجه به ساختار ساده‌تری که فرستنده‌های GBAS نسبت به سایرین با ارتباط VHF به جای ارتباط ماهواره‌ای دارند، تاخیر ارتباطی کمتری هم در سیستم‌های GBAS به چشم می‌خورد. زمان هشدار که عامل مهمی در کاربردهای دقیق مانند عملیات‌های فرود با دید کم است، در این سیستم بسیار کوتاه‌تر است.

پشتیبانی و بهبود دقت سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای

اعتماد کامل بر سیستم‌های موقعیت‌یابی ماهواره‌ای، آسیب‌پذیری جدی بر سیستم‌های ناوبری و موقعیت‌یابی وارد می‌کند. در بخش نظامی مدت‌ها اثبات شده است که سیگنال سیستم‌های ماهواره‌ای در مقابل سیگنال‌های پارازیتی که از طرف دشمن پخش می‌شوند، به مراقبت و پشتیبانی بالایی نیاز دارند. آسیب‌پذیری سیستم‌های موقعیت‌یابی ماهواره‌ای در مقابل پارازیت‌های عمدی و غیرعمدی اولین بار توسط بخش مطالعات Volpe در سال ۲۰۰۱ مطرح شد. نمونه‌هایی از مداخلات سیگنالی غیرعمدی در خلیج منتری کالیفرنیا در سال ۲۰۰۱ مشاهده شد که در اثر فعالیت دریافت‌کننده‌های تلویزیونی ساحلی برای چندین ماه سیگنال‌های GPS دچار مشکل

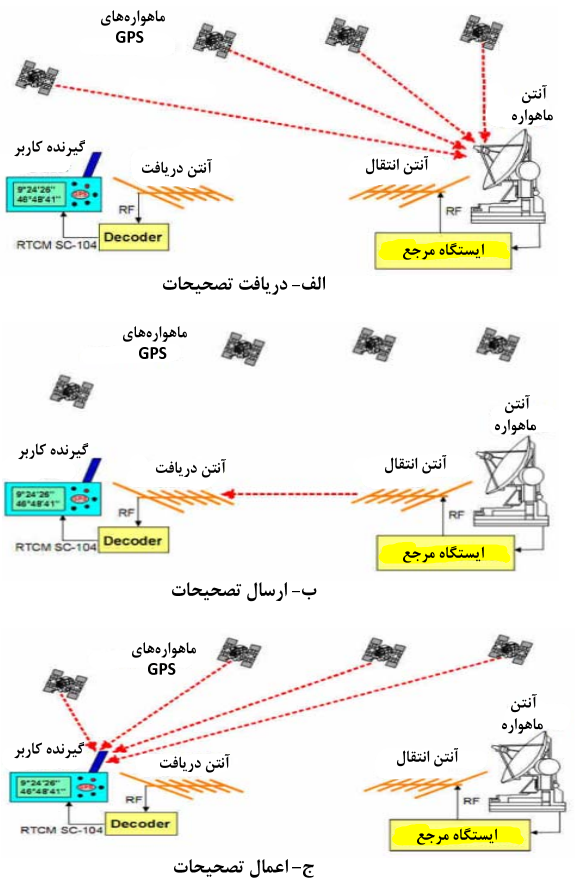
شده بود. همچنین در سال ۲۰۰۷ مناطقی از سان دیگو در حین یک عملیات کوچک نیروی دریایی، سیگنال‌های GPS بسته شد [۲۵].

در چنین موقعیت‌هایی که به طور عمدی یا غیر عمدی سیگنال‌های GPS از مدار موقعیت‌یابی خارج می‌شوند، استفاده از سیستم‌های موقعیت‌یابی مستقل زمین‌پایه با قابلیت‌اطمینان بالا مانند eLoran بسیار کمک‌کننده خواهد بود. این سیستم در تمامی بخش‌های فرستنده، کنترل و گیرنده کاملا مجزا و مستقل از سیستم‌های ماهواره‌ای بوده و در صورت بروز مشکل در سیگنال GPS می‌تواند جایگزین آن باشد و بدون هیچ مشکلی موقعیت‌یابی را ادامه دهد. تنها کافی است دستگاه ما گیرنده eLoran یا گیرنده تطبیقی آن با GPS را در خود داشته باشد. پشتیبانی eLoran از GPS از دید رفع نیاز کاربردهای حیاتی بسیار ضروری است زیرا این سیستم‌ها حالت‌های خطا و خرابی مستقل و مکمل هم دارند.

