

سیستم ناوبری ماهواره ای GLONASS

و تلفیق آن با سیستم GPS

شبه ماهواره ها (Pseudolite) ساختار، کاربرد و

اثرات آنها در بهبود سرویس GPS

الهام اسماعیلی

دانشگاه فنی مهندسی شیراز

esmaili_e62@yahoo.com

رضا زراعت پیشه

دانشگاه فنی مهندسی شیراز

چکیده:

در این مقاله سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای جهانی GLONASS بطور اجمالی معرفی شده، مشخصات آن با سیستم GPS مقایسه و مبانی و دستاوردهای تلفیق این دو سیستم بررسی و تحلیل گردیده است. همچنین علاوه بر معرفی و ذکر کاربردهای شبه ماهواره ها به بررسی ساختار این سیستمها، انواع آنها محدودیتها و مشکلات در استفاده از آنها اشاره شده است. تأثیرات این سیستم در کنار سیستم در افزایش قابلیت اعتماد و دقت سیستم مکان یابی بررسی می گردد. در پایان پیشنهاداتی جهت استفاده از این سیستمها جهت کاربردهای مختلف ذکر گردیده است.

کلمات کلیدی: سیستم های ناوبری جهانی، GPS، GLONASS، PSEUDOLITE، TRANSCEIVER

۱- مقدمه

امروزه سیستم ناوبری به کمک ماهواره ها (سیستم تعیین موقعیت جهانی) در تمام زمینه ها کاربرد پیدا کرده است، از تعیین موقعیت اجسام پرنده هوایی و فضایی گرفته تا اجسام متحرک زمینی و دریایی، در زمین شناسی و نقشه برداری، در زمان سنجی و از همان زمانی که موقعیت ماهواره ها با روش اندازه گیری فرکانس دوپلری فرستنده ماهواره توسط یک ایستگاه زمینی با موقعیت معلوم محاسبه و تعیین می شد عکس همین مسئله نیز مطرح شد یعنی با اندازه گیری همین اختلاف فرکانس، در صورت معلوم بودن محل ماهواره، بتوان موقعیت یک گیرنده را، که در جای نامعلومی در روی زمین یا بالای آن قرار دارد تعیین کرد. امروزه همه سیستم های تعیین موقعیت جهانی (ماهواره ای) بر همین اساس کار می کنند.

چند سیستم تا کنون در جهان بر این اساس ساخته شده از جمله GPS، GLONASS، GNSS، GALILEO در این بخش جهت آشنایی هر چه بیشتر علاقه مندان و متخصصان به این گونه سیستم ها، سیستم GLONASS که متعلق کشور روسیه است، معرفی و مورد بررسی قرار می گیرد. شبه ماهواره ها (Pseudo-satellite) که اصطلاحاً Pseudolite نامیده می شوند، فرستنده های زمینی می باشند که سیگنالهایی با قالب اطلاعاتی GPS تولید و ارسال می کند و یا صرفاً تکرار کننده سیگنالهای ماهواره های GPS می باشند شبه ماهواره ها جهت افزایش دقت موقعیت یابی و همچنین افزایش دسترس پذیری (Availability) سیگنال GPS مورد استفاده قرار می گیرند.

موارد استفاده شبه ماهواره ها را می توان در چند مورد زیر خلاصه نمود:

۱- تعیین موقعیت بطور مستقیم

۲- انتقال اطلاعات دیجیتال

۳- رفع ابهام فاز حامل

۴- ایستگاه مرجع تفاضلی

۱- معرفی کلی GLONASS

در این فصل ساختار و مشخصات اصلی سیستم ناوبری ماهواره ای GLONASS و زیر سیستم های آن شامل بخش زمینی، بخش ماهواره ها و بخش کاربران معرفی و مورد بررسی قرار می گیرد. GLONASS (Global Navigation Satellite System) یک سیستم موقعیت ماهواره ای جهانی می باشد، که توانایی تعیین پیوسته زمان، مختصات مکانی و بردار سرعت حرکت اجسام پرنده فضایی، هوایی، دریایی و اجسام متحرک زمینی را در کلیه نقاط کره زمین و فضای اطراف آن (تا ارتفاع معینی) دارد. این سیستم متعلق به وزارت دفاع کشور روسیه بوده و از سال ۱۹۹۳ میلادی بطور رسمی فعالیت خود را آغاز کرده است.

تعیین پارامترهای ناوبری کاربران (مختصات، سرعت، و زمان) در GLONASS به صورت اندازه گیری های بدون در خواست شبه فاصله ها و شبه سرعت شعاعی، توسط گیرنده ها، از چهار عدد ماهواره GLONASS (یا سه عدد به شرط وجود اطلاعات تکمیلی) و با کمک پارامترهای ناوبری خود ماهواره انجام می شود.

