



وب سایت تخصصی برق و الکترونیک ECA

عنوان :

**GPS**

نگارش :

امیرارسلان

اسفندماه ۸۸

## GPS ( Global Positioning System ) چیست ؟



بشر اولیه همیشه به دنبال روشهای مناسبی جهت پیدا کردن مسیر خود بوده است . انسانهای اولیه این کار را با سنگ چین کردن و در نظر گرفتن علائم طبیعی انجام می دادند ولی این علائم به مرور زمان از بین می رفت . در اوائل قرن هفدهم کشورها فقط عرض جغرافیایی را می توانستند محاسبه کنند و این کار را با محاسبه زاویه ستاره شمالی با خط افق انجام می دادند . ولی به هیچ وجه نمی توانستند محاسبه کنند طول جغرافیایی را اندازه گیری کنند و به همین خاطر بسیاری از کشتیها در اثر ناوبری اشتباه گم می شدند و دیگر هرگز پیدا نمی شدند . همچنین آن زمان مصادف با جنگهای بین کشورهای اسپانیا , ایتالیا , فرانسه , انگلستان و سایر کشورها بود و حتی در ملاقات کشتی های تجاری آنها جنگ و خونریزی رخ می داد . در نهایت بشر با اختراع ساعت توانست طول جغرافیایی را محاسبه نماید . مبداء طول جغرافیایی طبق قرارداد بین کشورها گرینویچ می باشد . Time Greenwich Mean یا همان GMT طبق این قرارداد کره زمین که ۳۶۰ درجه می باشد و هر ساعت ۱۵ درجه خواهد بود . برای مثال کشور ما ایران ۳۰:۳۰ + نسبت به گرینویچ جلو تر است . بشر هر روز به دنبال پیدا کردن راه جدیدی جهت ناوبری مطمئن تر بود . در دوران جنگ سرد و پس از حمله غافلگیرانه به Pearl harbor در ۷ دسامبر ۱۹۴۱ آمریکاییها احساس خطر کردند و با دلیل نگرانی از آغاز جنگ ناگهانی و از دست دادن مستعمراتشان شروع به طراحی GPS نمودند.

GPS های اولیه بسیار پیچیده بودند و کار با آنها بسیار سخت بود . به مرور زمان GPS ها بسیار پیشرفته تر شدند ولی این دستگاه فقط در اختیار وزارت دفاع آمریکا بود و هیچ سازمانی دیگر قادر به استفاده از این تکنولوژی نبود . پس از سقوط هواپیمای ۰۰۷ کره ای در روسیه به خاطر ناوبری اشتباه، ریگان(رییس جمهور وقت امریکا) اعلام کرد که استفاده از GPS برای عموم آزاد است .

GPS یا سیستم مکان یابی جهانی ،یک سیستم ناوگانی ماهواره است که از شبکه ای با ۲۴ ماهواره ساخته شد و بوسیله ی سازمان دفاع آمریکا در مدار قرار گرفت. در ابتدا GPS برای مصارف نظامی به کار گرفته می شد اما در ۱۹۸۰ ، دولت آمریکا این سیستم را برای استفاده های شخصی در نظر گرفت.GPS در هر شرایط آب و هوایی و در هر جای دنیا ،در ۲۴ ساعت شبانه روز قابل دسترسی است و هیچ حق اشتراک یا هزینه ای برای استفاده از GPS وجود ندارد.

شاید بارها در مقالات علمی و اخبار با نام ( Global Positioning System ) GPS برخورد کرده باشید.GPS ابزاریست جهت تعیین موقعیت نقاط. با توجه به پیشرفت های تکنولوژی GPS و استفاده از این ابزار مهم در دنیا آگاهی از روشهای مختلف تعیین موقعیت توسط این سیستم ضروری بنظر می رسد.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 GPS تمام سیستم های قبلی تعیین موقعیت ماهواره ای از قبیل دور بین های بالستیک،دایر، N.N.S.S، SLR ، LLR، SECOR.LONG-C، 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. به وسیله گیرنده های سیستم GPS می توان هم به روش مطلق و هم به روش نسبی تعیین موقعیت کرد و برای تعیین موقعیت در هر یک از دو روش فوق می توان از روش های ایستا (Static) ، متحرک (Kinematics) و نیمه متحرک (Semi-Kinematics) استفاده کرد.