در کنار عملکرد مستقل eLoran، عملکرد ترکیبی آن در کنار GPS هم مزایای بسیار زیادی دارد. چنین ترکیبی اگرچه آسیب‌پذیری سیستم‌های ماهواره‌ای را به همراه دارد و با قطع سیگنال ماهواره‌ای از کار می‌افتد اما سبب بهبود قابلیت‌های GPS بخصوص در دقت و دسترسی بیشتر می‌شود. اولین انگیزه برای استفاده از سیستم‌های زمین‌پایه مانند eLoran در کنار GPS، وجود محدودیت‌های این دو سیستم موقعیت‌یابی است. یکی از دلایل دیگر این ترکیب را می‌توان دقت تکرارپذیر بهتر eLoran در کنار دقت غیرتکرارپذیر بهتر GPS دانست. همچنین ضعف GPS در عدم موقعیت‌یابی مناطقی که دور از دید مستقیم ماهواره‌هایش قرار دارد و ضعیف بودن سیگنال‌هایش برای عبور از محیط‌های درونی ساختمان‌ها از دیگر دلایل استفاده از سیستم‌های زمین‌پایه در کنار GPS است. با این وجود این یکپارچگی باید با دید باز انجام شود تا خطر تاثیر مخرب بر یکدیگر وجود نداشته باشد.

از نظر تئوری، سطح قابل دست‌یابی دقت براساس فرآیندهای موجود تقریبا ۱۰ تا ۲۰ متر بیان شده است. برای کارهای نقشه‌برداری که به دقت سانتیمتری نیاز دارد و برای کارهای ناوبری، دقت باید افزایش یابد. صنعت راه‌حل مناسب و قابل‌اعتمادی برای حل این مسئله یافته است که از آن به عنوان GPS تفاضلی یا DGPS یاد می‌شود. اثرات یونسفر عامل مستقیم ایجاد داده‌های اشتباه است. در DGPS، در حال حاضر یک تکنولوژی در دسترس قرار دارد که می‌تواند بیشتر این خطاها را حذف کند و کاهش دهد. با استفاده از سیستم DGPS هر نوع انحراف در موقعیت را می‌توان ارسال و مخابره کرد و با این تصحیحات می‌توان به دقتی در حد چند میلی‌متر رسید. این انحراف در شعاع ۲۰۰ کیلومتری ایستگاه مرجع برای گیرنده‌های GPS مناسب است. دو نوع پردازش در DGPS می‌تواند استفاده شود. اولی بر اساس اندازه‌گیری زمان انتقال سیگنال است. که دقتی در حد یک متر دارد. دیگری براساس اندازه‌گیری فاز سیگنال حامل است که دقتی در حد یک سانتیمتر دارد.

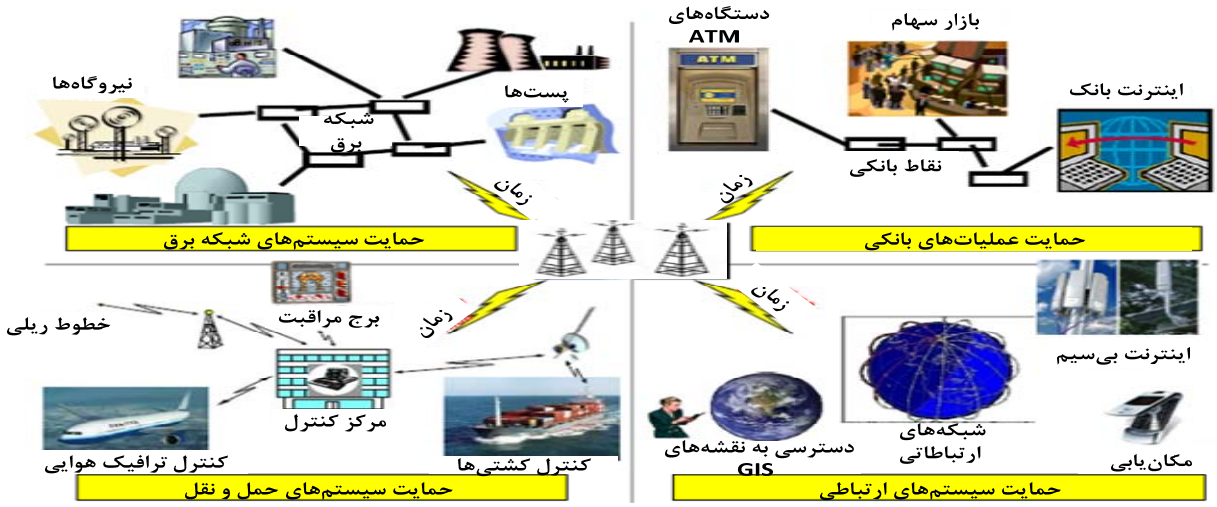
عملکرد DGPS بسیار ساده است و مطابق شکل ۶ دارای مراحل زیر است. DGPS از دو گیرنده تشکیل شده است که یکی از آن‌ها ثابت و مرجع است و دیگری همان گیرنده‌ای است که در دست شماست. چون موقعیت دقیق ایستگاه مرجع مشخص است، DGPS پس از دریافت موقعیت از ماهواره‌های GPS توسط ایستگاه مرجع این امکان را به رایانه می‌دهند تا مقدار خطایی که از طرق مختلف ایجاد می‌شود را محاسبه کند (شکل ۶-الف). سایت DGPS به یک فرستنده رادیویی نیز مجهز است که به محض محاسبه مقدار خطا در رایانه، فرستنده شروع به پخش اطلاعات می‌کند. این فرستنده در واقع برج‌های سیستم‌های موقعیت‌یاب زمین‌پایه‌اند که محدوده وسیعی از کاربران را پوشش داده و تصحیحات را برای آن‌ها ارسال می‌کنند. DGPS با سرعت و در همان لحظه اطلاعات اصلاحی را به‌طور پیوسته و مداوم در دسترس کاربر قرار می‌دهد (شکل ۶-ب). با توجه به اینکه مقدار خطا در گیرنده ایستگاه مرجع با مقدار خطای گیرنده کاربران اطراف ایستگاه مرجع تقریبا یکسان است، می‌توان با اعمال تصحیحات به دقت‌های بسیار بالایی دست یافت. شما می‌توانید با گیرنده DGPS سیگنال‌های تصحیح شده را دریافت و موقعیت خود را بیابید (شکل ۶-ج).



