GPS در نقشه‌برداری (۱)

دکتر حسن شمسی

۱) مقدمه

تعیین موضع (یا موقعیت) بر مبنای فضا از اوایل سال ۱۹۶۰ به توسط ایالات‌متحده و ناسا (NASA) شروع و پی‌گیری شده یکی از این سیستم‌های اولیه و خیلی موفقیت‌آمیز برای تعیین موضع، ماهواره ترانزیت (TRANSIT) نام داشت، این ماهواره از زمان رهایی‌اش برای استفاده‌های تجارتی در سال ۱۹۶۷، کاربردهای زیادی هم در نقشه‌برداری و ژئودزی بخصوص در جاهایی که، هدف برقرارسازی یک شبکهٔ وسیع از ایستگاهها در نواحی بزرگ و حتی روی تمام کرهٔ زمین بود به‌دست آورد. سیستم ماهوارهٔ ترانزیت برای برقراری فرضهای ژئوسنتریک جدید و برای ربط داده‌ها (مفروضات) مختلف محل به یک چهارچوب مراجعهٔ ژئوسنتریک (یعنی مبداء آن در مرکز زمین باشد) خیلی برفایده بوده است. متأسفانه، این سیستم ماهواره‌برای نقشه‌برداری در قطعات محدود و در پیمایشها دقت کافی به دست نمی‌داد. ترانزیت فقط با متجاوز از یک روز مشاهده و رصد، دقتی زیر یک متر می‌دهد. برای پوشش کامل زمین فقط شش ماهوارهٔ ترانزیت آماده می‌باشند. زمانهای انتظار بین ماهواره‌های ترانزیت تا یک و نیم ساعت طول می‌کشد. این ماهواره‌ها در ۱۰۰۰ کیلومتری فوق زمین گردش می‌کنند و بدین ترتیب بیشتر از ماهواره‌های G.P.S. که در مدارهای خیلی بالاتر قراردارند در معرض تأثیر تغییرات میدان ثقل محل قرار می‌گیرند. انتقالهای ماهواره‌های ترانزیت که درفرکانسهای ۱۵۰ و ۴۰۰ (MHZ) انجام می‌گیرند بیشتر از انتقالهای ماهواره‌های G.P.S. که در فرکانسهای بالاتر صورت می‌گیرند دچار تأخیر و اختلالات آیونوسفریک می‌شوند. بالاخره تکنولوژی ساعت درسالهای اخیر برای تأمین انتقال پایدار ماهواره‌ها خیلی بهبود یافته است. ترانزیت به واسطه کمی دقت و وقت‌گیری زیاد در مقابل ماهواره‌هایی که بعداً ظهور کردند (بخصوص G.P.S.) مورد کم‌توجهی قرار گرفت. در سال ۱۹۷۴، در یک نامه غیررسمی قائم مقام وزیر دفاع ایالات متحده تقاضا شده بود که برای رضایت ناوبری نظامی آینده، احتیاجات زمانی آن، ابداع یک وسیلهٔ جامع و کامل در دستور کار قرار گیرد. از اینجا G.P.S. ناواستار[1] متولدشد.

وزارت دفاع ایالات متحده در ۲۸ ژوئن ۱۹۸۳ یک سیستم G.P.S. ناواستار جدیدتر برای کاربردهای غیرنظامی را معرفی کرد.

با برتاب نخستین ماهوارهٔ G.P.S. غیرآزمایشی، نقشه‌برداری یک‌گام تاریخی به‌طرف جلو برداشت، ومطمئن ساخت که G.P.S. بزودی یکی از تکنیکهای جدید و کامل نقشه‌برداری در جهان خواهد شد. شاید برجسته‌ترین چهرهٔ نقشه‌برداری با G.P.S. این باشد که تمام موارد و موضوعات مختلف مربوط به نقشه برداری را یکجا و سریع و خیلی دقیق انجام می‌دهد. برای اشخاص حرفه‌ای و دانشجویان که در نقشه برداری زمینی، ژئودزی، کاداستری، و هیدروگرافی کار می کنند و همچنین فتوگرامتریستها و متخصصان علوم جغرافیایی، نقشه‌برداری باهوارهٔ G.P.S. یک تکنیک جدید انقلابی را مجسم می‌سازد. درک عمیق آن نیازمند مفاهیم جمع شده از نقشه برداری، ژئودزی، نجوم، آمار، جبر خطی، سیستمهای تعیین زمان، مکانیک حرکات مداری، والکترونیک و کامپیوتر می‌باشد. با اینکه تکنولوژی سیستم ماهوارهٔ G.P.S. وگیرندهٔ آن خیلی پیچیده هستند، مفهوم کاربردی و عملی آن مشکل نیست.

۲) کاربردهای G.P.S.

نقشه‌برداری با G.P.S. فقط یک بخش کوچک از طیف کلی کاربردهای ممکنه از G.P.S. است. کاربردهای غیر نظامی که برای G.P.S. پیش بینی شده‌اند به‌قرار زیر می‌باشند:

۱) نقشه‌برداری کاداستری؛
۲) انبوسازی شبکهٔ ژئودتیک[2]؛
۳) تعیین موضع خیلی دقیق هواپیما؛
۴) فتوگرامتری بدون کنترل زمینی؛
۵) تغییرشکل اخطارآمیز[3]؛
۶) نقشه‌برداری هیدروگرافیک؛
۷) ایستگاههای کنترل فعال[4]؛
۸) ناوبری روی خشکی؛
۹) ناوبری روی دریاها؛
۱۰) ناوبری درهوا؛
۱۱) ناوبری درفضا؛
۱۲) ناوبری درلنگرگاهها[5]؛
۱۳) ناوبری درورودخانه‌ها؛
۱۴) ناوبری وسائل نقلیه تفریحی[6]؛
۱۵) نقشه‌برداریهای سینماتیکی خیلی دقیق روی زمین؛
۱۶) هدایت آدموارها[7] وماشینهای دیگر.

