

عنوان دوره:

GPS (سیستم موقعیت جهانی) و آشنایی با نرم افزار MapSource

گردآوری جزوه: نادر خیرحاطمی - کارشناس ارشد مدیریت صنعتی

جی.پی.اس (GPS) چیست؟

سیستم مکان یابی جهانی (Global Positioning System) یک سیستم هدایت (ناوبری) ماهواره ای است و تنها سیستمی می باشد که امروزه قادر است، موقعیت دقیق شما را بر روی زمین در هر زمان، در هر مکان و در هر هوایی مشخص کند. این ماهواره ها به سفارش وزارت دفاع ایالات متحده ساخته و در مدار قرار داده شده اند. اولین ماهواره GPS در سال ۱۹۷۸ یعنی حدود ۳۵ سال پیش در مدار زمین قرار گرفت.

این سیستم در ابتدا برای مصارف نظامی تهیه شد ولی از سال ۱۹۸۰ استفاده عمومی آن آزاد و آغاز شد و سرانجام در سال ۱۹۹۴ شبکه ای شامل ۲۴ ماهواره تشکیل گردید.

خدمات این مجموعه در هر شرایط آب و هوایی و در هر نقطه از کره زمین در تمام ساعت شبانه روز در دسترس است. پدید آوردن گان این سیستم، هیچ حق اشتراکی برای کاربران در نظر نگرفته اند و استفاده از آن رایگان است.

دقت بالای این سیستم و جهانی بودن آن دلیلی بر استفاده از این سیستم در علوم مختلف می باشد. این سیستم از سال ۱۹۸۳ با پرتاب نخستین ماهواره GPS آغاز بکار نمود. با روی کار آمدن سیستم جی.پی.اس (GPS) تمام سیستم های قبلی تعیین موقعیت ماهواره ای از قبیل دور بین های بالستیک، داپلر NNSS,SLR,LLRLONG-C,SECOR, به تدریج از دور خارج شدند GPS. یک سیستم عملیاتی و همیشه در حال آماده باش است که در تمامی شرایط آب و هوایی دارای کارایی می باشد؛ زیرا فرکانس امواجی که توسط ماهواره های GPS ارسال می شوند در حد گیگا هرتز است و شرایط آب و هوایی (مه و باران و نزولات جوی) اثری روی این امواج ندارند. این سیستم در طول ۲۴ ساعت شبانه روز فعال است و در هر زمان و در هر مکان که لازم باشد می توان توسط آن تعیین موقعیت کرد.

تاریخچه ای از سیستم تعیین موقعیت جهانی یا جی پی اس (GPS)

از زمانی که انسان به فکر تعیین موقعیت خود و اجسام بر روی زمین افتاد تاکنون، تغییرات و پیشرفت های شگرفی در این زمینه رخ داده است. اما از نخستین کسانی که به فکر تعیین موقعیت جهانی از طریق اجرام آسمانی و فضا افتادند، می توان به «داپلر» اشاره کرد.

«آمریکو وسپوس» دریانوردی در قرن پانزدهم و در ساحل برزیل، بر مبنای گزارش «کریستف کلمب»، جهت تعیین موقعیت خود، اندازه گیری هایی انجام داد. بر اساس مشاهدات وی، در نیمه شب 23 اوت 1499 کره ماه می بایست در برابر زمین و کره مریخ قرار می گرفت. وسپوس تقاطع مذکور را در برزیل مشاهده کرده و متوجه شد که این تقارن شش و نیم ساعت بعد از آنچه که باید در شهر فراره واقع در ایتالیا دیده می شد به وقوع پیوسته است.

لذا با استفاده از اختلاف زمان و اندازه پیرامون زمین که «بطلمیوس» بدست آورده بود توانست فاصله و طول جغرافیایی شهر

فراره را محاسبه کند. تعیین موقعیت با این روش خطایی در حدود یک مایل را ارائه می‌نمود.

این اولین تجربه انسان برای تعیین موقعیت و محاسبه مختصات خود بر روی کره زمین بود. تا سالها بعد نیز راه دیگری جز استفاده از ستارگان برای تعیین موقعیت دقیق بر روی زمین وجود نداشت. برای تعیین موقعیت با این روش نیز نیاز به مشاهدات نجومی و استفاده از جداول زمانی ستارگان بود. اما به ناگاه سیستمی کارآمد با نام سیستم تعیین موقعیت جهانی یا به اختصار، جی پی اس، وارد عرصه شد و معادلات را به کلی تغییر داد.



سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) راهکاری سودمند و دقیق برای تعیین موقعیت، بر مبنای فضا و استفاده از موقعیت دقیق ماهواره ها است.

معرفی سیستم تعیین موقعیت جهانی

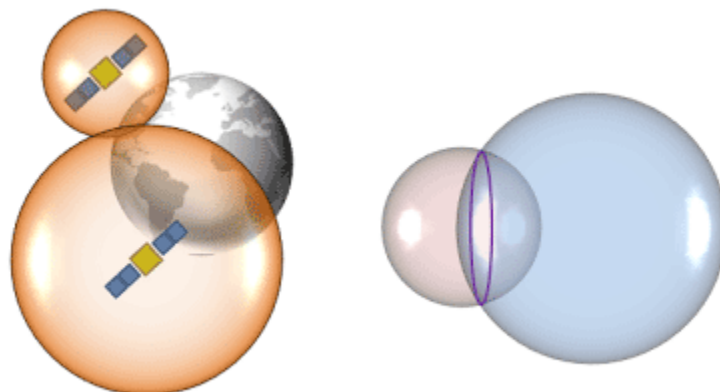
- مفاهیم پایه تعیین موقعیت در فضای سه بعدی

ایده اساسی تعیین موقعیت بر مبنای فضا با استفاده از ماهواره‌های ساخت بشر نخستین بار از اوایل سال 1960 توسط ایالات متحده و در ناسا شروع گردید. این ایده بر تکنیکی استوار است که در آن با دانستن فاصله نقطه موردنظر از چندین نقطه در فضا، میتوان مختصات آن را به دست آورد.

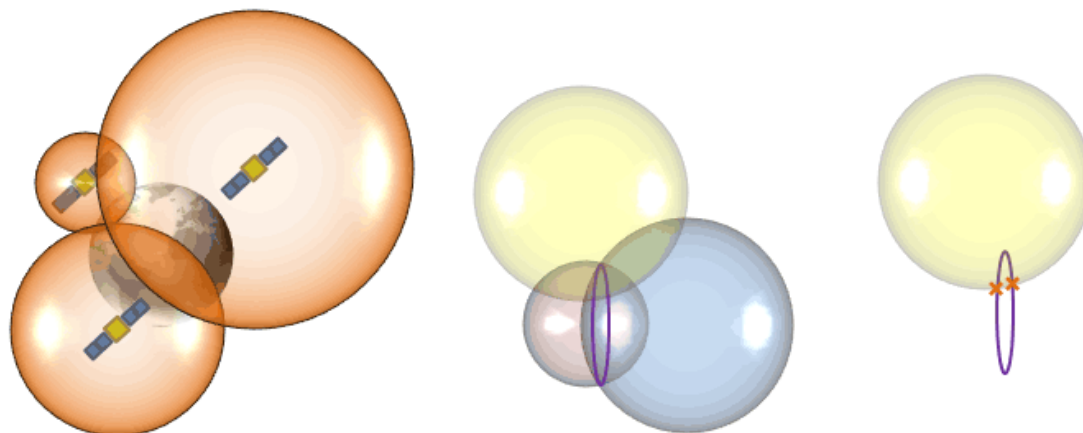
اگر در فضای سه بعدی فاصله خود را نسبت به یک نقطه مشخص (ماهواره) بدانیم، مکان هندسی موقعیت ما بر روی یک کره به مرکزیت نقطه معلوم و به فاصله گفته شده خواهد بود.



اگر علاوه بر اطلاعات قبل، فاصله خود را از نقطه معلوم دیگری داشته باشیم، مکان هندسی موقعیت ما بر روی تقاطع این دو کره، یعنی یک دایره، خواهد بود.