شکل ۶- مراحل عملکرد سیستم DGPS

زمان‌سنجی

اگرچه سیستم‌های موقعیت‌یابی با کاربردهایی نظیر راهبری، تعیین مسیر، تهیه نقشه شناخته شده‌اند اما در تعیین زمان دقیق و فرکانس نیز استفاده می‌شوند. این سیستم‌ها می‌توانند عمل هماهنگ‌سازی ساعت‌ها را بسیار آسان و دقیق و مطمئن کنند. با قرار دادن ساعت های دقیق در فرستنده‌های سیستم‌های موقعیت‌یابی و با وجود هماهنگی فرستنده‌ها و گیرنده‌ها، می‌توان گفت که در واقع هر گیرنده به‌تنهایی دارای یک ساعت فوق‌العاده دقیق است. در اینجا منظور از زمان‌سنجی، ایجاد مرجع زمانی درست و مناسب در زمان، فرکانس و تولید سیگنال مناسبی برای زمان روز است. همزمانی میان مکان‌های مختلف در نقاط مختلف جغرافیایی برای بسیاری از صنایع و کاربردها حائز اهمیت است. صنایع ارتباطات بی‌سیم و با سیم، حمل و نقل و خرید، بانکداری و تراکنش‌های مالی، سیستم‌های انتقال و توزیع برق، شبکه‌های کامپوتری، سرویس-های امداد و نجات و سیستم امنیت ملی از جمله مراکزی هستند که به همزمانی دقیق نیازمندند. ایجاد همزمانی با دقت بسیار بالا بین مراکز فوق کار ساده‌ای نیست و به استفاده از آخرین تکنولوژی‌های روز و سرمایه‌گذاری نیاز دارد [۲۶]–[۲۸]. شکل ۷ انواع کاربردها در چهار دسته مهم کاربردهای زمان‌سنجی را نشان می‌دهد.



شکل ۷- دسته‌بندی کاربردهای مختلف زمان‌سنجی [۲۷]

سیستم eLoran به عنوان بروزترین سیستم موقعیت‌یابی زمین‌پایه دارای دقت بالایی در زمینه زمان‌سنجی است که تقریبا برای همه کاربردهای مهم که در جدول ۲ لیست شده‌اند مناسب است. این سیستم با به کار گیری سه ساعت اتمی سزیمی در مکان هر فرستنده به دقت زمان‌سنجی ۵۰ نانوثانیه برای کاربردهای مختلف دست یافته است. از چالش‌های زمان‌سنجی با GPS این است که آنتن‌های گیرنده حتما باید در محیط باز باشند تا سیگنال‌های آن بلوکه نشوند. همچنین به دلیل قدرت کم سیگنال‌های ماهواره‌ای امکان دریافت آن‌ها در محیط‌های نامناسب توسط گیرنده کم بوده و تخریب سیگنال در اثر نویزها بالاست. اما گیرنده‌های eLoran امکان زمان‌سنجی در محیط‌های بسته را نیز دارند و با قدرت سیگنال بالایی که دارند در مقابل نویز مقاوم‌تر اند. با وجود چنین ویژگی‌هایی می‌توان گفت این سیستم قابل اعتمادتر بوده و برای چنین کاربردی یکی از دقیق‌ترین راه‌حل‌هاست.