در روش مطلق ، موقعیت نسبی نقطه نسبت به یک نقطه مختصات دار معلوم

((DELTA(X),DELTA(Y),DELTA(Z)) بدست می آید. روش تعیین موقعیت نسبی به علت حذف خطاهای سیستماتیک موجود در اندازه گیری های GPS از اهمیت خاصی برخوردار است و برای انجام آن نیاز به دو گیرنده GPS می باشد که بطور همزمان ماهواره های مشترک را مشاهده و اندازه گیری نمایند. منظور از همزمانی ، بدین معنی است که شرایط اندازه گیری برای هر دو گیرنده مستقر در ایستگاه های استقرار، یکی با مختصات معلوم و دیگری با مختصات مجهول، یکسان باشد. از روش تعیین موقعیت نسبی با GPS اکثرا در کارهای نقشه برداری و گسترش شبکه های ژئودزی استفاده می شود. دقت تعیین مختصات مطلق با سیستم GPS در حال حاضر در بهترین حالت  $\pm 3$  متر می باشد و دقت تعیین مختصات نسبی با این سیستم در حد میلیمتر می باشد.

در حال حاضر سیستم GPS شامل ۲۷ ماهواره فعال است که کل سطح کره زمین را بطور همزمان پوشش می دهند و در ۶ مدار بیضی شکل با زاویه میل ۵۵ درجه نسبت به صفحه استوای زمین به دور زمین می چرخند و در ارتفاع ۲۰۸۰۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارند. زمان یکبار چرخش ماهواره های GPS به دور زمین در حدود ۱۲ ساعت نجومی است. به عبارتی در هر ۲۴ ساعت خورشیدی در طول شبانه روز ماهواره دوبار از افق یک محل می گذرد. همان طور که می دانیم شبانه روز خورشیدی ۴ دقیقه از شبانه روز نجومی بیشتر است لذا در هر روز نسبت به روز قبل ماهواره ۴ دقیقه زودتر در افق یک محل ثابت طلوع

می کند. برای تعیین موقعیت X و Y یا طول و عرض جغرافیایی (فی و لاندا) حداقل باید ۳ ماهواره در آسمان محل باشد. در صورتی که مقدار پارامتر ارتفاع را نیز بخواهیم باید از ۴ ماهواره استفاده کرد. امروزه در بعضی مکان های ایران قادر به دریافت اطلاعات تا ۱۰ ماهواره می باشیم و حداقل به ۴ تا ۵ ماهواره در هر زمان از شبانه روز و در هر مکان دسترسی داریم.

هر قدر تعداد ماهواره های قابل مشاهده بیشتر شود معادلات اساسی تعیین موقعیت بیشتر خواهند شد و بنابراین زمان لازم برای تعیین موقعیت یک نقطه کاهش یافته و دقت تعیین موقعیت نیز افزایش خواهد یافت. نکته مهمی که می بایست مورد توجه قرار گیرد اینست که ارتفاعی که GPS به ما می دهد با ارتفاع موجود در نقشه ها و اطلس ها فرق میکند. ارتفاع GPS نسبت به سطح مبنایی بنام بیضوی است در حالی که ارتفاع موجود در نقشه ها ارتفاع اورتومتريک می باشد که از سطح دریاهای آزاد محاسبه می گردد

هر ماهواره GPS بطور مستقل اطلاعات زیر را توسط آنتنهای تعبیه شده بر روی بدنه اش به زمین ارسال می نماید:

#### (۱) امواج حامل

الف) موج حامل (L1) با فرکانس  $f_1=1500 \text{ MHz}$

ب) موج حامل (L2) با فرکانس  $f_2=1200 \text{ MHz}$

(۲) کدهای اطلاعاتی (بصورت دودویی) :