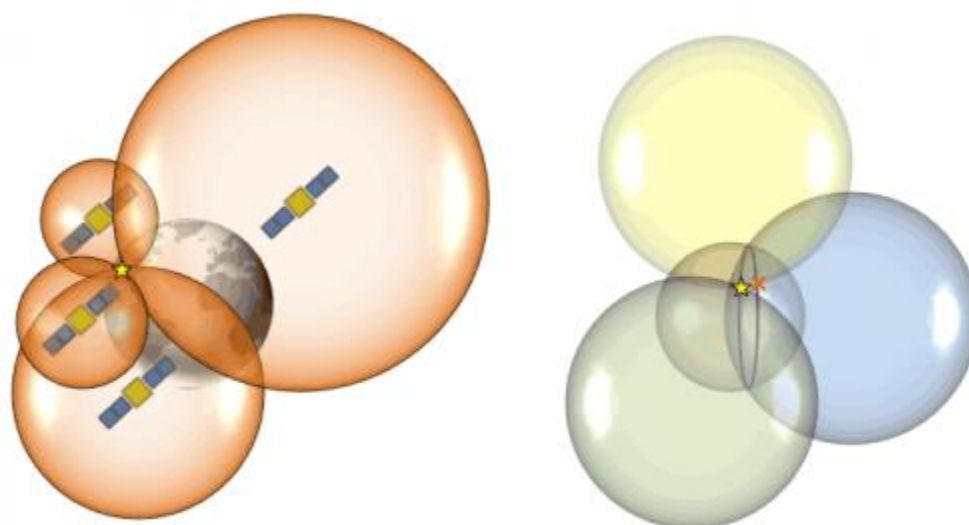


به همین ترتیب اگر فاصله خود را از سه نقطه یا سه ماهواره بدانیم، مکان هندسی ما محل تقاطع سه کره، یعنی دو نقطه، خواهد بود که همواره یکی از آن‌ها بر روی زمین منطبق خواهند بود.



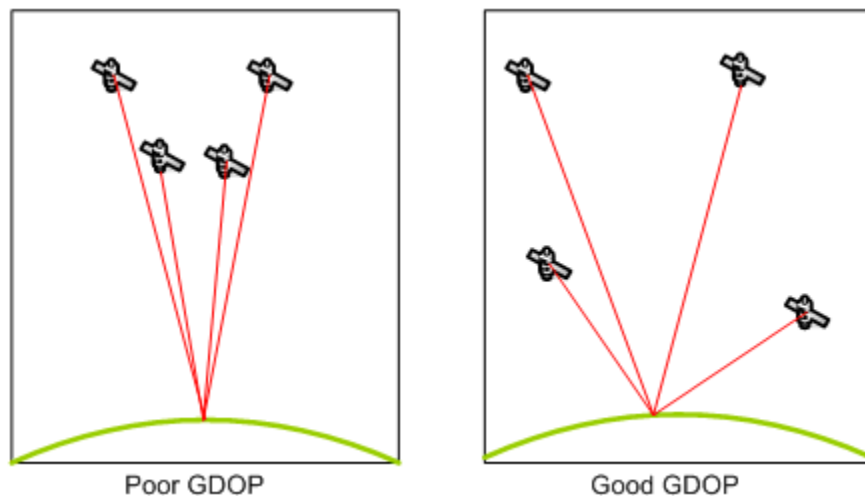
اگر فرض را بر این بگذاریم که می‌خواهیم مختصات نقطه‌ای بر روی کره زمین را محاسبه کنیم، با داشتن سه ماهواره می‌توانیم تشخیص دهیم که کدامیک از آن دو نقطه (نقاط حاصل از تلاقی سه کره) بر روی سطح زمین منطبق است و تعیین موقعیت انجام می‌شود.

اما اگر بخواهیم درخصوص نقاط دیگری که در فضا قرار دارند صحبت کنیم، با افزودن داده‌های مربوط به ماهواره چهارم، شکی باقی نمی‌ماند و بادقت بالایی می‌توانیم موقعیت خود را در فضا معین کنیم.



در نتیجه برای تعیین موقعیت خود حداقل نیازمند دریافت امواج چهار ماهواره و تعیین فاصله خود از آن‌ها هستیم. اگر تعداد ماهواره‌ها نیز بیشتر شود بر دقت تعیین مختصات افزوده خواهد شد. هندسه این ماهواره‌ها نیز بر روی دقت موقعیت محاسبه شده تأثیر می‌گذارد.

هندسه ماهواره‌ها با پارامتری به نام DOP سنجیده می‌شود و هرچه زوایای مثلث‌های ایجادشده، پس از ترسیم خطوط بین ماهواره‌ها، به 60 درجه نزدیک‌تر باشد این پارامتر مناسب‌تر بوده و دقت تعیین مختصات افزایش خواهد یافت.



موقعیت نسبی ماهواره‌ها تأثیر مستقیمی بر دقت تعیین مختصات دارد

سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) از چه بخش‌هایی تشکیل شده است ؟

سیستم تعیین موقعیت جهانی NAVSTAR یا GPS، یک سیستم ناوبری رادیویی جهانی است که از یک صورت فلکی 24 ماهواره‌ای یا بیشتر، چندین ایستگاه کنترل زمینی و میلیون‌ها کاربر تشکیل شده است. سه جزء (قسمت) این سیستم یعنی بخش فضایی، زمینی و کاربر با یکدیگر کار می‌کنند تا با بهره‌گیری از ماهواره‌ها به عنوان نقاط مرجع، موقعیت مکانی هر نقطه را در هر زمان به طور دقیق ارائه کنند.

1- بخش فضایی (ماهواره‌ها)

اولین جزء از سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)، بخش فضایی متشکل از 24 ماهواره است که در مدارهای دقیق و تقریباً دایره‌ای شکل قرار دارند و ارتفاع آنها از زمین در حدود 20200 کیلومتر است. چندین ماهواره اضافی نیز در مدار قرار دارند که نقش ماهواره‌های یدکی را بازی می‌کنند و کاملاً عملیاتی هستند. بنابراین حتی اگر خرابی یا تعمیرهای دوره‌ای، یک یا چند ماهواره را برای مدتی از سرویس خارج کنند، صورت فلکی همواره باید شامل 24 ماهواره عملیاتی باشد.

ماهواره‌ها در شش صفحه مداری قرار گرفته‌اند. هر صفحه مداری برای اینکه بتواند مناطق قطبی را نیز پوشش دهد، دارای یک زاویه انحراف 55 درجه‌ای نسبت به صفحه استوا می‌باشد. هر ماهواره، کره زمین را دو بار در شبانه‌روز دور می‌زند. در نتیجه، در هر زمان و از هر نقطه بر روی زمین یا نزدیک به زمین، حداقل 4 ماهواره در میدان دید قرار دارند. این امر بسیار مهم است زیرا یک گیرنده GPS به سیگنال‌های حداقل 4 ماهواره نیاز دارد تا بتواند موقعیت مکانی خود را در فضای سه‌بعدی تعیین کند.

شکل زیر صورت فلکی ماهواره‌های GPS را نشان می‌دهد.



صورت فلکی ماهواره‌های سیستم تعیین موقعیت جهانی یا همان جی پی اس (GPS)

هر ماهواره در فضا به منزله یک ایستگاه فرستنده رادیویی مستقل ناوبری است. هر یک از ماهواره‌های جی پی اس دائماً سیگنال‌های رادیویی کم قدرتی را منتشر می‌کنند که کار شناساندن ماهواره و ارائه اطلاعات درباره موقعیت مکانی آن در فضا، زمان‌بندی سیستم و سایر داده‌ها را انجام می‌دهند.

سیگنال‌ها با استفاده از دو فرکانس موج حامل در باند L که دارای بازه فرکانسی بسیار بالا هستند، منتشر می‌شوند که عبارتند از:

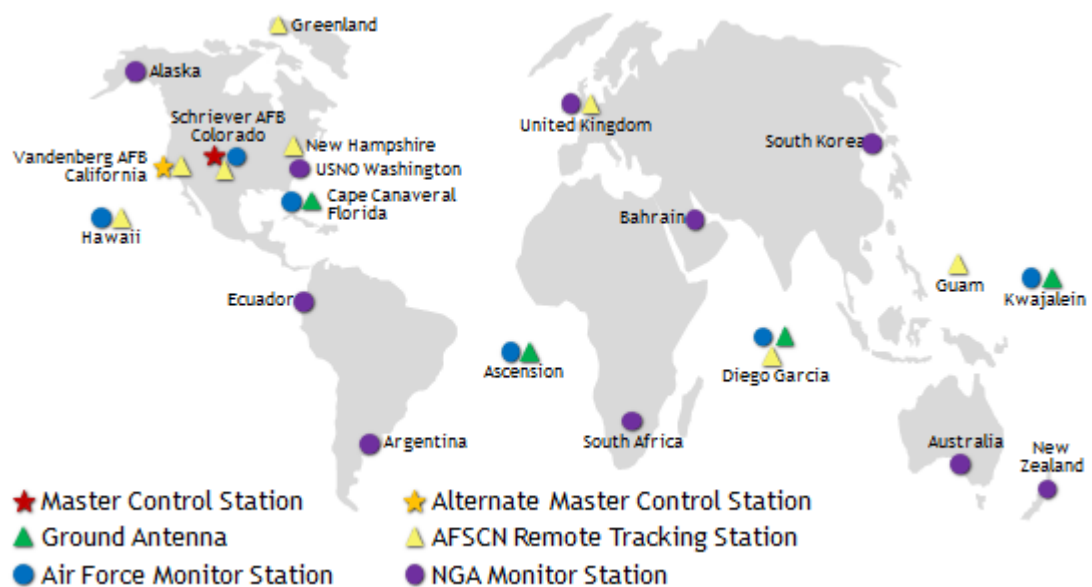
L1 (1575.42 MHz)

L2 (1227.60 MHz)

باران، مه و برف هیچ اثری بر روی این سیگنال‌ها ندارند و این امر سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) را به یک سیستم قابل استفاده در همه فصول سال تبدیل نموده است.