این سیستم ۲۴ عدد ماهواره است، که در ۳ مدار با زوایای نسبت به هم قرار گرفته اند که در هر نقطه از زمین حداقل ۴ ماهواره قابل رؤیت خواهد بود این ماهواره ها بطور دائمی سیگنالهایی حاوی زمان دقیق، مختصات محلی و پارامترهای دیگر مداری خود را به طرف زمین (به طرف گیرنده ها) ارسال می کنند. مشخصات کلی سیستم GLONASS در جدول (۱) آمده است و مقایسه مشخصات مربوط به سیستم موقعیت یابی GPS (Global Positioning System) نیز در یک ستون دیگر آمده است.

GLONASS از ۳ زیر سیستم تشکیل یافته است: زیر سیستم مداری: شامل ۲۴ ماهواره ناوبری که در مدارها و ارتفاع خاصی به دور زمین می گردند. بخش زمینی: شامل مرکز اصلی هدایت و برنامه ریزی ایستگاههای کنترل ایستگاههای کوانتو اپتیکی، سیستم کنترل فاز، دستگاه کنترل میدان ناوبری و سنکرون کننده مرکزی می باشند. تجهیزات کاربران: شامل گیرنده های GLONASS است که در دست کاربران قرار دارند. گیرنده ها سیگنالهای ماهواره ها را دریافت و پردازش کرده و پارامترهای ناوبری کاربران را در خروجی خود می دهد. در اینجا شرح مختصری در مورد هر زیر سیستم ارائه می شود.

۳- زیر سیستم مداری

بخش مداری شامل یک منظومه ماهواره ای ۲۴ تایی می باشد که در سه مدار دایره ای در هر ۸ ماهواره بطور یکنواخت با اختلاف مکانهای با ارتفاع اسمی ۱۹۱۰۰ کیلومتر قرار گرفته اند. زاویه صفحات مدارها با یکدیگر می باشد. ماهواره ها در مدارهای همسایه نسبت به هم شیفت دارند (شکل ۱) این ترکیب بندی منظومه ای امکان رؤیت حداقل ۴ ماهواره (که حداقل مورد نیاز برای ناوبری است) را فراهم می سازد. البته از ۲۴ عدد ماهواره چند تا اضافه خواهند آمد، که در حالت رزرو قرار دارند. ماهواره ها سیگنالهای خود را که از یک سوپر کادر (رشته سیگنال Frame) متشکل از اطلاعات مربوط به خود ماهواره (از جمله مختصات محل قرار گرفتن آن در مدار) و زمان و اطلاعاتی از کل سیستم را در دو باند فرکانس L_1 و L_2 که هر کدام ۲۴ فرکانس مختلف را در بر می گیرند منتشر می کنند. هر ماهواره با فرکانس مخصوص به خود شناخته می شود.

۴- بخش زمینی

زیر سیستم زمینی که وظیفه هدایت و کنترل کار صحیح سیستم را به عهده دارد شامل ایستگاههای زیر است. که اکثرا در خاک روسیه قرار دارند و تعدادی در جمهوری های جدا شده از شوروی باقی مانده اند.

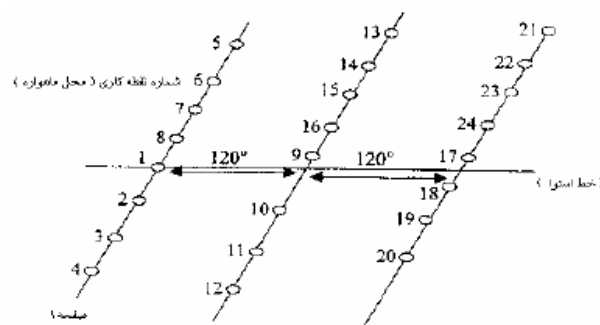
۱-۴- مرکز کنترل سیستم

مرکز کنترل دارای خطوط مخابراتی اتوماتیک و غیر اتوماتیک برای ارتباط با ماهواره ها می باشد وظیفه این مرکز برنامه ریزی و جهت دهی کار همه عناصر زیر سیستم هدایت و کنترل GLONASS بر اساس رژیم هدایتی روزانه آن می باشد. در ضمن همه امور مربوط به تعیین و تخمین اطلاعات مربوط به ماهواره ها و تصحیحات فرکانسی آنالیز مشخصات بالستیکی، در بخشی از مرکز کنترل به نام مرکز محاسبات بالستیکی انجام می گیرد.