با ظهور و پیشرفت G.P.S. سیستمهای دیگر ناوبری الکترونیکی ازقبیل TACAN، TRANSIT، LORAN-C، OMEGA، VOR/DME به‌تدریج از گردونهٔ نظامی خارج شدند. انتظار می‌رود تا سال ۱۹۹۲، سیستم G.P.S. به‌عنوان یک ابزار مکمل ناوبری نظامی مورد استفاده قرارگیرد و تا سال ۱۹۹۵، یگانه وسیلهٔ کمک به ناوبری و نقشه‌برداری ژئودتیک باشد.

ماهواره‌های G.P.S. در مدارهای‌شان به دور زمین، هدفهایی هستند در آسمان و در محلهای معلوم؛ گیرنده‌ای که روی زمین قرار می‌گیرد وآنتن آن درست روی یک نقطهٔ مجهول متمرکز می‌شود، فاصلهٔ این نقطه را تا تمام ماهواره‌هاییکه در دید قراردارند تعیین می‌کند؛ بافاصله‌های معلوم ازموضع آنتن ۳ یا ۴ ماهواره، می‌توان موضع آنتن گیرنده را با روش تقاطع[8] تعیین کرد؛ زیرا این موضع محل برخورد سه کره می‌باشد که مرکز هریک از آنها یکی از ماهواره‌ها و شعاع هرکدام طول فاصلهٔ تعیین شده است. دقت تعیین موضع گیرنده به‌دقت تعیین فاصله تا ماهواره، بستگی دارد.

نقشه‌برداری G.P.S. یک نقشه‌برداری ژئودتیک است. نقشه‌بردار می‌تواند با G.P.S. اختلاف موضع بین دو نقطه از زمین را وقتی که یکی از آنها معلوم باشد تعیین کند. G.P.S. برای منظورهای نقشه-

برداری ، یک سیستم تعیین موقع نسبی است و اگر نقطهٔ معلوم در مختصات سیستم ژئودتیک جهانی ۱۹۸۴[9] باشد ، موقع نقطهٔ دوم نیز در همان سیستم تعیین خواهدشد.

نتیجهٔ عمده در یک نقشه‌برداری G.P.S. عبارت است از یک کثیرالوجوه[10] از ایستگاهها که محلهای نسبی آنها به‌طور دقیق معلوم می‌باشند . می‌توان این محلهای هندسی را سرانجام برحسب مختصات بیضوی (یعنی ، عرض جغرافیایی ، طول جغرافیایی و ارتفاع) تعبیر کرد.

مشاهدات G.P.S. برای تعیین موقعیت این ایستگاهها در یک سیستم مختصات کارتزین که مبداء آن در مرکز زمین است پردازش می‌شوند و سپس همان‌طور که اشاره شد به سیستم مختصات ژئودتیک (طول جغرافیایی ، عرض جغرافیایی ، و ارتفاع در فوق بیضوی مرجع) مبدل می‌گردند . باید توجه داشت که ارتفاع بیضوی ارتفاع اورتومتریک نیست.

۳) آرایش آسمانی ماهواره‌ها[11]

سیستم G.P.S. برای پشتیبانی ناوبری نظامی و نیازهای تعیین زمان تکامل پیدا کرد این سیستم اگر به‌طور کامل مورد استفاده قرار بگیرد ، آمادگی ۲۴ ساعته را برای ناوبری و نقشه‌برداری در همه نوع هوا را ممکن می‌سازد . درنگاره (۱) یک آرایش آسمانی ممکنه از سیستم کامل G.P.S. نشان داده شده است . برای طرح اولیهٔ این آرایش ۲۴ ماهواره در نظرگرفته شده بود ؛ ولی به‌واسطهٔ ملاحظات بودجه‌ای این تعداد به ۲۱ ماهواره کاهش یافت (طرح ریزی سال ۱۹۸۹) . از این تعداد سه ماهواره به‌عنوان یدکی فعال در نظرگرفته شد تا در صورت بروز یک نقص فنی در ماهواره‌ها از آنها استفاده شود . در آرایش آسمانی (۳+۱۸) ماهواره بعضی نواحی با قابلیت ناوبری ضعیف به‌وجود آمده بود . برای حذف این‌گونه نواحی تصمیم نهایی چنین اتخاذ شد که تعداد ماهواره‌های G.P.S. و آرایش آسمانی تا آخر سال ۱۹۹۰ به ۲۴ عدد برسد؛ تا بدین ترتیب از نواحی با قابلیت ناوبری ضعیف پرهیز شود . همان‌طور که در نگارهٔ (۱) مشاهده می‌کنیم شش صفحهٔ مداری هم فاصله که هر کدام دارای ۴ یا ۴ ماهواره است ؛ وجود دارد . هر صفحهٔ مداری دارای یک میل ۵۵ درجه نسبت به استوا می‌باشد . با این آرایش ، رویت حداقل ۴ ماهواره از هر جای زمین در یک زمان امکان‌پذیر خواهد بود. علاوه برآن ۷ ماهوارهٔ یدکی دیگر هم روی زمین به‌حال آماده نگاهداری شده‌اند.