2- بخش کنترل (ایستگاه‌های کنترل زمینی)

بخش کنترل شامل 12 ایستگاه زمینی می‌باشد. موقعیت مکانی آنها در شکل زیر نشان داده شده است.



ایستگاه‌های کنترل زمینی GPS در سراسر جهان

- پایگاه هوایی Schriever در کلرادو، به‌عنوان ایستگاه کنترل اصلی ایفای نقش می‌کند.

- جزیره استوایی Ascension در اقیانوس اطلس جنوبی، دماغه کاناورال در فلوریدا، جزیره مرجانی دیه‌گو گارسیا واقع در اقیانوس هند و جزیره مرجانی Kwajalein در اقیانوس آرام نیز به‌عنوان ایستگاه آنتن زمینی (فرستنده) عمل می‌کنند.

- ایستگاه‌های پایش (گیرنده) نیز ابتدا در پایگاه هوایی Schriever، جزیره استوایی Ascension، هاوایی، جزیره دیه‌گو گارسیا، جزیره Kwajalein در نظر گرفته شد. در سال 2005 نیز ایستگاه‌های جدیدی در آرژانتین، بحرین، انگلستان،

اکوادور، واشنگتن دی سی و استرالیا به آن‌ها اضافه شد.

لازم به ذکر است که یک ایستگاه کنترل اصلی موقتی پشتیبان در نزدیکی واشنگتن دی سی قرار دارد. یک ایستگاه کنترل اصلی جانشین دائمی نیز در پایگاه هوایی Vanderberg ایالت کالیفرنیا در دست احداث قرار دارد.

ایستگاه‌های پایش مدام در حال رهگیری سیگنال‌های ناوبری از همه ماهواره‌ها بوده و دائماً این داده‌ها را به منظور پردازش، به ایستگاه کنترل اصلی ارسال می‌کنند. ایستگاه کنترل اصلی محاسبات مربوط به پیش‌بینی موقعیت مدار را برای هر ماهواره در صورت فلکی و نیز محاسبات مربوط به تصحیحات ساعت‌های ماهواره‌ها را انجام می‌دهد.

ایستگاه کنترل اصلی، داده‌های ساعت و مدار به‌روزرسانی شده فوق‌الذکر را به چهار ایستگاه آنتن زمینی ارسال می‌کند. سپس این داده‌ها به منظور حفظ دقت سیستم روزی سه بار از این ایستگاه‌ها به هر ماهواره ارسال می‌شوند. ایستگاه‌های زمینی همچنین دستورات (رایانه‌ای) را به منظور مدیریت روزمره، به‌روزرسانی نرم‌افزار و تنظیمات مدار به ماهواره‌ها ارسال می‌کنند. هر ماهواره همیشه در میدان دید حداقل دو ایستگاه زمینی و معمولاً در میدان دید سه ایستگاه زمینی می‌باشد.

3- بخش کاربر (همه گیرنده‌های روی زمین)

فلسفه وجود سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)، مشخص کردن موقعیت کاربر است. سیستم جی پی اس این کار را به خوبی و به طور رایگان انجام می‌دهد. اما باید به خاطر داشت که این سیستم، دو کاربره است: یعنی هم برای کاربران نظامی و هم برای کاربران غیرنظامی طراحی شده است.

کاربران نظامی از قابلیت‌های خاص جی پی اس بهره‌مند هستند و کاربردهای مدنظر آنها با کاربردهای موردنظر کاربران غیرنظامی بسیار متفاوت است.

کاربران غیرنظامی معمولاً از قابلیت‌های موقعیت‌یابی و زمان‌سنجی جی پی اس برای امور روزمره خود استفاده می‌کنند.

از کاربردهای مورد نظر سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) برای یک کاربر غیرنظامی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

-جلوگیری از گم شدن در صحرا، جنگل و علفزار

-مسیریابی به سمت رستوران در یک شهر غریب

-مشخص کردن موقعیت گوشه ساختمان در حال احداث

-کمک به سرویس‌دهی وسایل نقلیه خدماتی طبق برنامه

-هدایت کردن ماشین آلات کشاورزی در یک خط مستقیم

-کمک به ناوبری کشتی ها و هواپیماها

چرا در مورد تعیین موقعیت باید بدانیم؟

اگر بخواهیم در مورد علت این قضیه صحبت کنیم باید ابتدا به کاربردهای متعدد تعیین موقعیت بپردازیم:

وقتی ما در حال حرکت با اتومبیل خود هستیم و از نقشه های گوگل استفاده می کنیم؛ وقتی هواپیما در مسیری شروع به پرواز می کند و می خواهد در فرودگاه مقصد فرود بیاید؛ وقتی یک شرکت استخراج نفت می خواهد دکل های نفتی را در محلی مشخص بسازد؛ وقتی در یک مسابقه فوتبال، عملکرد هر بازیکن مثل میزان دوندگی و محل هایی از زمین که حضور داشته در Heat Map نمایش داده می شود؛ وقتی صحبت از دعاوی ملکی در دادگاه ها است؛ وقتی یک سیستم حمل و نقل هوشمند وجود داشته باشد؛ وقتی در مورد ماشین های بدون سرنشین صحبت می کنیم و هزاران نکته قابل بیان دیگر...در تمامی این وقتی ها، ما در مورد کاربردهای تعیین موقعیت صحبت می کنیم.

وقتی صحبت از کاربرد می کنیم یعنی می توانیم در این زمینه اشتغال ایجاد کنیم. موضوعی که خیلی ها از جمله کارفرماها، استارتاپی ها و نسل جوان به دنبال آن هستند. بسیاری از کشورهای پیشرفته با استفاده از تعیین موقعیت مشاغل زیادی ایجاد کرده اند و این روند با توجه به پیشرفت تکنولوژی و نیاز جامعه روز به روز در حال گسترش است.



روش های تعیین موقعیت:

بر دو قسم است : روش های کلاسیک تعیین موقعیت و روش های مدرن تعیین موقعیت

روش های کلاسیک :

استفاده از ستاره ها برای تعیین موقعیت



همانطور که از اسم این روش ها مشخص است، در زمان های گذشته کاربرد داشتند و امروزه در مواردی خاص از آن ها استفاده می شود. از جمله این روش ها، استفاده از نجوم در تعیین موقعیت می باشد.