جدول ۲- استانداردهای آمریکا در حمل و نقل هوایی و دریایی [۲۸]

کاربرد	دقت موردنیاز	کاربرد	دقت موردنیاز
ارتباطات	نانوثانیه	**اکتشاف گاز و نفت**	میکروثانیه
خدمات اضطراری	نانوثانیه	**هسته ای**	۱ میکروثانیه
IT	۲۰-۱۰۰ نانوثانیه	**سدسازی**	۱ میکروثانیه
بانکداری	میلی ثانیه و میکروثانیه	**بخش شیمی**	میکروثانیه
توزیع انرژی الکتریکی	۱-۵ میکروثانیه (سنکرونیزم فازورها)	**بخش ابزاردقیق**	میلی ثانیه
صنایع دفاعی	میلی ثانیه	**حمل و نقل**	نانوثانیه(ارتباطات بی سیم)

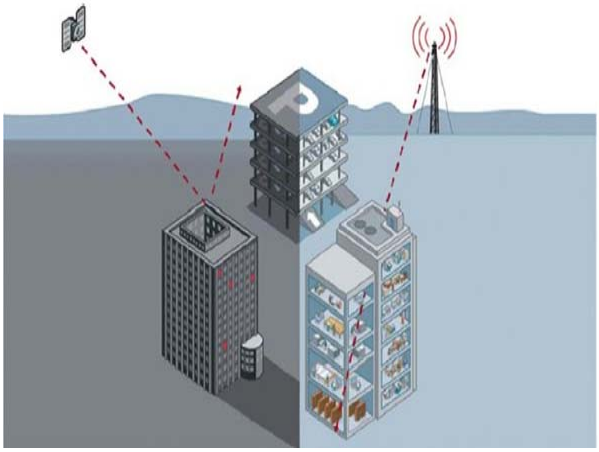
روزانه میلیاردها دلار تبادلات بانکی به سرعت در حال انجام است و این امر سبب می‌شود که در هر ثانیه میلیون‌ها پیام مالی تولید و پردازش و ثبت شود. برای سیستم‌های مالی زمان حال با ۱۰۰ میکروثانیه قبلی متفاوت است زیرا در این مدت مقدار زیادی پول از حسابی به حساب دیگر منتقل می‌شود. زمان‌سنجی با دقت بالا در سیستم ارتباطات برای پوشش نرخ بیت و حداکثرسازی استفاده از پهنای باند موجود به منظور استفاده از حداکثر ظرفیت شبکه ضروری است. از دست دادن همزمانی در شبکه سبب از دست دادن اطلاعات، نامطمئن شدن سیستم، کاهش ظرفیت شبکه یا در مواردی سبب قطع کامل آن می‌شود تحقیقاتی که در سال ۲۰۰۲ صورت گرفته نشان می‌دهد که حدود ۱۰ درصد از قطع شدن‌های شبکه‌های ارتباطی در اثر از دست دادن همزمانی بوده است. بنابراین وجود یک سیستم مناسب، مستقل و دقیق مثل سیستم eLoran به منظور همزمانی ضروری است.

ردگیری اموال، کالاها و محموله‌ها

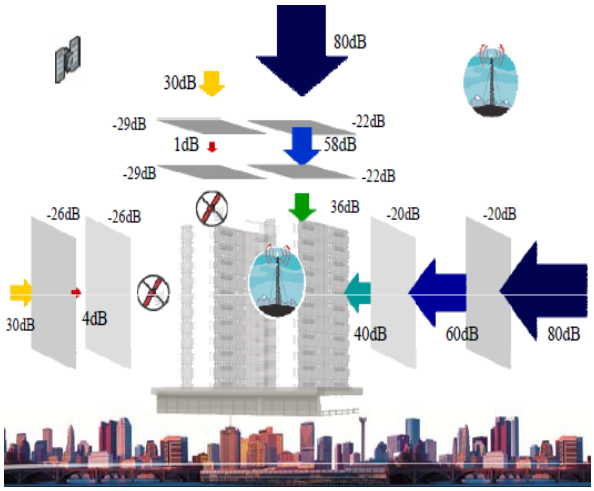
ردگیری اموال به صورت آنی و غیرآنی یکی از کاربردهای مهم سیستم‌های موقعیت‌یابی و ردگیری است که همواره مورد توجه تاجران و مسئولین بوده است. به طور کلی این کاربرد از امنیت تجارت دفاع می‌کند و در برخی موارد برای کالاهای مهم و با ارزش و یا محموله‌های خطرناک اهمیت ویژه‌ای میابد. همچنین در ردیابی خودروهای امنیتی و محموله‌های نظامی کاربرد دارد. در تمامی کاربردهای بیان شده معضل عدم سیگنال‌دهی سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای وجود دارد. با توجه به اینکه گاهی محموله‌ها در طول کل مسیر جابجایی یا نگهداری در مکان‌های بسته قرار دارند استفاده از این سیستم‌های موقعیت‌یاب توصیه نمی‌شود. البته در برخی موارد استفاده از آنتن‌هایی با دید باز به محیط بیرون و فضای باز کمک‌کننده است اما این کار در همه موارد عملی نیست. در خیلی از موارد این احتمال وجود دارد که آنتن‌ها حین عملیات بارگیری یا انتقال آسیب ببینند. سیستم‌های موقعیت‌یابی محلی از محیط‌های بسته عبور می‌کنند، به آنتن‌های خارجی نیاز ندارند و دقت و قابلیت اطمینان بالایی برای چنین کاربردهایی در ردگیری اموال دارند.