الف) کد غیر نظامی (C/A) ؛  $f=1.023 \text{ MHz}$

ب) کد دقیق (P) ؛  $f=10.23 \text{ MHz}$

ج) کد سری (Y) ؛  $f=10.23 \text{ MHz}$

برای رسیدن به حداکثر دقت و کارایی GPS توسط یک گیرنده باید از گیرنده ای استفاده کرد که هر دو موج حامل  $L1$  و  $L2$  و کدهای فوق را دریافت نموده و قابلیت آنتی اسپوفینگ (AS) داشته باشد؛ یعنی بتواند کد سری Y را به یک کد P و بالعکس تبدیل کند.

۳) پیام ماهواره (Message) با فرکانس  $f=1500 \text{ MHz}$  که حامل اطلاعات زیر می باشد:

الف) اطلاعات مدار ماهواره که مربوط به موقعیت ماهواره می شود.

ب) اطلاعات مربوط به زمان

ج) اطلاعات شماره ماهواره

د) اطلاعات مربوط به ضریب دقت آرایش هندسی ماهواره ها (لازم به ذکر است که چنانچه ماهواره ها در افق منطقه مورد نظر باشند نه در بالای سر و یا اگر زاویه هر دو ماهواره با هم  $120^\circ$  درجه باشد تعیین موقعیت محل دارای دقت بیشتری خواهد بود).

مجموعه اطلاعات فوق یعنی امواج حامل، کدهای اطلاعاتی و پیام ماهواره ، همراه یکدیگر توسط مدولاسیون فاز بسمت زمین مخابره شده و گیرنده های زمینی که قابلیت ها و انواع متفاوتی دارند ضمن دریافت مجموعه فوق پس از عمل De Modulation هر بخش را برای منظور خاص خود مورد استفاده قرار می دهد. لازم به ذکر است که بهترین و دقیق ترین گیرنده ، گیرنده ایست که قابلیت در یافت کلیه اطلاعات ذکر شده در موارد سه گانه بالا را داشته باشد و بتواند هر یک را به طرقی جداگانه دریافت کند و ارزان ترین گیرنده هم گیرنده ایست که تنها قابلیت دریافت موج حامل  $L1$ ، کد C/A و پیام ماهواره را

دارد. لازم بذکر است که کد CA فقط بر روی موج L1 مدوله میشود ولی کد P بر روی هر دو موج وجود دارد.

در قسمت بالا درباره بخش فضایی سیستم GPS صحبت شد؛ حال به سراغ بخش کنترل زمینی این سیستم می رویم: این بخش شامل ایستگاههای کنترل زمینی است که دارای مختصات معلوم هستند و موقعیت آنها از طریق روشهای کلاسیک تعیین موقعیت نظیر روش VLBI (تعیین فواصل بلند توسط کوآزارها) و روش SLR (فاصله سنجی ماهواره ای با امواج لیزر) بدست آمده است. این ایستگاه ها وظیفه تعقیب و مشاهده شبانه روزی ماهواره های GPS را بر عهده دارند. این بخش بوسیله محاسبات ریاضی پیچیده از طریق محاسبه معادله پلی نومیال (Polynomials) ریاضی بطریق کمترین مربعات، پارامترهای مداری (افمیزیها) و موقعیت ماهواره ها را نسبت به یک سیستم مختصات ژئودتیک ژئوستریک (مبدأ سیستم مختصات تقریباً در مرکز زمین قرار دارد). محاسبه می نماید.