جدول شماره (۱) مشخصات کلی GLONASS و مقایسه آن با GPS
UTC : Universal Time Coordinational

GPS	ONASS GL	پارامتر ، روش
-----	----------	---------------

تعداد ماهواره های ناوبری (رزرو)	24(3)	24(3)
تعداد صفحات مدار	3	6
تعداد NS در صفحات مدار	8	4
نوع مدار	دایره ای $e=$	دایره ای
ارتفاع مدار (km)	19100	20145
زاویه میل مدار (درجه)	64.8	55
پریود گردش مداری NS ها	11hour , 15 min, 44s	11hour 56.9min
روش تفکیک سیگنالهای NS	فرکانس	کدی
فرکانسهای حامل سیگنالهای رادیویی ناوبری (MHZ)	L1:1602.5625 L2:1246.4375	L1:157.42 L2:1227.6
پریود تکرار سری شبه تصادفی	Lms	Lms(C/A Code) 7(p-code)
فرکانس سری شبه تصادفی (MHZ)	0.511	1.023(c/a code) 10.23(p,y-code)
سرعت ارسال داده های دیجیتال (b/s)	50	50
طول سوپر کادر (Maine Frame)	2.5	12.5
تعداد کادرهای در سوپر کادر	5	25
تعداد سطرها در کادر	15	5
سیستم محاسبه زمان	UTC	UTC
سیستم محاسبه مختصات	ПЗ-90	WGC-84
نوع افیمیری (مختصات خود ماهواره)	مختصات ژئوسنتریک ومشتقات آنها	المانهای کدی تصحیح شده



شکل شماره ۱: نحوه قرارگیری ماهواره ها در منظومه Glonass

۴-۲- سنکرون کننده مرکزی

سنکرون کننده مرکزی نیز جزء بخشهای مرکز کنترل می باشد، که کار تشکیل مقیاس زمانی GLONASS را به عهده دارند.

۴-۳- ایستگاههای کنترل

ایستگاههای کنترل کار کنترل سانسهاست اندازه گیری مکانی و زمانی مورد نیاز برای تعیین و نخمین موقعیت های فضایی ماهواره ها و عدول از مقیاس زمانی کل سیستم و جمع آوری اطلاعات تله متری در مورد وضعیت دستگاههای آن برد را به عهده دارند.

۴-۴- ایستگاههای کوانتو اپتیکی

برای تنظیم پریودیک کانالهای رادیوتکنیکی و اندازه گیری برد ماهواره ها به کمک فاصله سنجی لیزری به کار می روند.

۴-۵- سیستم کنترل فاز

فرکانس امواج ارسالی ماهواره ها را دریافت و با مقادیر اسمی مورد نظر مقایسه و انحرافات را تعیین می کند.

۴-۶- دستگاههای کنترل میدان

شامل یک گیرنده کاربر بسیار دقیق با مختصات معلوم می باشد، که جهت اندازه گیری پارامترهای دقتی سیستم به کار می رود.

۵- تلفیق GPS و GLONASS

اطلاعات جدول شماره (۱) در مورد ویژگیها و مشخصات سیستم های GPS و GLONASS از دو نظر حائز اهمیت می باشد. اولاً پارامترهای آنها اختلافاتی با هم دارند، که مقتضای جدایی و استقلال دو سیستم از هم می باشد. از طرفی بررسی این پارامترها نشان می دهند که در کل دو سیستم بسیار به هم نزدیک و دارای تشابهات بسیاری می باشند. از عمده تشابهات موارد زیر را می توان نام برد:

نزدیکی ارتفاع ماهواره ها (حدود 20000 KM) و پریود گردش (تقریباً ۲ ساعت).

نزدیکی زوایای میل مدارات (≈ 60)

ساختار سیگنالی (کد مشابه و نزدیک به فرکانس کاری $L_1 \approx 1600$ و $L_2 \approx 1200$)

شباهت میان سنکرون سازی و اندازه گیری پارامترهای ناوبری.

تفاوت کم دستگاههای مختصات

همزمان بودن ایجاد و ساخت و تکامل هر دو سیستم (نزدیکی تکنولوژی)

موارد تشابه ذکر شده در فوق نشان می دهند که می توان گیرنده هایی ساخت که در عین حال از اطلاعات و سیگنالهای ماهواره های هر دو سیستم استفاده کنند. بر این اساس دولتهای روسیه و آمریکا که صاحبان دو سیستم فوق می باشند موافقت کرده اند که هر دو سیستم با هم تلفیق شوند و گیرنده هایی با قابلیت کار در هر دو سیستم ساخته شوند.

۶- دستاوردها و مزایای گیرنده های تلفیقی

هدف از تلفیق دو سیستم افزایش دقت و قابلیت اعتماد (در دسترس بودن تداوم و یکپارچگی) اندازه گیریهای ناوبری می باشد. حال ببینیم چگونه این اهداف با تلفیق دو سیستم قابل دستیابی هستند.