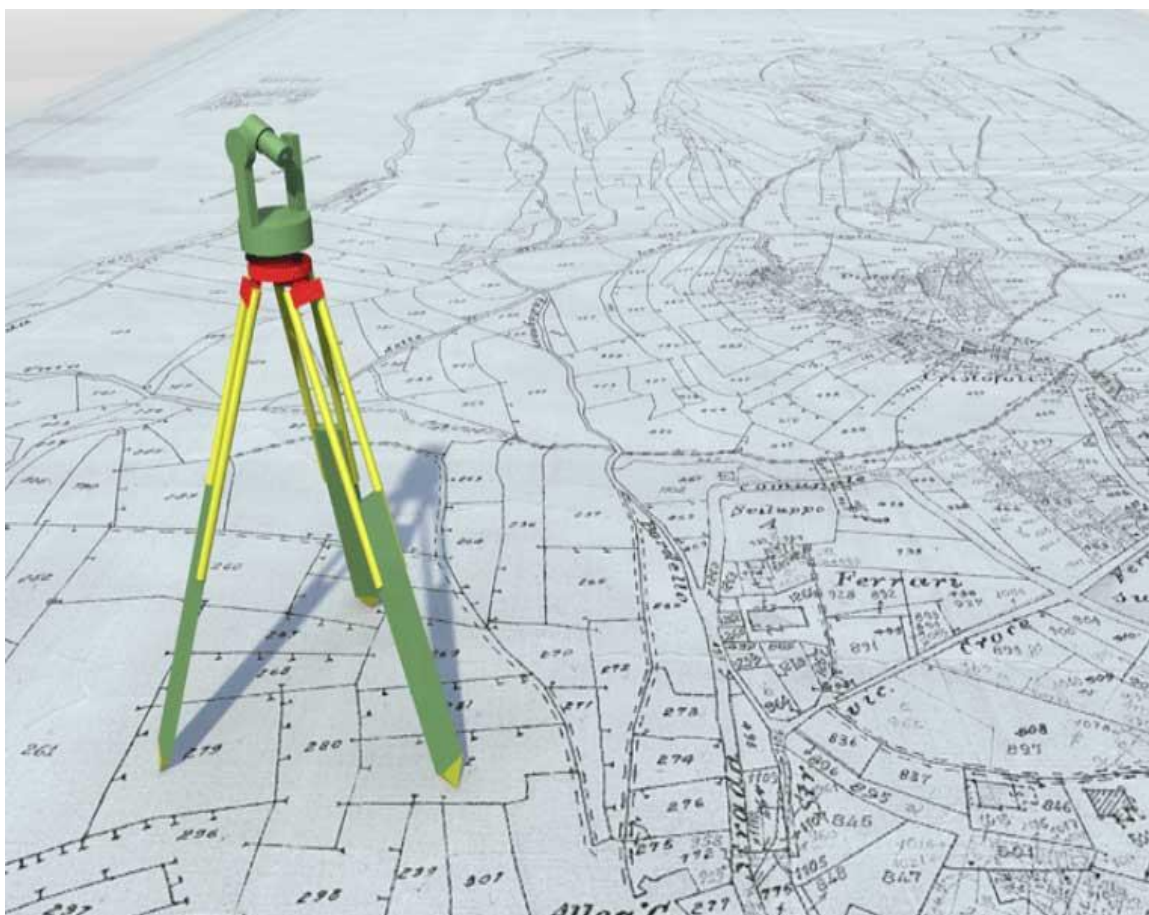
حتما در مورد مسیریابی با استفاده از نجوم شنیده اید. در گذشته از روی اشکال مختلف ستاره ها، که به آن ها صورت های فلکی می گفتند می توانستند مسیر خود را پیدا کنند.

همچنین با استفاده از یک سری فرض ها، و اندازه گیری توسط دستگاه های مخصوص، می توانستند از روی حرکت ستاره ها و روابط هندسی و ریاضی، موقعیت یک نقطه را تعیین کنند. به این علم در اصطلاح "نجوم ژئودزی" گفته می شود.

به طو خلاصه می توان نحوه به دست آوردن موقعیت از ستاره ها را اینگونه بیان کرد:

ما در تعیین موقعیت همواره نیاز داریم که یک نقطه با مختصات معلوم داشته باشیم. بعد از آن نقطه معلوم استفاده کنیم و مختصات خود را تعیین کنیم. حال تصور کنید که یک ستاره از بالای سر ما می گذرد. اگر به آن نگاه کنیم و یکسری اندازه گیری داشته باشیم، می توانیم با یکسری رابطه، مختصات خود را به دست بیاوریم. این فرآیند نیاز به مطالعه و آشنایی با روابط هندسی و نیز حرکات نجومی می باشد.

تعیین موقعیت با دستگاه های فاصله و زاویه یاب

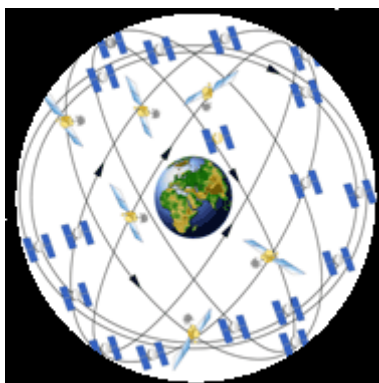


از دیگر روش های مورد استفاده در تعیین موقعیت کلاسیک، استفاده از دو پارامتر فاصله و زاویه می باشد. پرچمدار استفاده از این روش، نقشه بردار ها می باشند. شاید در گوشه و کنار شهر، افرادی را دیده اید که با دوربین هایی مخصوص در حال اندازه گیری های مختلفی هستند. این افراد، نقشه بردار می باشند. برای نقشه برداران، تعیین موقعیت یک نقطه، امری مهم تلقی می شوند. در واقع با داشتن موقعیت نقاط مختلف، عارضه های مختلف، تعیین موقعیت می شوند و با داشتن موقعیت عارضه های مختلف و ترسیم آن ها در صفحه های مخصوص، نقشه ها تهیه می شوند. هر چند دایره فعالیت نقشه بردارن بسیار فراتر از تهیه نقشه می باشد و میتوان از آن ها به عنوان نیروهای مهم در تمامی پروژه های عمرانی نام برد.

همانطور که در روش نجومی نیز اشاره کردیم، ما در تعیین موقعیت همواره نیاز به داشتن مختصات یک نقطه معلوم داریم. اگر در این روش یک نقطه معلوم داشته باشیم، کافی است با استفاده از اندازه گیری فاصله بین نقطه معلوم و مجهول، و نیز زاویه بین این دونقطه و امتداد شمال، مختصات نقطه مجهول را به دست آوریم. البته این یک توضیح کلی از این روش می باشد و برای آشنایی با آن باید به منابع نقشه برداری مراجعه نمود.

توجه کنید که در گذشته دستگاه های مورد استفاده برای اندازه گیری فاصله و زاویه، دستگاه های کلاسیک بودند ولی امروزه از دستگاه های مدرن استفاده می شود.

روش های مدرن تعیین موقعیت



استفاده از سیستم های ماهواره ای

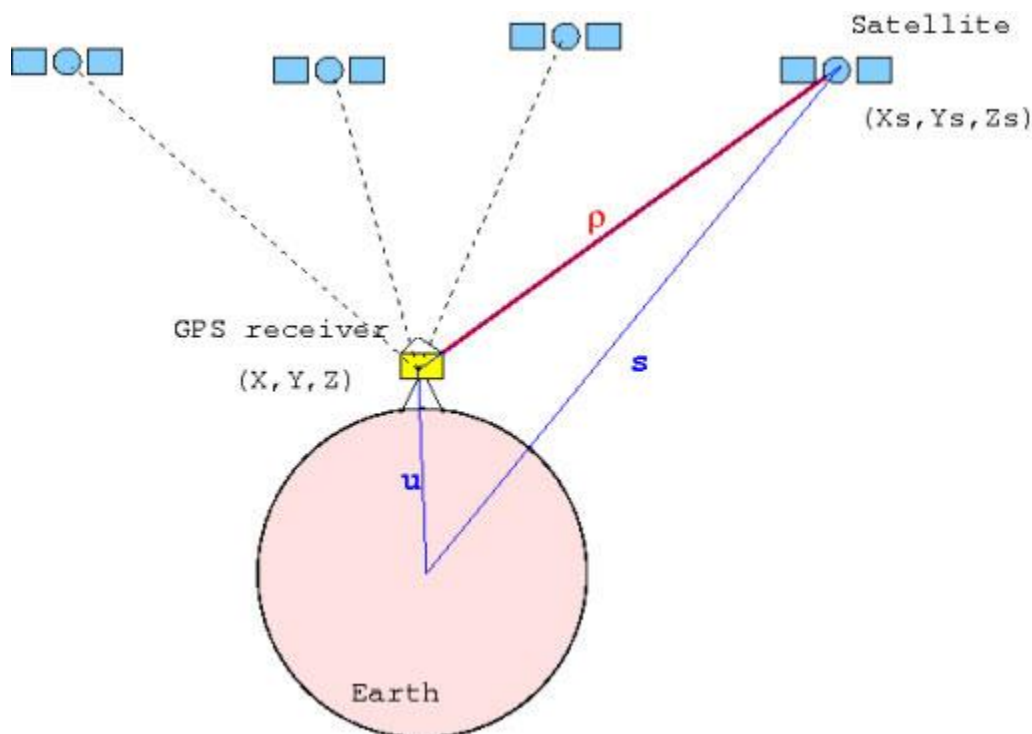
یکی از نکاتی که در بالا به آن اشاره شد این است که همیشه برای به دست آوردن موقعیت یک نقطه، نیاز به داشتن یک نقطه معلوم در نزدیکی آن داریم. اما یکی از مشکلات روش های کلاسیک **در دسترس نبودن نقاط معلوم** می باشد. در نتیجه سازمان های نقشه برداری در سراسر دنیا مجبور به ایجاد نقاط معلوم هستند.