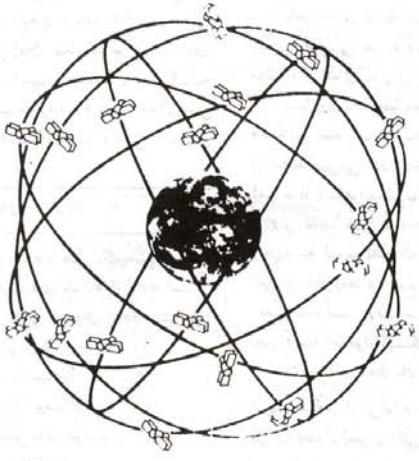
۴) ماهواره‌های بلوک I و بلوک II

تا آخر سال ۱۹۸۹ ، هفت ماهوارهٔ بلوک I در حال کار در دو صفحهٔ مداری که هر کدام دارای میل ۶۳ درجه نسبت به استوا بود قرارداشتند . پرتاب نخستین ماهوارهٔ G.P.S. بلوک II در اوایل سال ۱۹۸۹ انجام شد. از آن موقع به بعد پرتاب ماهواره‌ها به‌طور پیگیر ادامه پیدا کرد ، به‌طوری که تا آخر سال ۱۹۹۰ (همان طور که قبلا اشاره شد) تمام ماهواره‌های بلوک II که شامل ۲۱ تا ۲۴ ماهواره می‌باشند در شش صفحهٔ مداری که هر کدام ۵۵ درجه نسبت به استوا میل دارد در آرایش آسمانی کامل قرار خواهندگرفت . با این ترتیب مشاهدهٔ ۲۴ ساعتهٔ ماهواره‌ها به‌طور پیوسته امکان پذیر خواهد بود . در هر صفحهٔ مداری سه یا چهار ماهواره وجود دارد . ماهواره‌ها تقریباً در ارتفاع ۲۰۲۰۰ کیلومتری فوق زمین قراردارند. مسیر مداری هر ماهواره بیضی نزدیک به دایره است که طول نصف محور بزرگش در حدود ۲۶۰۰۰ کیلومتری می‌باشد . به موجب قانون سوم کپلر بر بودگردش مداری ماهواره یازده ساعت و پنجاه و هشت دقیقه است که اندکی از ۱۲ ساعت کمتر می‌باشد . بدین ترتیب ، ماهواره‌ها وقتی دوگردش مداری انجام می‌دهند زمین ۳۶۰ (یعنی یک روز نجومی [12]) دوران می‌کند . هر روز ماهواره‌ها تقریباً چهار دقیقه زودتر آشکار می‌شوند . چون بر بود مداری مضرب صحیحی از بر بود دوران زمین است ، بنابراین خط اثر ماهواره روی سطح زمین ، خود را در هر روز تکرار می‌کند . خط اثر ماهواره روی زمین ، یعنی اثر بردار ژئوسنتریک ماهواره روی سطح زمین[13] در نظر دارند مدارهای ماهواره‌ها را در حدود ۵۰ کیلومتر زیادتر کنند تا ماهواره‌ها ۴ دقیقه زودتر ظاهر نگردند . اگر مدار یک ماهواره از زنیت[14] شخص ناظر عبور کند ، آن ماهواره تقریباً برای مدت ۵ ساعت مرئی خواهد بود.

در نگارهٔ (۲) یک توزیع تقلیدی از ماهواره‌ها برای ۱۸ ماهواره نشان داده شده است . در این نگاره مسیرهای ماهواره‌های G.P.S. مشاهده می‌شوند. داده‌های مداری برای این حرکات فرض شده هستند . هرچه سیمای نهایی آرایش آسمانی ماهواره‌ها باشد ، سرانجام پوشش ماهواره‌ای روی تمام کرهٔ زمین توزیع یافته خواهد بود.

۵) زاویه ماسک و نواحی سایهٔ زمین

الف) ماهواره‌های G.P.S. به علت ارتفاع زیاد می‌توانند به طور هم زمان در یک بخش بزرگ از زمین دیده شوند . معمولا ماهواره‌ها فقط وقتی که درفوق یک زاویهٔ قائم معین ، به‌نام زاویه ماسک [15] قرار می‌گیرند مشاهده می‌شوند . این زاویه معمولا ۱۰ درجه است . دلیل وجود زاویه ماسک آن است که اثرات تروپوسفریک [16] زمین روی انتشار سیگنال کاربر برای ارتفاعات درون این زاویه قابل پیشگویی نیستند . نگارهٔ (۳) نشان می‌دهد که چگونه زاویه



نگاره ۱

ماسک ؛ ناحیهٔ قابل دید را محدود می‌سازد . زاویه α زاویه مرکزی زمین در مقابل ماهواره است . این زاویه مستقیماً با زاویه ماسک ارتباط دارد .

محاسبات ساده روابط بین این دو زاویه را چنین به دست می‌دهد :

$\varepsilon = 0$	$\alpha = 152^\circ$
$\varepsilon = 5^\circ$	$\alpha = 142^\circ$
$\varepsilon = 10^\circ$	$\alpha = 132^\circ$

زاویه دیدبانی از محل ماهواره‌در تمام حالات در حدود ۷۰ درجه است .