تعداد این ایستگاههای زمینی ۵ عدد است که ایستگاه اصلی با نام کلرادو اسپرینگ در آمریکا قرار دارد و ۴ ایستگاه فرعی دیگر در نقاط دیگر کره زمین مستقر هستند. آخرین بخش از سیستم GPS، قسمت USER یا کاربران سیستم می باشد که خود شامل دو بخش است:

الف) آنتن دریافت کننده اطلاعات ارسالی از ماهواره ها

ب) گیرنده (پردازش کننده اطلاعات دریافتی و تعیین کننده موقعیت محل آنتن)

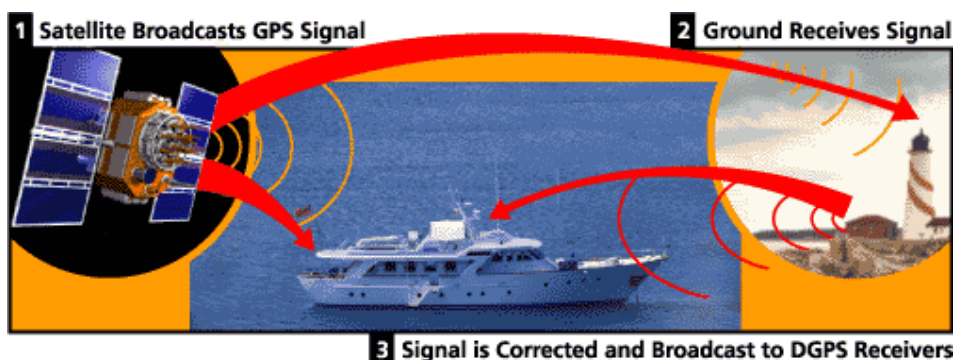
نرم افزار و میکروپروسسور داخل گیرنده فاصله بین آنتن زمینی تا ماهواره های مرتبط با گیرنده را تعیین می کند سپس با استفاده از حداقل ۴ ماهواره موقعیت X و Y و ارتفاع محل استقرار آنتن یا همان گیرنده تعیین میشود.

\* نکته مهمی که می بایست مورد توجه قرار گیرد اینست که ارتفاعی که GPS به ما می دهد با ارتفاع موجود در نقشه ها و اطلس ها فرق میکند. ارتفاع GPS نسبت به سطح مبنایی بنام بیضوی است در حالی که ارتفاع موجود در نقشه ها ارتفاع اورتومتريک می باشد که از سطح دریاهای آزاد محاسبه می گردد. مقدار این اختلاف در بیش ترین حالت در حدود ۱۰۰ متر می باشد.

### گیرنده های GPS به دو دسته اصلی تقسیم می شوند :

الف) گیرنده های نظامی

ب) گیرنده های غیر نظامی



گیرنده های غیر نظامی فقط می توانند افمريزهای ارسالی روی کد C/A را از ماهواره دریافت کنند ،لذا تعیین موقعیت مطلق توسط این دسته از گیرنده ها ضعیف می باشد.(در حدود ۳ تا ۵ متر).اما گیرنده های نظامی که اکثرا در اختیار ارتش آمریکا و کشورهای عضو پیمان ناتو می باشد قادر هستند که پارامترهای ارسال شده بوسیله کد P (پارامترهای دقیق) را نیز علاوه بر کد C/A استفاده کنند. دقت تعیین موقعیت با چنین گیرنده هایی بسیار بالاست و در حال حاضر استفاده از کد P و کد Y که مشکل تر از کد P است صرفا در اختیار نظامیان آمریکایی می باشد.البته از سال ۲۰۰۰ دقت سیستم GPS غیر نظامی با توجه به حذف خطای SA که وزارت دفاع آمریکا آن را عمدا همراه سایر موج ها از ماهواره های GPS به سمت



گیرنده های غیر نظامی میفرستاد ، دقت تعیین موقعیت با گیرنده های دستی معمولی به ۳ تا ۵ متر رسیده است.البته برای کارهای دقیق ژئودزی و نقشه برداری با استفاده از گیرنده های دو فرکانسه(تفاضلی) به شیوه تعیین موقعیت نسبی میتوان به دقت در حد میلیمتر دست پیدا کرد. البته همین دقت ۳ تا ۵ متر گیرنده های دستی عادی هم نیازهای عمومی ناوبری(کوهنوردی و...) را بخوبی تامین میکند.