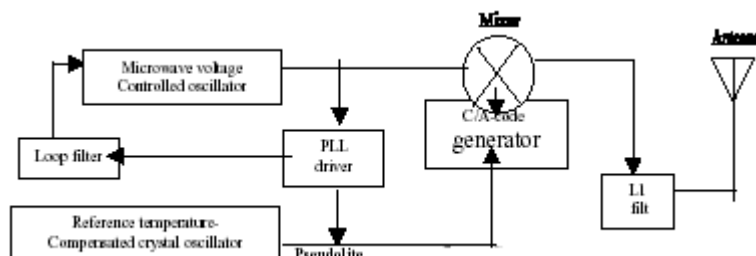
یکی از عوامل ایجاد خطای تعیین پارامترهای ناوبری وضعیت قرار گرفتن ماهواره های تحت دید یک گیرنده خاص نسبت به آن و نسبت به یکدیگر می باشد. این موضوع به صورت کمی با پارامتری به نام فاکتور هندسی یا بد شدن دقت تعیین موقعیت (GDOP) مشخص می شود.

برای همین امکان دریافت سیگنال از ماهواره های GPS و GLONASS در دسترس یک گیرنده فاکتور هندسی مناسبتری و در نتیجه دقت بهتری را در تعیین مختصات و سرعت بدست خواهد داد.

در جدول شماره (۲) فاکتور هندسی شامل فاکتور افقی HDOP و فاکتور عمودی VDOP و فاکتور زمانی TDOP برای ماهواره های GLONASS و استفاده توأم از GPS و GLONASS برای منطقه شهر مسکو درج شده اند همانطور که از جداول پیداست افزایش ماهواره های قابل رؤیت یک سیستم GLONASS و یا استفاده از ماهواره های قابل رؤیت هر دو سیستم GLONASS و GPS باعث کاهش فاکتور های هندسی خطا می گردند.

در همین ارتباط در جدول شماره (۳) دقتهای تعیین موقعیت و ارتفاع به کمک تلفیق دو سیستم GPS و GLONASS برای چند رژیم مختلف درج شده اند. از این جداول پیداست که دقت مختصات با افزایش تعداد ماهواره های قابل رؤیت گیرنده افزایش می یابد.

۷- ساختار و عملکرد Pseudolite

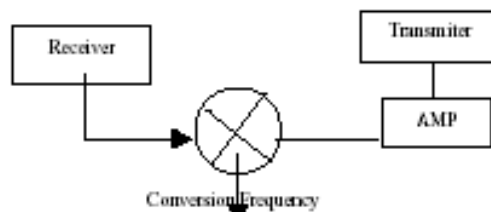


همانگونه که در شکل شماره (۲) مشاهده می شود سیستم از دو اسیلاتور تشکیل شده است، یکی از اسیلاتورها (TCXO) وظیفه تولید فرکانس مبنا را دارا می باشد که این فرکانس بسیار دقیق و پایدار است. اسیلاتور دیگر (OSC) Microwave Voltage Controller می باشد که فرکانس بسیار بالایی (L_1) را تولید می کند که فاز آن توسط PLL بر روی خروجی (TCXO) فیل می گردد. وظیفه این اسیلاتور تولید Carrier می باشد. همچنین از (TCXO) برای رگوله کردن C/A generator استفاده می گردد. سپس کد تولید شده همراه با حامل مخلوط می گردد و برای حذف اثرات فرکانسهای رادیویی از یک فیلتر با فرکانس میانی گذرانده شده و به آنتن می رود.

یک نمونه از Pseudolite که توان تقریباً 10dbm با ۱/ میلی وات تولید می کند، برای بسیاری از کاربردها این مقدار کافی می باشد برای توانهای بیشتر می توان یک تقویت کننده خارجی قرار داد. برای اینکه یک گیرنده استاندارد GPS بتواند از شبه ماهواره استفاده نماید زمانبندی سیگنالهای Pseudolite باید دقیقاً مانند سیگنالهای ماهواره باشد. در عمل این بدین مفهوم می باشد که Pseudolite شامل یک پایدار و چند راه برای سنکرون نمودن آن با کلاک GPS به عنوان Master می باشد این کار توسط محاسبه offset های آنی بین CLOCK شبه ماهواره ها و CLOCK ماهواره ها انجام می گیرد. این offset آنی توسط S/A آلوده می گردد. اگر کلاک Pseudolite پایدار باشد این خطاها توسط میانگین گرفتن حذف می گردد و در غیر این صورت Pseudolite ها اندازه گیری شده که بسیار گران می باشند. اگر یک دقت بیشتر از حالت S/A بخواهیم باید هزینه نسبتاً گرانی بپردازیم.

اما می توان به نحوه دیگری عمل نمود. در این نوع که Code-phase رنج تفاضلی نامیده می شود بدین صورت عمل می گردد که Pseudolite اطلاعات ماهواره ها را گرفته و با توجه به اینکه موقعیت خود را می داند تصحیحات لازم را به جای پیام ناوبری ارسال می نماید. در این مورد فقط باید نرم افزار گیرنده استفاده کننده تغییر نماید.