LPS در مکان‌یابی درون ساختمان

یکی از چالش‌برانگیزترین جنبه‌های موقعیت‌یابی با GPS، سعی در استفاده از این سیستم در موقعیت‌یابی درون ساختمان بخصوص در محیط‌های شهری است. موارد متعددی برای حل این مشکل ارائه شده است که می‌توان به کار گیری eLoran را یکی از موثرترین روش‌ها دانست. سیگنال‌های تلویزیونی توان خیلی بیشتری در مقایسه با سیگنال‌های GPS در سطح زمین دارند [۲۹]. همچنین به دلیل اینکه سیگنال‌های LPS زمین‌پایه هستند، نوع و میزان موانعی که مانع از عبور سیگنال می‌شود کمتر است که برای سیگنال‌های ماهواره‌ای این سیگنال‌ها باید از سقف‌های ضخیم عبور کنند درحالی که سیگنال‌های تلویزیونی از دیوار و پنجره نفوذ می‌کنند (شکل ۸). مزیت اصلی سیستم موقعیت‌یابی LPS نسبت به سیستم‌های ماهواره‌ای را می‌توان داشتن فرکانس کمتر سیگنال‌های تلویزیونی نسبت به انواع ماهواره‌ای دانست. سیگنال‌های تلویزیونی با قدرت نفوذ بالایی که دارند، با خطای خیلی کمتری از موانع ساختمانی عبور می‌کنند و دقت مطلوب را برای انجام موقعیت‌یابی فراهم می‌کنند. شکل ۹ استفاده از سیستم موقعیت‌یابی زمین‌پایه برای مکان‌یابی درون ساختمان را با سیستم موقعیت‌یابی ماهواره‌ای مورد مقایسه قرار می‌دهد.



شکل ۸- کاربرد سیستم موقعیت‌یاب LPS در مکان‌یابی درون ساختمان [۲۹].



شکل ۹- مقایسه نفوذ سیگنال ماهواره‌ای و تلویزیونی به دورن مکان‌های بسته [۲۹]

بررسی ضرورت به کارگیری LPS و بازار آن در ایران

به منظور جمع‌بندی بخش کاربردهای eLoran، به ضرورت و توانایی این سیستم موقعیت‌یاب در کاربردهای مختلف پرداخته شده و نتایج با سیستم‌های موقعیت‌یاب دیگری از جمله GPS و DGPS مورد مقایسه قرار گرفته است. انتخاب این دو سیستم در این‌جا به دلیل مقبولیت بالای آن‌ها در جهان و دقت مناسبی است که ارائه می‌دهند. دقت زیر ۱۰ متر سیستم GPS و دقت در حد سانتیمتر سیستم‌های DGPS، آن‌ها را گزینه مناسبی برای بسیاری از کاربردهای موقعیت‌یابی کرده است.

بررسی کاربردهایی که LPS برای آن‌ها ضروری یا حیاتی است.

ضرورت به کارگیری سیستم LPS به عنوان پشتیبان یا جایگزین سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای در بسیاری از کاربردها ضروری است. برای مثال سیستم eLoran به عنوان یک سیستم مستقل و مکمل سیستم‌های ماهواره‌ای، برای برخی کاربردهای موقعیت‌یابی هوایی و دریایی حیاتی است و در صورت بروز مشکل برای سیستم‌هایی مانند GPS، این سیستم می‌تواند به عنوان جایگزینی مطمئن، امنیت مسافران هوایی و دریایی را تضمین کند. این امر از آن جهت حیاتی است که سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای بسیار نویزپذیر بوده و در مکان‌های بسته کاربرد نداشته و سیگنال آن‌ها بلوکه خواهد شد. با این وجود در بسیاری از کاربردها وجود سیستم eLoran تنها به منظور بهبود عملکرد سیستم‌های موقعیت‌یابی از دید دسترسی، پیوستگی، دقت و قابلیت اطمینان بیشتر بوده و تنها بهره‌وری را در کاربرد موردنظر افزایش می‌دهد که ما وجود eLoran را در این کاربردها ضروری می‌دانیم.

با توجه به تعریفی که از کاربردهای حیاتی و ضروری از دید امنیت ایران شد، می‌توان برخی کاربردها را برای پوشش آن‌ها توسط LPS در ایران در اولویت قرار داد. در بخش حمل و نقل زمینی، ردیابی و کنترل سرعت خودروهای عمومی و تاکسی‌ها به منظور افزایش کنترل و نظارت، از کاربردهای ضروری این سیستم‌هاست. همچنین موقعیت‌یاب LPS در حمل و نقل ریلی از کاربردهای ضروری در حوزهٔ حمل و نقل زمینی است. در بخش حمل و نقل دریایی، موقعیت‌یاب ساحلی و لنگرگاه‌ها، گارد ساحلی و عملیات امداد و نجات از کاربردهای ضروری و موقعیت‌یابی و مسیریابی در دریاها و اقیانوس‌ها به دلیل حساسیت بالای تامین امنیت مسافران از کاربردهای حیاتی سیستم eLoran محسوب می‌شود. در حمل و نقل هوایی، از عملیات فرود گرفته تا موقعیت‌یابی هواپیماها، بالگردها و پهبادها در آسمان و عملیات امداد و نجات توسط بالگرد همگی به دلیل خطرات پرواز جز کاربردهای حیاتی محسوب می‌شوند. در بخش نظامی، مکان‌یابی در جنگ، عملیات امداد و نجات و ردیابی گشت‌های انتظامی را می‌توان از کاربردهای ضروری و ردیابی اهداف و مهمات و راهنمای موقعیت‌یاب بمب و موشک را می‌توان از کاربردهای حیاتی دانست. یکی از مهم‌ترین کاربردهای eLoran در موقعیت‌یابی داخلی ساختمان‌ها و مکان‌های بسته است که سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای با مشکل مواجه می‌شوند. بنابراین در این حوزه می‌توان زمان‌سنجی و ردگیری اموال، کالاها، محموله‌ها به خصوص در مکان‌های بسته را از کاربردهای ضروری LPS دانست.