ب) بالاخره وقتی زمین به دورخورشید گردش می کند، درهرسال دوبربود وجود دارد که ماهواره در درون سایهٔ زمین حرکت می کند . این حالت وقتی رخ می‌دهد که خورشید نزدیک یا درصفحهٔ مداری می‌باشد . نگارهٔ (٤) این وضعیت را به‌طور ترسیمی نشان می‌دهد . مخروط تاریکی[17] بخشی است از مخروط کلی سایه که صبح نوری از خورشید به داخل آن نمی‌رسد . ناحیهٔ نیمه تاریک[18] ناحیه‌ای است از مخروط کلی سایه که مخروط تاریکی را احاطه می کند . با اینکه عبور ماهواره از ناحیه‌سایه اهمیت چندانی برای استفاده کننده ندارد ، ولی برای‌محاسبهٔ افه‌ریسهای مداری دقیق دارای اهمیت است . مدت عبور ماهواره‌ها از نواحی سایه کمتر از ۶۰ دقیقه است . مادامی‌که ماهواره‌از نواحی سایه عبور می کند ، نیروی تابش خورشیدی که بر ماهواره وارد می‌شود در ناحیهٔ تاریک صفر و در ناحیهٔ نیمه تاریک تغییر می کند . این تغییر نیروی تابش خورشیدی باید درمدلسازی[19] دقیق مداری درنظرگرفته‌شود .

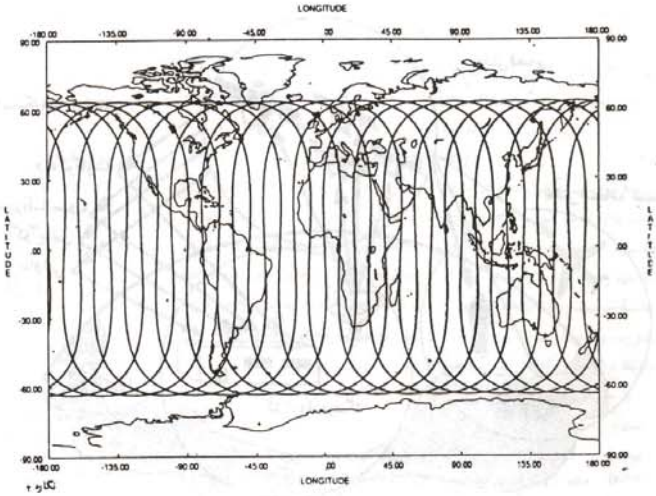
٦) سه بخش اصلی G.P.S.

پیش ازاقدام به تشریح این سه بخش‌لازم‌است این نکته را تذکر دهیم که مهمترین خصوصیات G.P.S. عبارت‌اند از : دقت زیاد در تعیین موقع و تعیین سرعت در سه بعد ، پوشش جهانی ، قابلیت عمل در همه‌گونه هوا ، آمادگی دائمی ، آماده بودن برای تعداد زیادی از استفاده کنندگان ، قابلیت برای تعیین زمان به‌طور دقیق ، آمادگی برای‌مواجه با احتیاجات یک طیف وسیع از استفاده کنندگان (یا به‌کار برندگان)،عدم تحمیل خرج به‌استفاده کننده، مقاومت سخت .

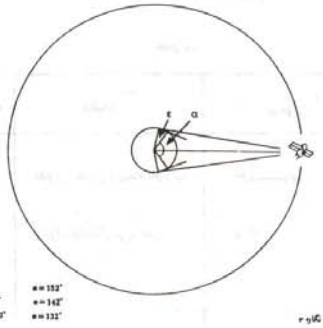
سه بخش اساسی G.P.S. عبارت‌اند از: بخش فضایی، بخش استفاده کننده (یا به کار برنده) ، و بخش کنترل ، نگارهٔ (٥) این سه‌بخش را نشان می‌دهد :

الف) بخش فضایی

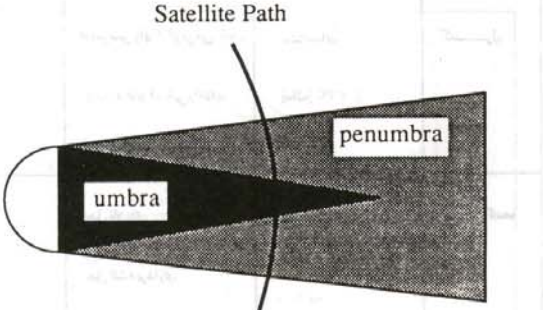
تشکیل شده است از یک عده ماهوارهٔ G.P.S.



نگاره ۳



نگاره ۳



نگاره ٤ Earth shadow regions.

که سیگنالها را روی دو فرکانس حامل [20] مدوله شده انتقال می‌دهند.

این انتقالها به توسط ساعتهای اتمی خیلی پایدار که در داخل ماهواره قرار دارند به‌طور دقیق کنترل می‌شوند. ماهواره‌ها همچنین یک پیغام ناوبری که حاوی داده‌ها و پارامترهای مربوط به مواضع ماهواره‌ها می‌باشد انتقال می‌دهند. وزن هر ماهواره هنگام دخول در مدار نهایی ۱۸۶۰ پاوند است. وقتی ماهواره در مدار قرار می‌گیرد اشعه خورشید مساحتی از آن برابر $7/2m^2$ را می‌پوشاند. سه باطری نیکل — کادمیوم روی بورد [21] ماهواره نشان داده شده‌اند تا در دوران گرفتگی خورشید [22] انرژی بدهد. زمانی که در داخل ماهواره تولید می‌شود مبتنی است بر دو ساعت اتمی سیزیوم و دو ساعت اتمی روبیدیوم.