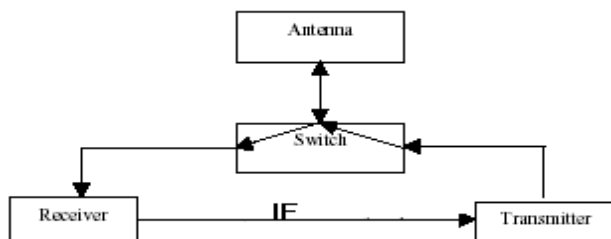
Pseudolite می تواند به عنوان فرستنده سیگنالهای GPS عمل نماید. یک راه ساده این است که Pseudolite سیگنال GPS را دریافت کرده و فقط فرکانس میانی آنرا تغییر دهد و سپس با فرکانس جدید آنرا تغییر دهد و سپس بافرکانس جدید آنرا بفرستد. در اینجا دیگر احتیاجی به تجهیزات دمد ولاتور نمی باشد ولی در عوض احتیاج به یک فرکانس جدید می باشد که پیچیدگی گیرنده را بیشتر می نماید. بلوک دیاگرام مربوط به این حالت در شکل شماره (۳) آمده است. اصطلاحاً به این وسیله فرستنده گیرنده (TRANSCIVER) می گویند. این پیاده سازی خود شامل دو نوع می باشد که در ادامه مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل شماره ۳: بلوک دیاگرام Pseudolite درحالتی که فقط سیگنالهای GPS را تکرار می کند

۸-گیرنده فرستنده های همزمان

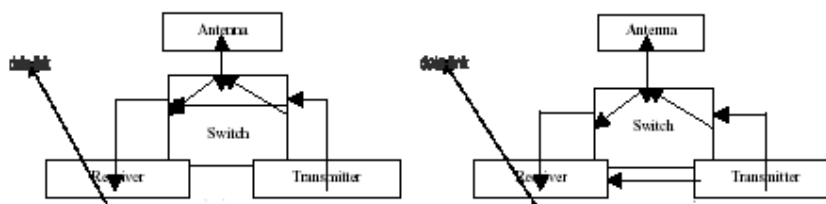
فرستنده های Pseudolite که شامل یک clock اتمی همزمان شده می باشند، ممکن است به عنوان منبع اضافی یکتا درست مانند GPS مورد استفاده قرار گیرد. با استفاده از یک گیرنده GPS برای حل کردن مسئله Clock-Offset می توان شبه ماهواره را در هنگامی که ماهواره های کافی در میدان دید قرار بگیرند همزمان نمود. این روش به User این امکان را می دهد که با استفاده از فرستنده های سیگنال ذکر شده بدون وابستگی به ماهواره GPS یا ایستگاه مرجع دیگر موقعیت خود را تعیین نماید. ولی استفاده از Clock خیلی پایدار و تجهیزات مربوط، روش فوق را بسیار گران می کند. بعلاوه یک آنتن مرجع باید برای موقعیت یابی تفاضلی استفاده شود. شکل شماره (۴) این نوع پیاده سازی را نشان می دهد.



۹- گیرنده فرستنده های غیر همزمان (خود تفاضلی)

گیرنده فرستنده ها ممکن است توجه کمی به همزمانی سیگنال فرستاده شده با سیگنالی که دریافت کرده بنماید، اما در عوض اختلاف را اندازه گرفته و آن را برای User بر روی یک Data-Link ارسال می نماید مانند یک سیستم استاندارد DGPS همراه با یک آنتن مرجع. این روش یک سیستم مکان یابی با چند آنتن مرجع را فراهم می آورد.

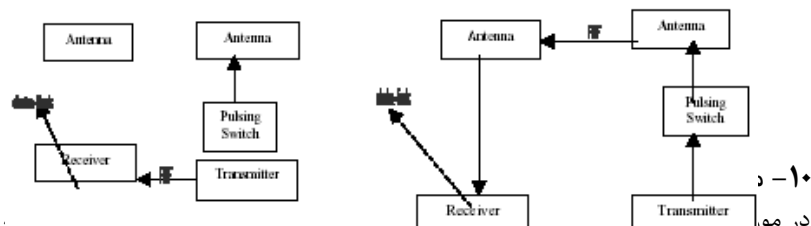
شکل شماره (۵) پیاده سازی با یک آنتن را که از گیرنده دو ورودی استفاده می کند نشان می دهد سیگنال RF فرستاده شده دو قسمت می باشد. یکی از آنها مستقیماً به خط دوم گیرنده متصل می گردد و دیگری به آنتن فرستنده متصل می باشد. گیرنده با دو ورودی این اجازه را می دهد که سیگنال فرستاده شده از منبع دیگر و سیگنالهای فرستنده با هم وارد شوند. در شکل شماره (۶) پیاده سازی با گیرنده تک ورودی نشان داده شده است، که سوئیچ استفاده شده در آن از پیچیدگی بیشتری نسبت به شکل شماره (۵) برخوردار می باشد.