بررسی کاربردهایی که LPS برای آن‌ها مناسب نیست.

در مقابل تمامی مزیت‌های سیستم LPS، این سیستم برای موقعیت‌یابی کاربردهایی با دقت زیر ۱ متر مناسب نیست. اگرچه GPS هم چنین دقتی ندارد اما سیستم تفاضلی آن یعنی DGPS می‌تواند دقتی در حد سانتیمتر فراهم کند. با این وجود DGPS هم در مکان‌های بسته کاربرد ندارد. برخی از کاربردهای دقیقی که LPS برای آن‌ها مناسب نیست در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

در بخش حمل و نقل زمینی، موقعیت‌یابی خودروهای بدون راننده دقت بالایی در حد سانتیمتر می‌خواهد تا از تصادف این خودروها با عملکرد دقیق جلوگیری شود. در بخش هوایی این سیستم برای مانورها و عملیات‌های دقیق و حساس و یا دقت بالا مناسب نیستند. کنترل و هدایت ماشین‌آلات دقیق کشاورزی و یا شهرسازی، نقشه‌برداری دقیق بخصوص در مکان‌های کوچک، اکتشاف نفت و گاز، بررسی زمین‌لرزه و کنترل حرکت سازه‌هایی مانند سدها و پل‌ها از جمله کاربردهایی است که به دقتی در حد سانتیمتر و بعضا میلیمتر نیاز دارند که از توانایی سیستم LPS خارج است.

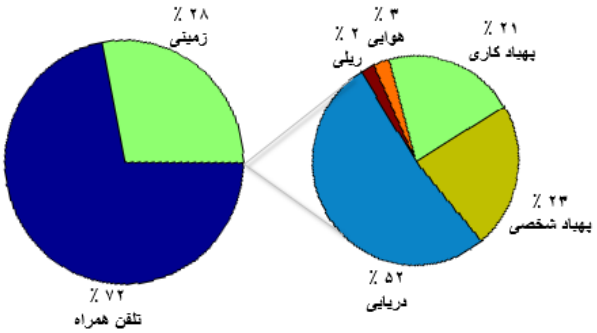
بازار کاربردهای LPS در ایران

با رشد تقاضا برای تعیین موقعیت و گسترش تکنولوژی‌های موقعیت‌یابی، بازار آینده این سیستم‌ها بیش از پیش گسترش یافته است. در این بخش نگاهی جامع به بازار ایران برای سیستم موقعیت‌یاب LPS داریم و عمده‌ترین مشتریان این سیستم‌ها مشخص و آمارگیری شده‌اند. این آمارها که در جدول ۳ مشاهده می‌کنید اغلب از سایت آمار ایران، سایت وزارت‌خانه‌های کشور و سخنان مسئولین دریافت شده و آخرین آمار موجود است. این جدول حجم بازار موجود را در حوزه‌های اصلی و پرتعداد کاربردهای موقعیت‌یاب LPS نشان می‌دهد.

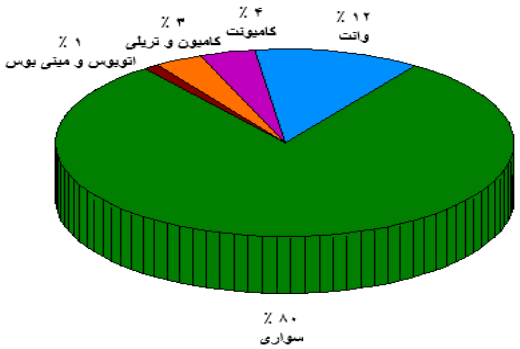
جدول ۳- بازار مصرف سیستم LPS در ایران

کاربرد	بازار مصرف	تعداد
حمل و نقل زمینی	خودرو	۱۹ میلیون
	موتورسیکلت	۱۲ میلیون
حمل و نقل ریلی	لوکوموتیو	۵۱۷
حمل و نقل دریایی	کشتی	۱۷۰
	قایق تفریحی	۱۰۰۰
	قایق ماهیگیری	۱۱۴۹۸
حمل و نقل هوایی	هواپیمای مسافربری	۲۹۴
	هواپیمای شخصی	۳۰۰
	بالگرد امدادی	۲۴
	پهباد شغلی(دولتی)	۵۰۰۰
	پهباد شخصی	+۵۰۰۰
سرویس LBS	مشترک تلفن همراه فعال	۷۵۹۱۴۵۰۶