دانشمندان برای رفع این مشکل به پرتاب ماهواره ها روی آوردند. در *واقع ماهواره ها* در روش های نوین، نقش نقاط معلوم را بر عهده دارند. البته نقاط معلومی که در تمامی مکان ها و زمان ها در دسترس هستند. پس در روش های ماهواره ای، نقاط معلوم، همان ماهواره ها می باشند.

پس به طور کلی در روش های ماهواره ای ما نیاز به سیستم های تعیین موقعیت ماهواره ای داریم. این سیستم ها از مجموعه ای از ماهواره ها تشکیل شده اند. طراحی این ماهواره ها به نوعی است که در هر مکانی از کره زمین و در هر زمان و شرایط آب و هوایی که قرار داشته باشیم، به تعدادی ماهواره دسترسی داریم. این ماهواره ها اطلاعاتی را از طریق سیگنال ها به

سمت ما ارسال می کنند. این اطلاعات توسط گیرنده ها دریافت شده و با حل مساله تعیین موقعیت، مختصات گیرنده به دست می آید.

سیستم های تعیین موقعیت ماهواره ای مختلفی در دنیا وجود دارد. ذکر این نکته خالی از لطف نیست که داشتن یک سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای موجب رشد چشمگیر صاحب آن سیستم از نظر نظامی، اقتصادی و توان تکنولوژی می شود. بقیه کشورهایی که به صورت مصرف کننده این سیستم ها هستند نیز می توانند با استفاده از آن در صف کشورهای توسعه یافته قرار گیرند.

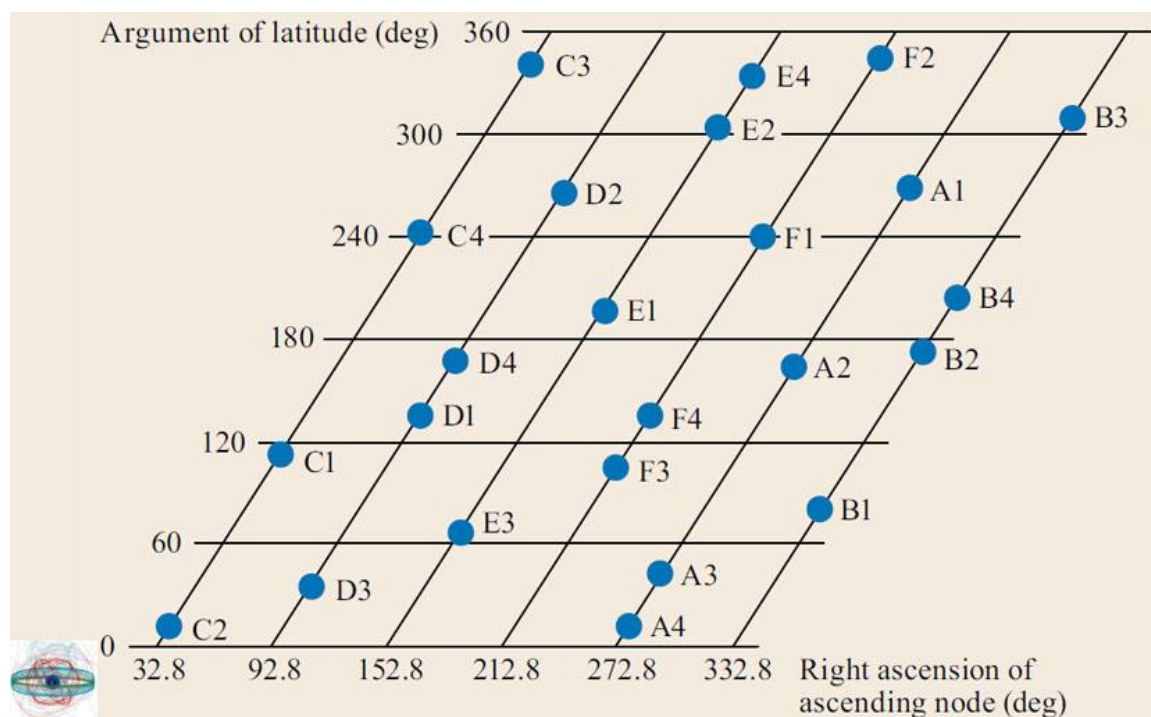


ماهواره های GPS

برای آشنایی بهتر با سیستم های تعیین موقعیت ماهواره ای GNSS باید درباره GPS اطلاعاتی داشته باشیم. GPS به عنوان اولین سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای توسط ایالات متحده آمریکا در دهه 70 میلادی آغاز به کار کرد. در سال 1995 بود که به صورت علمی این سیستم در اختیار کاربران قرار گرفت و به عنوان اولین جزء از سیستم های تعیین موقعیت ماهواره ای GNSS شناخته شد. کتاب ها و نوشته های مختلفی درباره معرفی این سیستم عرضه شده اند. GPS که مخفف Global Positioning System می باشد، از سه قسمت فضایی، کنترل و قسمت گیرنده های زمینی تشکیل شده است.

قسمت فضایی GPS

قسمت فضایی GPS به صورت اسمی از 24 ماهواره تشکیل شده است. این ماهواره ها در شش مدار که نسبت به صفحه استوایی 55 درجه اختلاف دارند، در حال گردش به دور زمین هستند. این 6 مدار عبارتند از A B C D E F. ماهواره های موجود در هر مدار توسط عددی به نام Slot مشخص می شوند. مثلاً A1 بیانگر اولین ماهواره در مدار A می باشد.



ماهواره های GPS هر 11 ساعت و 58 دقیقه یکبار مسیر مدار خود را طی می کنند. در سال های اخیر پیکربندی ماهواره های GPS دچار تغییر شده و به 31 ماهواره افزایش پیدا کرده است. این افزایش ماهواره ها به این صورت بود که هر کدام از ماهواره های B1, D2, F4 و B1 دو Slot تقسیم می شوند. اطلاعات این ماهواره های اضافی را در تصویر زیر مشاهده می کنید. به این ماهواره ها Expandable Slots می گویند. علاوه بر این سه ماهواره 4 ماهواره که به آن ها ماهواره های اضافی Surplus گفته می شود نیز در نزدیکی ماهواره هایی که قرار است از رده خارج شوند قرار دارند.

Expandable slot		Right ascension of ascending node (RAAN)	Arg. of latitude
B1 expands to:	B1F	332.847°	94.916°
	B1A	332.847°	66.356°
D2 expands to:	D2F	92.847°	282.676°
	D2A	92.847°	257.976°
F2 expands to:	F2F	212.847°	0.456°
	F2A	212.847°	334.016°



برای اینکه ماهواره های GPS در محل ظاهری خود به درستی قرار گیرند نیاز به انجام مانورهایی دارند. این مانورها هر 1 تا 2 سال یکبار انجام می شوند. وقتی ماهواره ای را بخواهند از مدار خارج کنند، پیغام ناوبری برای آن ارسال نمی شود و ارتفاع آن به 500 کیلومتر کاهش می باید تا در مدار disposal قرار گیرد.

از سال 1978 تا کنون 67 ماهواره با موفقیت در مدار قرار گرفته اند و در حال حاضر 31 ماهواره در دسترس می باشند. ساعت اتمی مهمترین قسمت ماهواره های GPS می باشند که وظیفه همزمان کردن سیگنال تولید شده با سیستم زمانی را بر عهده دارند. در ادامه به صورت خلاصه، بلوک های مختلف ماهواره های GPS مورد ارزیابی قرار گرفته اند.

ماهواره های بلوک I

ماهواره های GPS کمپانی Rockwell International وظیفه ساخت اولین سری از ماهواره های GPS به منظور تست اولیه سیستم را بر عهده داشت. این سری شامل 11 عدد ماهواره با شماره های 1 تا 11 بودند که از پایگاه نیروی هوایی Vandenberg در نزدیکی شهر لس آنجلس و در طول سال های 1978 تا 1985 توسط موشک های بالستیک بین قاره ای Atlas-E/F به فضا پرتاب شدند. تمامی 11 ماهواره به جز SVN7 در مدار قرار گرفتند. تمامی این ماهواره ها دارای سه ساعت اتمی رویدیم و هشت ماهواره آخر علاوه بر آن دارای یک ساعت اتمی سزیم بودند. وزن این ماهواره ها در حدود 450 کیلوگرم و مساحت عرضی آن در حدود 5.3 متر مربع بود. این ماهواره ها انرژی خود را از دو پنل خورشیدی با قدرت 400 وات و نیز باتری های نیکل-کادمیوم تامین می کردند. طول عمر این ماهواره ها 5 سال بود ولی بعضی آن ها تا 10 سال نیز در مدار فعالیت می کردند. آخرین ماهواره این بلوک در سال 1995 از مدار خارج شد.