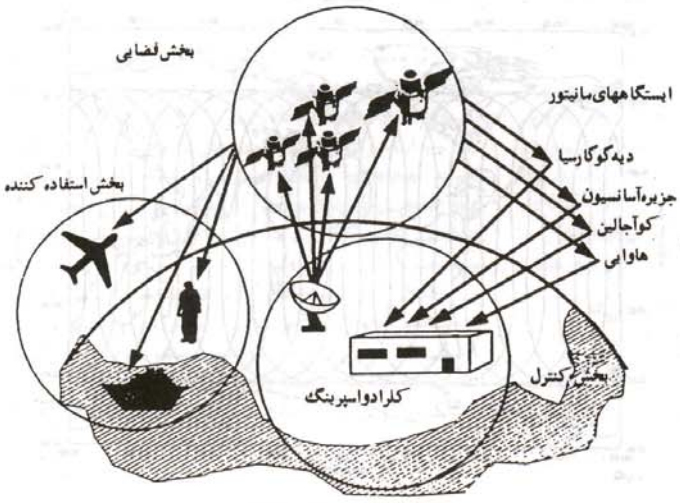
ب) بخش استفاده کننده [23]

عضو مصرف کننده (یا گیرنده) سیگنالهای ماهواره را دریافت می‌کند. گیرنده انتقالهای چندین ماهواره را دریافت و ضبط می‌کند و قواعد ریاضی حل را برای به‌دست آوردن موضع، سرعت، و زمان، به کار می‌برد. گیرنده، برحسب نوع خود، موضع زمانی حقیقی را برای منظورهای ناوبری (یا یک موضع استاتیکی ولی دقیقتر را برای کاربردهای ژئودتیک با مشاهده در طول یک زمان معین، به‌دست می‌آورد.

پ) بخش کنترل

وظیفهٔ این بخش، اجرای ردگیری ماهواره‌ها، محاسبات، انتقال داده‌ها، و نظارت لازم بر کنترل روزانهٔ تمام ماهواره‌های سیستم می‌باشد.

درواقع بخش کنترل مسؤل کاراندازی G.P.S. است. مرکز تحکیم عملیات ماهواره‌ای [24] اکنون در ایستگاه نیروی هوایی فالکون [25] در نزدیکی شهر کلورادواسپرینگ [26] قرار دارد. ماموریت عمدهٔ بخش کنترل عبارت است از تازه کردن [27] پیغام ناوبری ماهواره‌برای این منظور، بخش کنترل تشکیل شده است از یک عده ایستگاههای نظارت [28] که مدام تمام ماهواره‌های واقع در دید را ردگیری می‌کنند. این ایستگاههای ردگیری، یکی در جزیرهٔ دیه‌گوگارسیا [29] و دیگری در جزیرهٔ Ascension (جنوب اقیانوس اطلس) و بعدی در Kwayalein در جزیرهٔ مارسالی و یکی هم در هاوایی می‌باشند. ایستگاه پنجم ایستگاه کنترل اصلی یا ایستگاه‌استر می‌باشد که در نزدیکی شهر کلورادواسپرینگ واقع می‌باشند. علاوه بر ایستگاههای ردگیری، سه ایستگاه هم برای باگیری داده‌ها به‌ماهواره‌ها وجود دارند.



نگاره ۵ — سیستم G.P.S. ناواستار

جدول ۱

بخش	دخولی [32]	وظیفه [31]	محصول [30]
فضا	ناوبری پیغام	کدوفاز کاربر و پیغام ناوبری راتولیدوانتقال می‌دهد.	کدهای P کدهای C/A کاربر L1 و L2 پیغام ناوبری
کنترل	کد P مشاهدات زمان (UTC)	زمان G.P.S. راتولیدمی کند. افمریس راپیشگویی می کند. گردونه‌های فضایی راداره می کند.	پیغام ناوبری
استفاده کننده یا User	مشاهدهٔ کد مشاهده‌فاز کاریر پیغام ناوبری	حل ناوبری حل نقشه برداری	موضع سرعت زمان

داده‌ها (یا مفروضات) از ایستگاههای ردگیری که مواضع آنها در اطراف جهان نجومی معلوم هستند، به ایستگاه کنترل ماستر انتقال داده می‌شوند . در ایستگاه ماستر مدارهای ماهواره‌ها و همچنین تصحیحات ساعت برای ماهواره‌ها مورد پیشگویی قرار می‌گیرند . این داده‌ها بعداً به‌ماهواره‌های متناظر انتقال داده می‌شوند که یک بخش اساسی درپیغام ماهواره‌ها را تشکیل می‌دهند.

مطابق سازی (یا همزمان‌سازی) زمان ماهواره‌ها یکی از مهمترین وظایف بخش کنترل می‌باشد . بنابراین ، ایستگاه کنترل ماستر مستقیماً با استاندارد زمانی رصدخانهٔ نیروی دریایی ایالات متحده در واشنگتن DC مرتبط می‌باشد . در جدول (۱) بخشهای عمدهٔ G.P.S. همراه با کدها و نکات دیگر (که تشریح خواهندشد) آمده‌است.