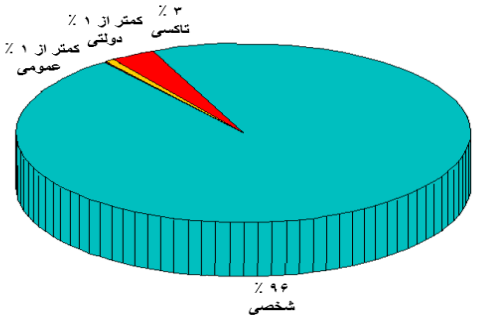
مطابق جدول، تلفن‌های همراه و حمل و نقل زمینی بیشترین بازار سیستم‌های موقعیت‌یابی را در اختیار دارند. اگرچه سهم حمل و نقل دریایی و هوایی در این بازار کمتر است، اما اهمیت حضور سیستم‌های موقعیت‌یاب در این حوزه‌ها به دلیل مسائل امنیتی بسیار بیشتر از حوزه زمینی است. در این جدول محصولات نظامی به دلیل مسائل امنیتی و نبود آمار درست و معتبر در نظر گرفته نشده است. شکل ۱۰ نمودار دایره‌ای بازار ایران را برای کاربرد LPS نشان می‌دهد. مطابق شکل حجم اصلی این بازار در اختیار تلفن‌های همراه با ۷۲ درصد و حمل و نقل زمینی با ۲۸ درصد است. بقیه کاربردها کمتر از یک درصد حجم بازار را دارند. نکته قابل توجه در این بازار ورود پهبادها در بازار کاربردهای LPS است ک هرساله با رشد قابل توجه‌ای همراه است و سهم بیشتری از بازار را در آینده در اختیار خواهد گرفت. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ آمار دسته‌بندی خودروها در حمل و نقل زمینی را به ترتیب از نظر نوع خودرو و نوع کاربرد نشان می‌دهد. مطابق شکل‌ها، اکثر خودروها شخصی و از نوع سواری است که به کارگیری سیستم LPS برای آن‌ها ضرورتی ندارد. در بقیه موارد مانند تاکسی‌ها، خودروهای عمومی و دولتی به کارگیری LPS می‌تواند سبب بهبود امنیت و بهره‌وری شود.



شکل ۱۰- نمودار دایره‌ای حجم بازار LPS در ایران



شکل ۱۱- دسته‌بندی خودروهای حمل و نقل زمینی از نظر نوع خودرو



شکل ۱۲- دسته‌بندی خودروهای حمل و نقل زمینی از نظر نوع کاربرد

نتیجه‌گیری

یکپارچگی سیستم‌ها در نقاط مختلف جهان به طرز چشمگیری عملکرد و بازده سیستم ناوبری را بهبود می‌بخشد. سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای به تنهایی قابل اتکا نیستند و در صورت قطع یا عدم پوشش آن‌ها مشکلات بزرگی در کاربردهای نظامی و غیرنظامی ایجاد می‌شود. سیستم‌های LPS علاوه بر مناطق وسیعی که در سطح محلی و در محیط بیرونی پوشش می‌دهند، برخلاف سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای مانند GPS در محیط‌های داخلی و سربسته نیز کاربرد دارند. خطای عمدی کنترل‌کنندگان سیستم‌های ماهواره‌ای برای کاربران عادی، مناسب برخی

کاربردهای نظامی نیست. سیستم‌های موقعیت‌یاب محلی می‌توانند سبب افزایش دقت سیستم‌های ماهواره‌ای شوند و این توانایی را دارند که در صورت قطع کامل سیستم‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای، کار موقعیت‌یابی را با دقت بالا ادامه دهند. یکی از آخرین فناوری‌ها در عرصه موقعیت‌یابی محلی، سیستم eLoran است که توانسته اغلب استانداردهای بین‌المللی را برآورده سازد. همچنین پس از معرفی کاربردهای اصلی سیستم LPS، ضرورت آن در به کارگیری کاربردهای مختلف از دید امنیت کشور اولویت‌بندی و کاربردهای نامناسب این سیستم معرفی شده است. در پایان کار، بازار این سیستم در کشور ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و آمار تفکیکی آن ارائه شده است.

منابع

[1] M. Nazarifar, *GPS: Principles and applications*. Mehragan Ghalam, 2013.

[2] R. T. Ioannides, T. Pany, and G. Gibbons, "Known vulnerabilities of global navigation satellite systems, status, and potential mitigation techniques," *Proc. IEEE*, vol. 104, no. 6, pp. 1174–1194, 2016.