شکل شماره ۵

شکل شماره ۶

در شکل شماره (۷) یک طرح با دو آنتن نشان داده شده است که گیرنده ها را از یک آنتن دریافت می کند. مزیت این روش در آن است که گیرنده ها فقط به یک بخش ابتدائی (LAN) احتیاج دارد و دارای خطی با بایاسهای یکسان برای هر دو سیگنال RF دریافتی می باشد. اما این موضوع را که باید آنتنها در امتداد دید یکدیگر باشند به ما تحمیل می کند. شکل شماره (۸) یک طرح دیگر با دو آنتن و گیرنده با دو ورودی را نشان می دهد، در اینجا نیز سیگنال RF فرستاده شده دو تکه می باشد. یکی از آنها مستقیماً به گیرنده متصل می گردد دیگری به آنتن فرستنده متصل می شود. مزیت این روش نسبت به روش قبلی این است که دیگر احتیاج نیست که آنتنها در دید یکدیگر قرار بگیرند.



نده به فاصله

آن تا ماهواره تعریبا ثابت می باشد. اما در مورد Pseudolite این امر صادق نمی باشد. بخاطر اینکه فاصله ممکن است از ۱ متر تا ۲۰ کیلومتر تغییر کند. با توجه به اینکه توان به نسبت عکس مجذور فاصله تغییر می نماید (مثلاً فاصله ۱:۱۰۰ نسبت توان ۱:۱۰۰۰۰ برابر با 60db را ایجاد می نماید). بنابراین گیرنده نیاز به یک رنج دینامیک برای انتخاب نسبت توان دارد. در GPS های مرسوم این رنج توسط خاصیت Cross-correlation سیگنال تعیین می گردد یک فرمت سیگنال Pseudolite باید طوری باشد که هر یک از Cross-correlation ها با ماهواره های GPS شناخته شده پایین تر از نسبت توان طراحی شده باشد.

بدترین مورد Cross-correlation بین دو سیگنال کد 21.6db می باشد. بنابراین یک Pseudolite براحتی می تواند یک رونوشت از سیگنال GPS که قابل استفاده برای یک نسبت فاصله ۱۲:۱ می باشد را ارسال نماید. در عمل این نسبت می تواند کوچکتر گردد. بنابراین اگر گیرنده در محدوده ای نزدیکتر از یک فاصله قرار بگیرد توسط Pseudolite پارازیت می گیرد و نمی تواند ماهواره GPS را مشخص کند و دورتر از آن هم نمی تواند Pseudolite را ردیابی کند در نتیجه هم از حد پایین و هم از حد بالا محدودیت وجود دارد (NEAR/FAR problem).

اگر Pseudolite در جایی قرار بگیرد که شیء پرنده بیشتر از ۱۰۰ متر به آن نزدیک نشود (مثلاً در فرودگاه) برای مثال ما رنج دینامیکی مورد نیاز از 60db به 40db کاهش می یابد بر اساس هندسه مسیر گذرگاه Pseudolite برای ناحیه ای از سیگنال طراحی می شود که یک رنج به نسبت کمتر از ۳:۱ را بپوشاند. بنابراین توان فرستنده Pseudolite باید سیگنالی را تهیه کند که با در نظر گرفتن امکان پارازیت انداختن بتواند کار کند.

آقای دکتر Parkinson (استاد دانشگاه Stanford) بهترین موقعیت برای قرار گرفتن Pseudolite را تعیین کرده است این موقعیت در فاصله ۳۰ مایل در جنوب مسیر حرکت می باشد این مسئله بخاطر زاویه ۵۵ درجه مسیر حرکت ماهواره GPS می باشد راه دیگر برای حل مسئله NEAR/FAR قرار دادن یک Pseudolite تولید کننده C/A در بالای یک تپه مشرف بر محل مورد نظر می باشد. اما اشکال این مسئله محدود شدن ارتفاع پرواز می باشد.

باید توجه نمود برای حل مسئله NEAR/FAR هدف ما این است که کدی را طراحی کنیم که بهترین Cross-correlation را نسبت به کد C/A داشته باشد. برای این منظور چندین طرح را می توان در نظر گرفت بهترین و ساده ترین راه این است که هیچ کدی نداشته باشیم. در اینجا فقط موج Carrier را داریم. Cross-correlation این موج با کد C/A برابر با 30db می باشد. از این موضوع می توانیم برای تعیین فاصله و فرستادن اطلاعات دیجیتالی استفاده نماییم برای انجام این طرح باید تولید کننده کد مربوط یکی از کانالهای گیرنده غیر فعال گردد.