جدول (۱) وظیفه و محصول سه بخش فضایی ، کنترل واستفاده کننده‌می‌باشد.

۸) انتقالهای ماهواره

الف) یکی از کارهای بسیار جالب G.P.S. اندازه گیری خیلی دقیق زمان می‌باشد . برای این منظور هر ماهواره دارای چندین نوسان ساز[۳۳] خیلی دقیق با پایداری طولانی از مرتبهٔ[۱۰^-۱۳] می‌باشد . مثالهای نمونه‌ای برای پایداریهای مختلف این نوسان‌سازها چنین می‌باشند:

نوع ساعت اتمی $\frac{\Delta f}{f}$ (پایداری)

روبیدیوم	10^{-11}	تا 10^{-12}
سزیوم	10^{-12}	تا 10^{-13}
مایزرئیدروژن	10^{-14}	تا 10^{-5}

این نوسانسازها به‌صورت ساعت‌های اتمی فعالیت می کنند . نوسانسازخیلی دقیق ماهواره دارای یک فرکانس اصلی ۱۰/۲۳ MHZ می‌باشد و تمام فرکانسهای ارسالی دیگر ماهواره از این فرکانس اصلی طبق نگاره (۶) مشتق می‌گردند که عبارت‌اند از:

L_1، L_2، کد C/A، و کد P.

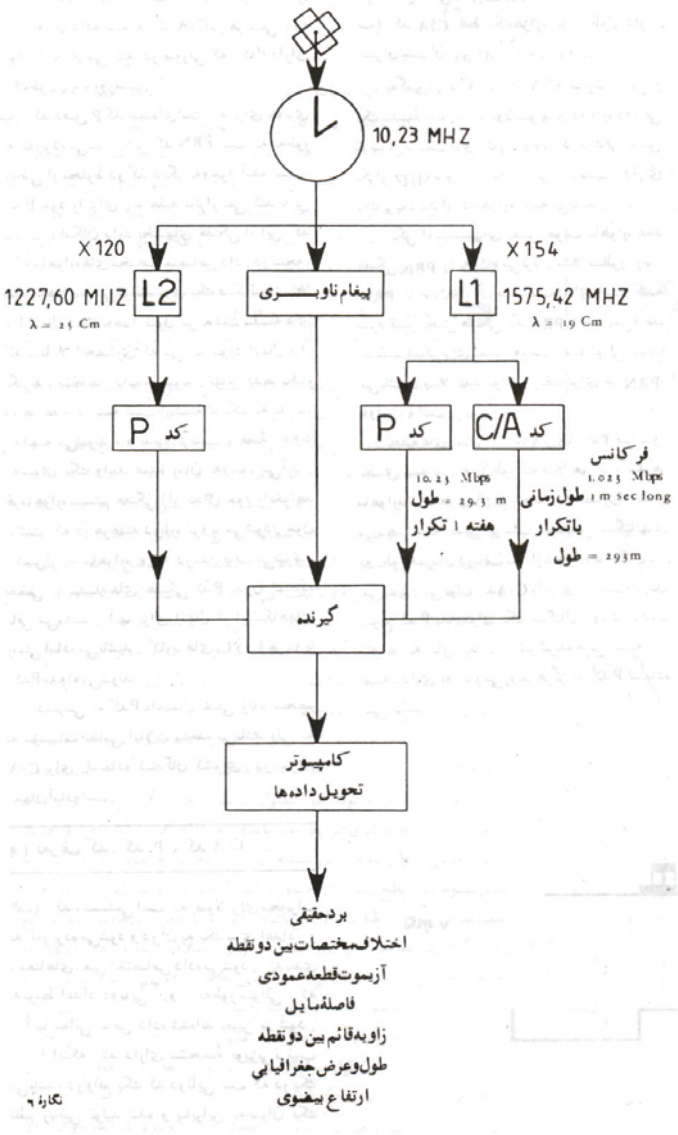
چون فرکانس اصلی را در ۱۵۴ ضرب کنیم فرکانس کاربر L_1 به‌دست می‌آید که چنین است :

$L_1 = 10{,}23 \times 154 = 1575{,}42$ MHZ

و اگر در ۱۲۰ ضرب کنیم فرکانس کاربر L_2 به‌دست می‌آید که چنین است:

$L_2 = 10{,}23 \times 120 = 1227{,}60$ MHZ

پس ماهواره‌های G.P.S. درحالی که درمیان فضا حرکت می کنند دو موج کاربر L_1 و L_2 می‌فرستند



نگارهٔ ۶

که با دو نوع کد P و C/A و یک پیغام ناوبری مدوله شده می‌باشند. (تعریف کد در بند بعد خواهد آمد).

کد P و کد C/A نسبت به یکدیگر به اندازهٔ ۹۰° دوران داده شده‌اند کد C/A در هر میلی ثانیه خود را تکرار می کند در صورتی که کد P دارای یک طول ۲۶۷ روز است.