ماهواره های بلوک II/IIA

ماهواره های GPS در سال 1983 کمپانی Rockwell International، قرارداد ساخت 9 ماهواره بلوک II را به امضا رسانید. در سال 1984 با اضافه شدن توانایی های جدید، 19 ماهواره در سری IIA نیز ساخته شد. از جمله این قابلیت ها میتوان به توانایی ادامه فعالیت ماهواره بدون برقراری ارتباط با ایستگاه های کنترل تا 180 روز اشاره نمود. فرآیند ساخت و پرتاب این ماهواره ها تا سال 1997 ادامه یافت. تمام این ماهواره ها دو ساعت اتمی رویدیم و یک ساعت اتمی سزیم حمل می کردند. عمر مفید این ماهواره ها 7.5 سال و وزن آنها 850 تا 990 کیلوگرم بود. توان پنل های خورشیدی این سری 700 وات بود که نسبت به بلوک I افزایش چشمگیری داشت. SVN35 و SVN36 توانایی فاصله یابی لیزری با استفاده از Retro-reflector را دارا بودند. در حال حاضر هیچ کدام از این ماهواره ها در مدار قرار ندارند. لازم به ذکر است که ماهواره های این بلوک و بلوک های بعدی از طریق پایگاه نیروی هوایی Cape Canaveral در فلوریدا پرتاب شده اند.

ماهواره های بلوک IIR و IIR-M

ماهواره های GPS این بلوک که توسط Lockheed Martin ساخته شده است شامل 21 ماهواره می باشد. 8 ماهواره آخر این بلوک پیشرفته یا Modernized هستند و لذا به آن ها IIR-M می گویند. این ماهواره ها از سال 2004 تا 2009 پرتاب و در مدار قرار گرفتند. تمامی این ماهواره ها دارای سه ساعت اتمی رویدیم هستند. عمر مفید این ماهواره ها

7.5 سال و وزن آن ها 1080 کیلوگرم است. انرژی ذخیره شده توسط پنل های خورشیدی نیز به 1140 وات افزایش یافته است. باتری های ذخیره انرژی در این بلوک ها از نوع نیکل-هیدروژن می باشد. ماهواره های بلوک IIR-M یک سیگنال جدید عمومی L2C و یک سیگنال نظامی علاوه بر سیگنال های کلاسیک GPS (سیگنال های L1 و L2) ارسال می کنند. هفتمین ماهواره بلوک IIR-M یعنی SVN49 سیگنال سوم عمومی یعنی L5 را ارسال می کرد. ولی این ماهواره به دلایلی دچار مشکل شد و از مدار خارج گردید.

ماهواره های بلوک IIF

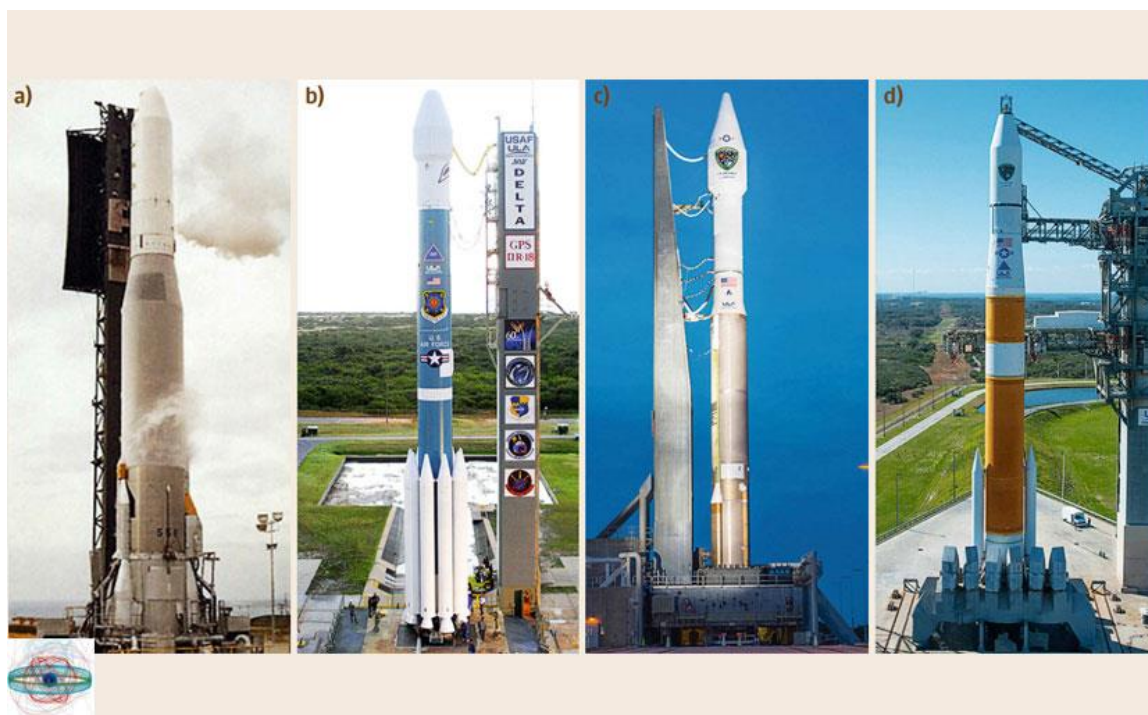
ماهواره های GPS کمپانی Rockwell International وظیفه ساخت این ماهواره ها را بر عهده داشت. تعداد اولیه ماهواره های این بلوک 33 بود ولی به 12 عدد کاهش پیدا کرد. توان تولیدی پنل های خورشیدی آن ها 2610 وات می باشد که در باتری های نیکل-هیدروژن ذخیره می شود. عمر مفید این ماهواره های 12 سال در نظر گرفته شده است. وزن آن های نیز در حدود 1630 کیلوگرم می باشد. این ماهواره ها علاوه بر تمامی سیگنال های ارسالی توسط بلوک IIR-M، سیگنالی با فرکانس 1176.45 مگاهرتز نیز ارسال می کند. اولین ماهواره این بلوک در سال 2010 پرتاب شد و در حال حاضر تمامی 12 ماهواره این بلوک در حال فعالیت در مدار می باشند.

ماهواره های GPS III

ماهواره های GPS در سال 2008 بود که کمپانی Lockheed Martin شروع به ساخت نسل سوم ماهواره های GPS کرد. این شرکت باید دو ماهواره از این نسل را تولید کند و در صورت نیاز تعداد ماهواره های تولیدی به 10 عدد نیز می رسد. در ابتدا نام آن ها بلوک III بود ولی در حال حاضر به آن ها GPS III گفته می شود. هر کدام از ماهواره های GPS III، سه ساعت اتمی روبیدیوم را حمل می کنند. این ماهواره ها سیگنال چهارم برای استفاده عموم یعنی سیگنال L1C را علاوه بر سیگنال های قبلی ارسال خواهند کرد. وزن این ماهواره ها 2200 کیلوگرم می باشد. میزان انرژی تولیدی توسط پنل های خورشیدی که از جنس گالیوم-آرسنیک می باشند در حدود 4480 وات می باشد. عمر مفید این ماهواره ها در مدار 15 سال در نظر گرفته شده است. این ماهواره ها قابلیت فاصله یابی لیزری از طریق رفلکتورهای موجود بر روی بدنه آن ها را دارا می باشند. این ماهواره های در پروژه عظیم سیستم Sarsat-Cospas نیز شرکت خواهند داشت.

پرتاب ماهواره های GPS

همان طور که در بالا اشاره شد، ماهواره های بلوک I توسط موشک های بالستیک بین قاره ای Atlas-E/F به فضا پرتاب شدند. ماهواره های بلوک های IIR، II/IIA و IIR-M توسط Delta II پرتاب شده اند. این ماهواره بر ها قدرت کافی برای در مدار قرار دادن ماهواره ها با دقت بالا را نداشتند. در واقع این ماهواره بر ها ابتدا ماهواره ها را به ارتفاع 20000 کیلومتری می رساندند که نزدیک به مکان صحیح مدار ماهواره بود. سپس موتورهای Apogee Kick که در نوک این ماهواره بر ها قرار داشتند وظیفه انتقال دقیق ماهواره ها را برعهده داشتند. ماهواره های بلوک IIF توسط Delta IV و Atlas V پرتاب شده اند. این ماهواره بر ها قدرت کافی برای قرار دادن ماهواره در مکان صحیح خود در مدار را دارا بودند و دیگر نیازی به موتورهای کمکی نبود. هر چند با توجه به حجم بالای این ماهواره بر ها نیاز به بازوهای کمکی برای قرار دادن ماهواره در مدار صحیح خود وجود دارد. در تصویر زیر این ماهواره بر ها را مشاهده می کنید.