کمیته RTCM-104 یک طرح فرستنده Pseudolite پالس مدولاتور پیشنهاد داده که نتایج بسیار عالی از خود نشان داده است. در اینجا چون سیگنال ما پیوسته نیست از آنالیز Cross-correlation می توانیم استفاده کنیم. گیرنده برای کپی زدن با تجهیزات تولید پالس طراحی می گردد که بتواند مسیر سیگنال بعضی Pseudolite ها را تا زمانی که SNR آنها 1db کمتر از سیگنالهای GPS ماهواره می باشد را ببیند. یک راه معلوم برای حل مسئله NEAR/FAR استفاده از یک فرستنده کد با نرخ بیت بیشتر از کد C/A می باشد یعنی می توان از Pseudolite های P-code استفاده کرد. Cross-correlation مربوط به کد p در حدود 30db بهتر از کد C/A می باشد. در این صورت رنج دینامیک بدون هیچ اندازه گیری اضافه 50db می باشد اما گیرنده های p-code گرانتر از C/A-code می باشد (که در آینده این مسئله باقی نخواهد ماند). ثانیاً گیرنده p-code به یک RF با پهنای باند بیشتری احتیاج دارد و همچنین دیجیتال correlation آن باید سریعتر باشد.

از دیگر مشکلات این است که آنتنهای ماهواره و استفاده کننده ها باید یکدیگر را ببوشانند. همچنین شبه ماهواره ها که برای مکان یابی از Code-mode یا Carrier-mode استفاده می کنند باید شامل یک Clock پایدار باشد. ترجیحاً با دقت اتمی که البته برای رفع این مشکل توضیح داده شد که با استفاده از تکنیک Time-Transfer استاندارد می توان مطمئن شد که Pseudolite با GPS سنکرون می باشد. ولی در این صورت نیاز به یک خط ارتباطی جداگانه می باشد.

طراحان سیستم ترجیح می دهند که از Pseudolite هایی استفاده کنند که دارای خط ارتباطی با سرعت بیشتری باشند GPS های استاندارد دارای سرعت 50BPS می باشند اما سرعت اطلاعات 250bps برای سیگنال C/A-code پیشنهاد گردیده است.

۱۱- تاثیر Pseudolite در افزایش پایداری و دقت سیستم GPS

از جمله مشکلاتی که در استفاده از سیستم GPS وجود دارد این است که در بعضی مکانها تعداد کافی از ماهواره ها همواره در دید نمی باشند یعنی اینکه در بعضی مواقع تعداد ماهواره های در معرض دید کمتر از ۴ ماهواره می باشد، اصطلاحاً سیستم GPS در این موارد دارای پایداری و قابلیت اطمینان لازم نمی باشد برای رفع نقیصه فوق می توان از شبه ماهواره ها به تعداد لازم استفاده نمود نکته ای که در اینجا قابل توجه می باشد تعیین بهترین موقعیت برای نصب شبه ماهواره ها می باشد که باید با توجه به هندسه مکان مورد نظر و موقعیت استفاده کننده انجام گیرد بطور کلی می توان گفت شبه ماهواره ها در این مورد باعث افزایش پایداری و قابلیت اطمینان سیستم می گردد.

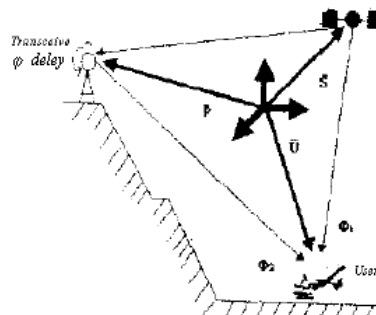
استفاده از شبه ماهواره در کنار سیستم GPS از دیدگاه دیگر نیز قابل توجه می باشد و آن در زمانی می باشد که هدف، افزایش دقت سیستم می باشد مورد اخیر را می توان از دو بعد مورد بررسی قرار داد. کاربران سیستم GPS با عاملی به نام DOP آشنا می باشند. DOP متغیری می باشد که ارتباط خطای مکانی در جهت خاص را با خطای Pseudolite (فاصله کاربر تا ماهواره) بیان می نماید عدد DOP با توجه به وضعیت قرار گرفتن ماهواره هایی که در محاسبات منظور می گردند و وضعیت کاربر، بدست می آید و هر اندازه که این عدد کوچک باشد به تناسب آن تاثیر خطای Pseudorange بر خطا در جهت خاص (افقی و عمودی) کمتر می باشد، به عنوان مثال اگر بخواهیم دقت اندازه گیری در جهت افقی کمتر از ۱۵ متر باشد با دانستن اینکه خطای Pseudorange در حد ۵ متر است بنابراین HDOP سیستم (DOP افقی) باید کوچکتر از ۳ باشد.

در مواردی که وضعیت ماهواره در دید طوری نباشد که اجازه بدهد DOP سیستم از مقدار معینی کمتر شود می توان از شبه ماهواره ها کمک گرفت و با نصب آنها در موقعیت مناسب این نقیصه را بر طرف نمود. نکته مهمی که در اینجا قابل توجه می باشد این است که به هنگام استفاده از سیستم در پروازها به علت اینکه زاویه دید می تواند مقدار منفی نیز داشته باشد (شبه ماهواره در زیر شیء پرنده قرار گیرد) برخلاف وضعیتی که فقط از ماهواره ها استفاده می شود، بنابراین DOP سیستم دارای بهبود قابل توجهی می باشد.