ب) کد دقیق P کد عمده‌ای است که برای ناوبری به کار برده می‌شود. این کد PRN[35] است که به طور ریاضی از مخلوط دو کد دیگر به وجود آمده است. کد P خود را برای ۳۷ هفته تکرار نمی کند بدین ترتیب، امکان دارد بخشهای هفتگی از این کد را به ماهواره‌های مختلف اختصاص داد. در نتیجه، تمام ماهواره‌ها می‌توانند روی یک فرکانس، مثلا L_1 انتقال دهند، و هم اکنون نیز به علت سلسله های کد متقابلا انحصاری که می‌باید مورد انتقال قرار بگیرند، تشخیص داده می‌شوند. تمام کدها یکبار در هر هفته در لحظهٔ شب از شنبه تا یکشنبه به کار انداخته می‌شوند، و بدین ترتیب، هفتهٔ G.P.S. به عنوان یک واحد عمدهٔ زمان به وجود می‌آید. هر ماهواره سیستم هفتگی (از کد P) خود را خواهد داشت که در هر هفته دوباره شروع می‌شود. چون کمتر از ۳۷ ماهواره G.P.S. در مدار یافت می‌شوند، بعضی از سلسله‌های هفتگی کد P بدون استفاده باقی می‌مانند. آنها برای انتقال از ایستگاههای زمینی آماده می‌باشند. کاربرهای L_1 و L_2 هر دو با کد P مدوله می‌شوند.

دسترسی به کد P با احتمال خیلی زیاد منحصر به مؤسسات نظامی ایالات متحده می‌باشد ولی کد C/A برای استفاده کنندگان کشوری در سراسر جهان آماده است.

۹) تعریف کد، کد P، کد C/A

الف) کد، سیستمی است که اصولا برای مخابرات به کار برده می‌شود و در آن به یک سری اعداد، و یا معناهای معین اختصاص داده می‌شود. کدبندی به توسط اعداد دوتایی[36] ۰ و ۱ به طور متوالی، که با آنها معانی خاص داده شده‌اند تعیین می‌شود.

با اینکه کد دارای مشخصهٔ نویزی ترتیب می‌باشد، در واقع یک کد دوتایی است که در یک نظم ریاضی تولید شده و بنابراین به عنوان یک نویز کاذب بی‌ترتیب یا PRN مورد توجه و رجوع قرار می‌گیرد.

فاصلهٔ زمانی یا (صفر یا یک) را در یک کد بالسی دوتایی را چیپ[37] می‌گویند تعداد چیپها در هر ثانیه را میزان چیپ[38] می‌گویند. مثلا میزان چیپ کد P به اندازهٔ فرکانس اصلی، یعنی MHZ ۱۰/۲۳ می‌باشد و میزان چیپ کد C/A یکدهم فرکانس اصلی یعنی MHZ ۱/۰۲۳ است.

ب) کد C/A[39] فقط یک هزارم ثانیه طول دارد. میزان چیپ آن Mbps[40] ۱/۰۲۳ است.

به گفتاری دیگر، کد C/A عبارت است از یک سلسلهٔ ۱۰۲۳ مدولاسیونهای دو فازهٔ دوتایی تقریبا بی‌ترتیب روی کاریر G.P.S. در یک فرکانس تکرار MHZ ۱/۰۲۳ که بدین ترتیب دارای یک بربود تکرار کد هزارم ثانیه می‌باشد.

یکی از سیستمهای تعیین هویت ماهواره عدد هفتگی PRN را به کار می‌برد. مثلا منظور از PRN ۳، SV ۳ است، آن ماهواره‌ای است که سیزدهمین بخش هفتگی کد PRN را انتقال می‌دهد.

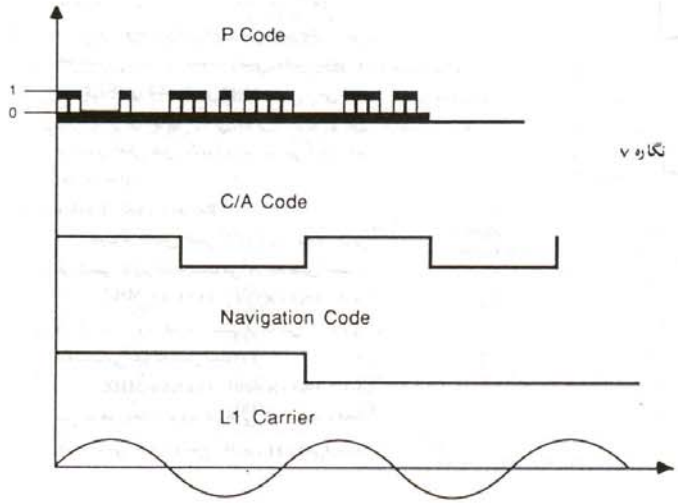
سیستم دیگر برای تعیین هویت، عدد توالی برتاب می‌باشد. مثلا عدد توالی برتاب برای PRN ۳، ناولستار ۹ است.

لحظه های زمان[41] کد C/A با کد P قابل تطبیق شده‌اند. همان طور که قبلا هم اشاره شد هر ماهواره، کدهای C/A متقابلا انحصاری انتقال می‌دهد، که بدین ترتیب تشخیص سیگنالهای به طور همزمان دریافت شده از ماهواره‌ها امکان پذیر می‌شود. می‌توان کد C/A را برای به دست آوردن سریع کد P نیز به عنوان یک سیگنال ناوبری بادقت متوسط به کار برد. اکثر گیرنده‌هایی که در نقشه‌برداری به کار می‌روند هرگز از کد P استفاده نمی کنند.