[3] J. Bhatti and T. E. Humphreys, "Hostile control of ships via false GPS signals: Demonstration and detection," *Navigation*, vol. 64, no. 1, pp. 51–66, 2017.

[4] C. Zhou, J. Yuan, H. Liu, and J. Qiu, "Bluetooth Indoor Positioning Based on RSSI and Kalman Filter," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 96, no. 3, pp. 4115–4130, 2017.

[5] M. Rostamian, J. Wang, and M. Bolić, "An accurate passive rfid indoor localization system based on sense-a-tag and zoning algorithm," in *Ad Hoc Networks*, Springer, 2017, pp. 270–281.

[6] T. Wang, T. Wang, H. Gao, and Y. Li, "Research on Indoor Location Method Based on WLAN Signal Location Fingerprints," in *International Conference on Emerging Internetworking, Data & Web Technologies*, 2018, pp. 828–840.

[7] Z. Zheng, L. Liu, C. Zhao, and W. Hu, "High accuracy indoor positioning scheme using single LED and camera," *Electron. Lett.*, vol. 54, no. 4, pp. 227–229, 2018.

[8] D. Gualda, J. Ureña, J. C. García, E. García, and J. Alcalá, "Simultaneous Calibration and Navigation (SCAN) of Multiple Ultrasonic Local Positioning Systems," *Inf. Fusion*, 2018.

[9] H. Santo, T. Maekawa, and Y. Matsushita, "Device-free and privacy preserving indoor positioning using infrared retro-reflection imaging," in *Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2017 IEEE International Conference on*, 2017, pp. 141–152.

[10] D. S. B. & D. P. Williams, "Navigating eLoran: Challenges and the Way Forward," *Res. Radionavigation, Gen. Light. Authorities United Kingdom Irel.*, 2010.

[11] P. W. J. Safar, F. Vejrazka, "Assessing the Limits of eLoran Positioning Accuracy," *Int. J. Mar. Navig. Saf. Sea Transp.*, 2011.

[12] M. Narins, *The Global Loran / eLoran Infrastructure Evolution: A Robust and Resilient PNT Backup for GNSS*. Federal Aviation Administration, 2014.

[13] C. S. A. Helwig, G. Offermans, C. Stout, "eLoran System Definition and Signal Specification Tutorial," *Int. Loran Assoc.*, 2011.

[14] R. Zekavat and R. M. Buehrer, *Handbook of Position Location: Theory, Practice and Advances*, 1st ed. Wiley-IEEE Press, 2011.

[15] X. Li *et al.*, "Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo," *J. Geod.*, vol. 89, no. 6, pp. 607–635, 2015.

[۱۶] M. A. Rabbou and A. El-Rabbany, "Tightly coupled integration of GPS precise point positioning and MEMS-based inertial systems," *GPS Solut.*, vol. 19, no. 4, pp. 601–609, 2015.

[17] J. L. Awange and B. Paláncz, "LPS-GNSS orientations and vertical deflections," in *Geospatial Algebraic Computations*, Springer, 2016, pp. 245–261.

[18] E. P. Macalalad, L.-C. Tsai, and J. Wu, "Performance evaluation of different ionospheric models in single-frequency code-based differential GPS positioning," *GPS Solut.*, vol. 20, no. 2, pp. 173–185, 2016.

[19] M. W. B. Hofmann-Wellenhof, K. Legat, *Navigation: Principles of Positioning and Guidance*. Springer-V erlag Wien, 2003.

[20] R. J. H. Peter F. Swaszek, *Modernized eLoran: The Case for Completely Changing Chains, Rates, and Phase Codes*. Department of Electrical, Computer, and Biomedical Engineering Faculty Publications, 2016.

[21] D. S. Basker, *The Case for eLORAN*. Research and Radionavigation- General Lighthouse Authorities of the United Kingdom and Ireland, 2006.

[22] D. C. Laurie Tetley, *Electronic Navigation Systems-3rd edition*. Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, 2001.

[23] International Loran Association, "Enhanced Loran (eLoran):Definition Document," 2007.

[24] J. S. Peter Korba, "Aviation Applications for User Segment," *Int. J. Marit. Sci. Technol. Vol.61*, 2014.

[25] V. N. T. S. Center, *Vulnerability assessment of the transportation infrastructure relying on the Global Positioning System*. Washington, D.C, 2001.

[26] A. Roshandel, "The intoduction of mapping system with GPS," *Civ. Eng. students Conf.*, 2005.

[27] C. S. Dr. Arthur Helwig, Dr. Gerard Offermans, Chris Stout, *Design and Performance of a Low Frequency Time and Frequency Dissemination Service*. UrsaNav, 2012.

[28] I. Gerard Offermans, Steve Bartlett, Charles Schue, UrsaNav, "Providing a Resilient Timing and UTC Service Using eLoran in the United States," *John Wiley Sons*, 2016.

[29] J. C. Gabriel Deak , Kevin Curran, "A survey of active and passive indoor localisation systems," *Comput. Commun.*, 2012.