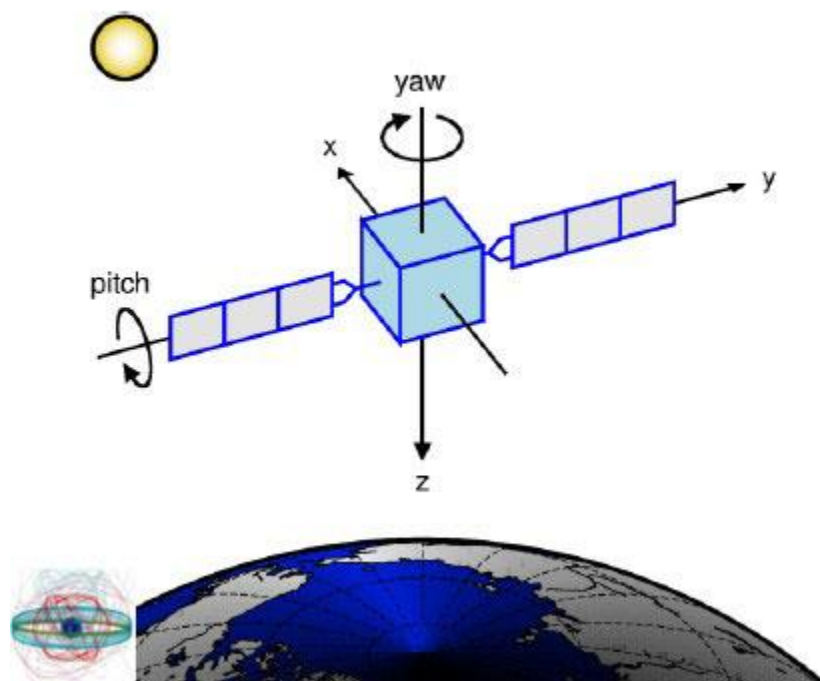
F, b) Delta II, c) Atlas V, d) Delta IV-a) Atlas

برای پرتاب ماهواره های GPS ابتدا ماهواره در پیکربندی مشخص قرار می گیرد. مثلاً پنل های خورشیدی در کنار ماهواره جمع می شوند. محل قرار گیری ماهواره در بالاترین نقطه ماهواره بر می باشد. این محل در برابر فشار ناشی از پرتاب و گذر از لایه اتمسفر زمین محافظت شده است. همان طور که در شکل بالا مشاهده می کنید، شکل ماهواره بر ها با هم متفاوت می باشند. مثلاً تعداد پایه های نگه دارنده با هم فرق می کند. سوخت مورد نیاز برای پرتاب نیز متفاوت است. معمولاً از ترکیب سوخت موشک و هیدروژن مایع استفاده می شود. در لحظه پرتاب، پایه های نگه دارنده، ماهواره بر را رها کرده و سوخت اشاره شده، انرژی لازم برای پرتاب را فراهم می کند. هر ماهواره بر از تعدادی موتور تشکیل شده است. هر موتور پس از سوختن به مدت مشخصی رها می شود. مثلاً پس از 128 ثانیه یکی از موتورهای رها می شوند. موتور بعدی در ثانیه

263 جدا می شود و الی آخر. در مرحله آخر در زمان 1 ساعت و 8 دقیقه (نسبت به لحظه پرتاب)، ماهواره از ماهواره بر به طور کامل جدا می شود. موتورهای کمکی در زمان 4 ساعت و 3 دقیقه از زمان پرتاب ماهواره را در مدار اصلی خود قرار می دهد.

کنترل توجیه ماهواره های GPS

ماهواره های GPS دارای یک سیستم مختصات بسته به ماهواره می باشند که توجیه شان باتوجه به این سیستم مختصات تعریف می شود. محور Z این سیستم مختصات به سمت مرکز زمین و محور Y این سیستم در طول پل های خورشیدی ماهواره و عمود بر جهتی است که خورشید در آن جا قرار دارد. جهت مثبت محور X این سیستم مختصات باتوجه به این که ماهواره از چه بلوکی باشد، به سمت نیمکره ی شامل خورشید (بلوک II/IIA) و یا درخلاف جهت آن (بلوک IIR و IIF) می باشد. به این تعریف در اصطلاح، توجیه ظاهری (اسمی) ماهواره می گویند.



کنترل توجیه ماهواره های GPS در صورت برقراری دو شرط زیر امکان پذیر می باشد. شرط اول این که آنتن ارسال امواج ماهواره همواره باید به سمت مرکز زمین بوده و شرط دوم اینکه پل های خورشیدی همواره به سمت مسیر تابش نور خورشید و عمود بر آن باشند. برای برقراری این دو شرط، ماهواره های GPS باید حول محوری که از آنتن ماهواره می گذرد (محور Z) بصورت ثابت انحراف پیدا کند. به این عمل، YAW می گویند. YAW در لغت به معنای انحراف یافتن از مسیر اصلی می

باشد. درواقع سیستم های ماهواره در این قسمت به گونه ای تعبیه شده اند که با اعمال انحراف معین YAW، شروط اصلی ذکر شده همواره رعایت شود و توجیه ماهواره های GPS برهم نخورد. وظیفه ی اعمال این انحراف برعهده ی قسمت کنترل توجیه ماهواره می باشد. این قسمت با توجه به جهت دریافت اشعه ی خورشید، صفحات خورشیدی مستقر در روی بدنه ی ماهواره را به سمت خورشید چرخانده و توجیه ظاهری ماهواره را حفظ می کند.

نکته ی مهمی که در این جا مطرح می شود اینست که قسمت کنترل توجیه ماهواره فقط در صورت دریافت نور خورشید می تواند توجیه ماهواره ها را حفظ کند و در صورتی که ماهواره در سایه ی زمین قرار گیرد و توانایی دریافت نور خورشید را نداشته باشد، شروع به انحراف و چرخش در جهتی غیر قابل پیش بینی می کند و لذا توجیه ماهواره از دست می رود. برای حل این مشکل از مدل های توجیه استفاده می کنند. در بعضی از پروژه ها نیز اقدام به حذف مشاهدات ماهواره هایی که در سایه زمین قرار دارند می کنند

قسمت کنترل GPS

در ادامه معرفی انواع سیستم های تعیین موقعیت ماهواره ای GNSS، به قسمت کنترل GPS می رسیم. هر سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای از سه قسمت فضایی، کنترل و زمینی تشکیل شده است.

ماهواره های GPS توسط قسمت کنترل GPS، نظارت، ردیابی و کنترل می شوند. قسمت کنترل GPS از یک ایستگاه اصلی که در پایگاه نیروی هوایی Schriever در Colorado قرار دارد و نیز تعدادی ایستگاه مانیتورینگ که در سرتاسر جهان گسترده شده اند، تشکیل شده است. در ایستگاه های مانیتورینگ، گیرنده های دقیق GPS به صورت دائمی در حال جمع آوری اطلاعات ماهواره های GPS می باشند. این ایستگاه ها علاوه بر گیرنده های دقیق شامل ساعت اتمی، سنسورهای هواشناسی و تجهیزات ارتباطی می باشند. اطلاعات جمع آوری شده توسط ایستگاه های مانیتورینگ هر 1.5 ثانیه، به ایستگاه اصلی ارسال می شود.