ب) ماهواره‌ها علاوه بر کدها یک پیغام ناوبری در فرکانس (یا میزان چیپ) بنجاه بیت در هر ثانیه انتقال می‌دهند. این پیغام حاوی تمام اطلاعات لازم برای محاسبهٔ موقع ماهواره‌است. به گفتار دیگر، پیغام ناوبری هم روی کاریر L_1 و هم روی کاریر L_2 در یک میزان چیپ ۵۰ بیت در هر ثانیه مدوله می‌شود. این پیغام شامل اطلاعاتی از افه‌مریسهای ماهواره‌ها، زمان G.P.S. رفتار ساعتها، وضع و حال سیستم می‌باشد. (افه‌مریس ماهواره یعنی موقع ماهواره در لحظهٔ ارسال سیگنال کاربرها) کد C/A خیلی سودمند است، زیرا همزمانسازی دقیق زمان و قرائت ناوبری را اجازه می‌دهد. کد C/A روی کاریر L_1 آماده است ولی می‌توان آن را به عنوان یک حق انتخاب کنترل شدهٔ زمینی روی کاریر L_2 هم گذارد. در نگارهٔ (۷) نمایش سادهٔ کدها و کاریرشان داده شده‌است. در جدول (۲) نیز خلاصه‌ای از کدهای G.P.S. یادداشت شده‌است.

ت) اثرات نسبیتی[42]

اثرات نسبیتی در نقشه‌برداری G.P.S. اهمیت دارند ولی خوشبختانه می‌توان آنها را محاسبه کرد. استانداردهای فرکانس اتمی در ماهواره‌های G.P.S. هم به توسط نسبت خصوصی (سرعت ماهواره) و هم با نسبت عمومی (اختلاف در پتانسیل جاذبه‌ای در موقع ماهواره نسبت به پتانسیل در سطح زمین) بخش عمده (یا بیشتر) آن برای تمام ماهواره‌ها مشترک می‌باشد و بستگی به خروج از مرکز مداری ندارد، خطای نسبی فرکانس مربوطه



نگاره ۷

$\frac{\Delta f}{f} = -4.5 \times 10^{-10}$ می‌باشد. این خطا با یک افزایش زمان در حدود ۳۸/۳ میکروثانیه در هر روز متناظر است، ساعتها در مدار به نظر سریعتر کار می‌کنند. تغییر ظاهری فرکانس در فرکانس اصلی ۱۰/۲۳ MHZ عبارت است از $\Delta f = -4.55 \times 10^{-3}$ HZ با تنظیم فرکانس ساعتهای ماهواره در کارخانه، (قبل از پرتاب)، به‌مقدار ۱۰/۲۲۹۹۹۹۹۵۴۵ HZ، فرکانس تصحیح می‌شود.

بخش دوم اثر نسبیتی متناسب است با خروج از مرکز مدار ماهواره، برای مدارهای دایره‌ای دقیق این تصحیح صفر است. برای مدارهای G.P.S. که خروج از مرکز آنها ۰/۰۲ می‌باشد این اثر ممکن است تا مقدار ۴۵/۸ نانو ثانیه برسد که تقریباً با ۱۴ متر خطا در طول فاصله متناظر خواهد بود. خوشبختانه می‌توان این اثر نسبیتی را از یک عبارت ریاضی ساده که تابعی از نیمه محور بزرگ، خروج از مرکز، و آنومالی خارج از مرکز، می‌باشد محاسبه کرد. این تصحیح معمولاً در گیرنده به کار برده می‌شود. در تعیین موضع نسبی به‌طوری که در نقشه‌برداری به کار برده می‌شود (اندازه‌گیری موضع نسبی بین دو محل گیرنده) اثرات نسبیتی حذف می‌گردند.

1) NAVSTAR: Navigatron Satellite Timing and Ranging
2) Densification
3) Monitoring deformation
4) Active Control
5) Harbour Navigation
6) Navigation of recreational Vehicles
۷) آدمواره‌ها یا رباتها به ماشینهایی گفته می‌شود که کارانسان را انجام می‌دهند.
8) Resection
9) WGS 84
10) Polyhedron
11) Constellation
۱۲) سه‌رال
۱۳) بردار ژئوسنتریک برداری است که مرکز زمین را به ماهواره وصل می‌کند.
14) Zenith
15) Mask Angle
16) Tropospheric
17) Umbra
18) Penumbra
19) Modelin
20) Carrier
21) Board
22) Eclipse
23) User
24) C.S.O.C.
25) Falcon
26) Colerado Spring
27) Update
28) Monitoring
29) Diego Garcia
30) Product
31) Function
32) Input
33) Oscillator
34) Hydrogen Maser
35) Pseudo random noise (نویز کاذب‌ی‌ترتیب)
36) Binary
37) Chip
38) Chipping Rate
39) Clear/Access یا Coarse/Acquisition
۴۰) مگابیت در هر ثانیه
41) epoa
42) Relativistic Effects
۴۳) در سال ۱۹۸۶، Jorgensen دو بخش متمایز در تصحیح نسبیت را تشخیص داد.

جدول (۲) خلاصه کدها

داده‌ها یا مفروضات ناوبری	P	C/A	توضیحات تکمیلی
۵۰bps	۱۰/۲۳ Mbps	۱/۰۲۳ Mbps	میزان‌چیپ
۱۹۵۰km	۲۹/۳m	۲۹۳m	طول
N/A		۱ms	تکرار
زمان ــ افه‌مریس	تعیین موضع دقیق مقاومت سخت	آسان برای حصول	جنبه‌ها