استفاده از شبه ماهواره ها به نحوه دیگری می توان باعث افزایش دقت مکان یابی گردد در اینجا از شبه ماهواره ها فقط به عنوان تکرار کننده سیگنال GPS استفاده می گردد. برای درک بهتر نسبت به کار Transceiver در این حالت می توان به شکل شماره (۹) مراجعه نمود بردارهای U,P,S به ترتیب بردار موقعیت

ماهواره GPS و Pseudolite و USER نسبت به مبدا دلخواه می باشند. حال اگر فاصله طی شده از ماهواره تا استفاده کننده ϕ_1 و همین زمان در حالتی که سیگنال توسط Pseudolite فرستاده شده را ϕ_2 فرض کنیم رابطه زیر را می توان در نظر گرفت:

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = |\bar{S} - \bar{P}| + |\bar{U} - \bar{P}| - |\bar{S} - \bar{U}| + \phi \text{ delay}$$



شکل شماره ۹

قسمت $\phi \text{ delay}$ به خاطر افت Clock بین فرستنده و گیرنده سیگنال Transceiver در نظر گرفته شده است. در Transceiver سنکرون این زمان ثابت بوده و در زمان Initial کردن سیستم دور ریخته می شود. در Transceiver غیر همزمان این زمان اندازه گیری شده و توسط Data-Link برای محاسبات User فرستاده می شود. همان گونه که از رابطه دیده می شود به خاطر ماهیت تفاضلی رابطه خطاهای موجود در Pseudolite ها (ϕ_1 و ϕ_2) اهمیتی ندارد، بلکه مقدار تاخیر بین آنها دارای اهمیت می باشد که باید در کاربر محاسبه گردد. اشکال این روش، این می باشد که باید تجهیزات خاصی در کاربرد طراحی گردد که بتواند تاخیر بین دو مسیر را اندازه گیری کند که خود پیچیدگیهای سیستم را افزایش می دهد.

۱۲- نتیجه گیری

در این فصل سیستم ناوبری GLONASS معرفی و با سیستم GPS مقایسه شد. امکان تلفیق دو سیستم به خاطر نزدیکی مشخصات و پارامترهای آنها مورد بررسی قرار گرفت، بر این اساس با ساخت گیرنده هایی که بتوانند سیگنالهای ارسالی از ماهواره های هر دو سیستم را دریافت کنند به خاطر بهبود فاکتور هندسی خطا می توان به دقتهای بهتری در تعیین پارامترهای ناوبری رسید. گیرنده ای که در این مورد استفاده می شود بایستی جهت دریافت سیگنالهای همه ماهواره های در دسترس بیش از ۱۲ کانال داشته باشد.

جدول شماره (۲) فاکتور های هندسی برای چند حالت مختلف (تعیین شده برای منطقه مسکو)

فاکتور	تعداد ماهواره ها
VDOP TDOP	-
1.34 0.80	۸ ماهواره GLONASS
1.24 0.72	۱۰ ماهواره GLONASS
0.84 -	همه ماهواره های GLONASS و GPS رؤیت شده

GPS و GLONASS جدول شماره (۳) دقتها تعیین موقعیت و ارتفاع به کمک

ارتفاع (rms) بر حسب متر	مختصات افقی (rms) بر حسب متر	رژیم و تعداد ماهواره ها
13.5	9	همه ماهواره های GLONASS در رژیم معمولی
12.6	8.5	۱۶ ماهواره GPS(S/A)+GLONASS در رژیم معمولی
12.5	8.4	همه ماهواره های GPS(S/A)+GLONASS در رژیم

معمولی		
همه ماهواره های GLONASS در رژیم تفاضلی	1.8	2.6
در رژیم GPS(S/A)+GLONASS ۱۶ ماهواره تفاضلی	1.36	1.9
همه ماهواره های GPS(S/A)+GLONASS در رژیم تفاضلی	1.24	1.82
	دستزی انتخابی به GPS (S/A)	

مراجع

- [1] Введение в Теорию Космической Навигации, В.С.Шебшаевин, М:Изд-во Советское Радио
- [2] ГЛОНАСС, Глобальная Спутниковая Радионавигационная Система /Подред.В.Н.Харисова А.Н.Перова, В.А.Болдина 2-еизд.Исправ.М.:ИПРЖ.1999-560с.:и л (GLONASS BOOK PRODUCED BY RUSSION FEDERAL AVIATION)
- [3] Janathan M.stone, Edward A.Lemaster , Prof.J.David
Powll , Prof.Stone.GPS Pseudolite Transceivers and their ApplicationION
National Rock Technical Meeting 99 , San Diego California, January 25-27, 1999
- [4] Carlson , Stephen G.et.al “The Expanding Universe of Military Pseudolite System” ,
24 JSDE Symposium , Anaheim , CA,Nov. 16,1998,session 6A .