ایستگاه اصلی شامل تجهیزات کامپیوتری برای پردازش اطلاعات دریافتی از سمت ایستگاه های مانیتورینگ می باشد. ابتدا خطاهای موجود در این مشاهدات دریافتی را تصحیح کرده و مشاهدات تصحیح شده را به مرحله پردازش توسط فیلتر کالمن می فرستد. تاخیر یونسفری توسط ترکیب های خطی استاندارد حذف شده و تاخیر تروپوسفری نیز با استفاده از مدل Niell-Saastamoinen تصحیح می شوند. زمان آپدیت مشاهدات در فیلتر کالمن 15 دقیقه یکبار می باشد. خروجی فیلتر کالمن عبارت است از:

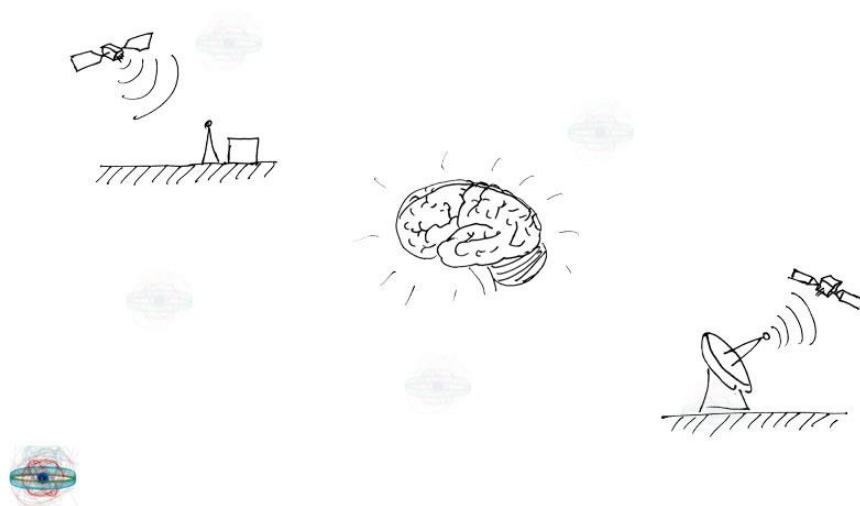
برای هر ماهواره: 3 مولفه مختصات، 3 مولفه بردار سرعت که همگی در سیستم مختصات اینرشیال که مرکز آن مرکز زمین می باشد.

2 پارامتر فشار تشعشعات خورشیدی

3 پارامتر مربوط به ساعت ماهواره

برای هر ایستگاه مانیتورینگ: ارتفاع قسمت تر تروپوسفر و 2 پارامتر ساعت ایستگاه

با توجه به تعداد ماهواره های سیستم GPS و نیز تعداد ایستگاه های قسمت کنترل، خروجی هر بار اجرای فیلتر کالمن بیش از 380 پارامتر می باشد. پس از محاسبه پارامترهای عنوان شده در بالا، باید محاسباتی انجام شود تا تغییرات این پارامترها در گذر زمان نیز مشخص شود. این تغییرات برای محاسبه مقادیر پیش بینی مدار ماهواره ها نیاز است. سیستم GPS به گونه ای طراحی شده است که ماهواره های آن، حتی در صورت عدم ارتباط با قسمت کنترل، می توانند تا چند روز پیغام ناوبری را برای کاربر ارسال نمایند. زیرا مقدار پیش بینی این ماهواره ها تا 60 روز آینده برای آن ها، توسط قسمت کنترل محاسبه شده و ارسال می گردد.



فرآیند ارسال پیغام ناوبری به ماهواره های GPS

با استفاده از آنتن های با قدرت دریافت بالا (High Gain) داده های مربوط به پیغام ناوبری به ماهواره ها ارسال می شود. این کار توسط سیستم ارسال زمینی نیروی هوایی به نام SGLS انجام می شود. در این کار از فرکانس ارسال 1783.74 مگاهرتز و فرکانس دریافت 2227.50 مگاهرتز استفاده می شود. آنتن های مورد استفاده در این قسمت دارای ارتفاعی در حدود 10 متر می باشند. این آنتن ها برای ارسال داده باید به سمت ماهواره مشخصی قرار داشته باشند. در نتیجه فرآیند ارسال به یک برنامه ریزی دقیق و زمان بندی مشخص توسط قسمت کنترل GPS نیازمند است. مدت زمان لازم برای ارسال پیغام ناوبری برای هر ماهواره در حدود 45 دقیقه است. با توجه به این که 31 ماهواره در این سیستم وجود دارد، نیاز به تقریباً 24 ساعت ارسال داده در هر روز دارد. از طرفی اگر ماهواره ای دچار مشکل شود، باید در یک روز بیش از یک بار عملیات ارسال پیغام ناوبری برای آن انجام شود.



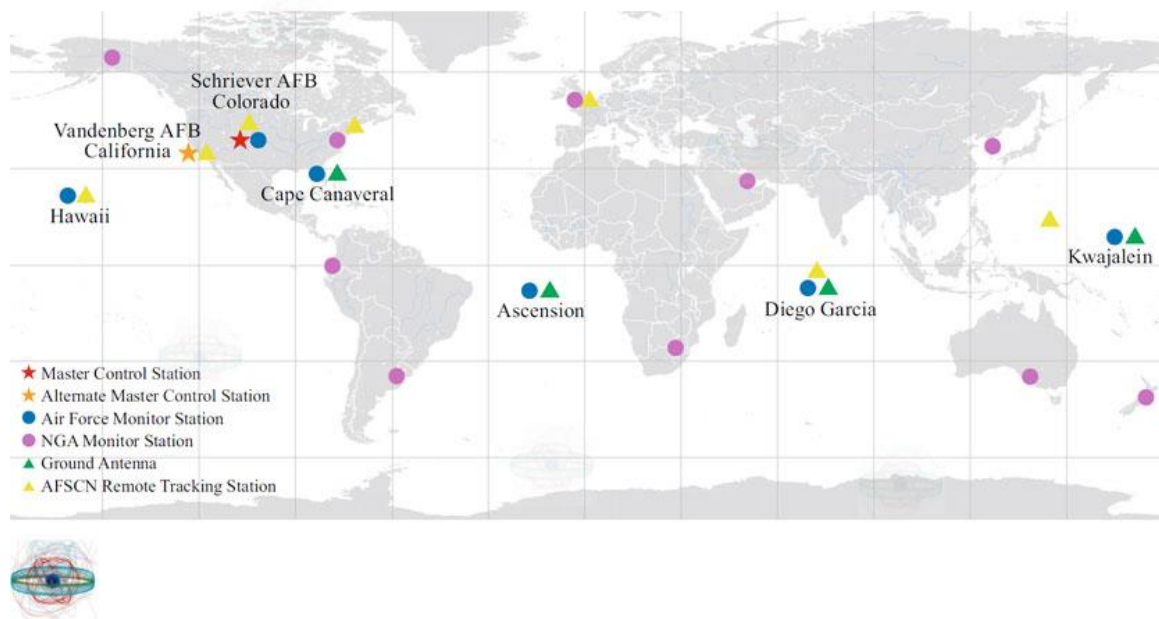
تاریخچه ای از قسمت کنترل GPS

ساخت اولیه قسمت کنترل GPS در سال 1974 بر عهده شرکت General Dynamics بوده است. طرح اولیه شامل ساخت 4 ایستگاه مانیتورینگ برای ایستگاه اصلی که در پایگاه نیروی هوایی Vandenberg قرار داشت، بود. این روند تا سال 1985 ادامه پیدا کرد.

در سپتامبر 1980، قراردادی با IBM Federal Systems بسته شد تا ایستگاه های جدید برای قسمت کنترل GPS ایجاد کند. این ایستگاه ها از سال 1985 تا سال 2007 به کار خود ادامه دادند. این ایستگاه ها شامل 6 ایستگاه مانیتورینگ و 4 آنتن زمینی بودند. 8 تا از این ایستگاه ها توسط آژانس اطلاعاتی جغرافیایی ملی آمریکا NGA اداره می شد. این ایستگاه ها که در سال 2006 به قسمت کنترل GPS اضافه شدند، قسمتی از پروژه L-All بودند. این پروژه باعث بهبود الگوریتم های پردازش در سیستم کنترل GPS شد.

در سال 1996 قراردادی برای مدرن شدن ایستگاه های سیستم کنترل با شرکت Lockheed Martin بسته شد. در سال 2000 نیز همزمان با توسعه بلوک IIF، قراردادی با شرکت بوئینگ برای ایجاد ایستگاه های کنترل پیشرفته بسته شد که تا کنون نیز این قرارداد پابرجاست. این پروژه با عنوان AEP شناخته می شود. پروژه AEP از سال 2007 اجرایی شد و یکی از نتایج آن ایجاد یک ایستگاه اصلی جانشین در Vandenberg بود.

نمای کلی تعداد ایستگاه های مربوط به سیستم کنترل GPS را در زیر مشاهده می کنید.



منابع:

- *GPS DATA PROCESSING METHODOLOGY: FROM THEORY TO APPLICATIONS* Geoffrey Blewitt Department of Geomatics, University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, United Kingdom
- *Global positioning system: a new opportunity in physical activity measurement*, Ralph Maddison, Cliona Ni Mhurchu
- سایت <http://gistech.ir>
- جزوه مهندس محمد علی فرشادفر در خصوص آموزش مصور MapSource