#### • نمونه ای از کاربردهای سیستم GPS

پیش بینی زلزله (در حال حاضر برای پیش بینی زلزله بیش از ۱۲۰۰ GPS در ژاپن نصب شده و همچنین فقط در اطراف شهر لس آنجلس آمریکا ، ۲۵۰ GPS در حل اندازه گیری و فعالیت ۲۴ ساعته هستند). ، نقشه برداری ، کاداستر ، کنترل امور مربوط به حمل و نقل و ترافیک ، کنترل حرکات تکتونیکي زمین ، کنترل جابجایی سدها و برج های بلند، پیش بینی وضع هوا (از طریق اندازه گیری میزان انرژی موج فرستاده شده از سوی GPS پس از عبور از لایه های جو و ابرهای موجود در منطقه مورد نظر) ، ناوبری (زمینی،هوایی،دریایی) ، هیدروگرافی(آبنگاری) ، تعیین موقعیت سکوها ی دریایی نفتی،تعیین موقعیت جزیره های مرجانی، مین یابی ، SCAN کردن دریا ، بروز رسانی سیستم های تعیین موقعیت اینرشیا ل ، استفاده جهت کنترل ماهواره های سنجش از دور(Remote Sensing) و...

مورد ذکر شده در بالا بخشی از مجموعه کاربردهای فراوان سیستم تعیین موقعیت جهانی(GPS)بود.البته روسها نیز سیستمی مشابه GPS با نام GLONASS دارند که البته از نظر کارایی و توان عملیاتی در حال حاضر به پای سیستم GPS نمی رسد.البته گیرنده های مشترک GPS-GLONASS در حال حاضر در بازار ایران یافت می شوند.البته اتحادیه اروپا نیز در حال ساخت یک سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای با نام گاليله میباشد که طبق پیش بینی ها تا سال ۲۰۰۸ آماده بهره برداری و استفاده عموم خواهد شد. طبق ادعای اتحادیه اروپا محدودیت های موجود در سیستم GPS در گاليله وجود نخواهد داشت.

دولت امریکا در خلال جنگ با عراق اقدام به فرستادن پارازیت بسمت گیرنده های غیر نظامی نموده بود. در چنین زمانهایی که احتمال ارسال امواج پارازیت بر روی گیرنده های GPS می رود به هیچ عنوان نباید روی داده های ارائه شده توسط گیرنده های غیر نظامی حساب باز کرد. در ایران نیز یکی از کارخانجات نظامی دولتی اقدام به ساخت پارازیت انداز GPS نموده که البته دارای برد زیادی نیست.

قیمت گیرنده های GPS مناسب و مرغوب موجود در بازار ایران از ۱۵۰۰۰۰ تومان شروع می شود و به ۴۰ میلیون تومان هم می رسد. لازم بذکر است که GPS های Ashtech ساخت آمریکا، بهترین GPS در دنیا هستند و رئیس و صاحب این کارخانه آقای پروفیسور جواد اشجعی می باشد. تعدادی از این گیرنده ها عبارتند از:

MAGELLAN , Trimble , Garmin ,Ashtech

حال در ادامه این مقاله به کاربردی جدید از سیستم GPS در علم نجوم می پردازیم. این بخش از مقاله درباره طراحی یک سیستم ناوبری مشابه GPS برای سیاره مریخ می باشد.

#### • یک سیستم GPS برای مریخ

جستجوگرهای آینده مریخ اعم از اینکه مدارگرد خودکار ثابتی باشند یا انسان , به راهی جهت تعیین موقعیت خودشان نیاز خواهند داشت. برای انجام این مهم پژوهشگران ناسا در حال مطالعه بر روی یک سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای مناسب همانند GPS برای مریخ می باشند که قابلیت انجام وظیفه به عنوان یک شبکه ارتباطی را هم داشته باشد . مکان یاب جهانی ( Global Positioning System ) مجموعه ای متشکل از ۲۷ ماهواره شامل ۲۴ ماهواره اصلی و ۳ ماهواره رزرو می باشد که قادر به تعیین موقعیت هر نقطه روی زمین به همراه ارتفاع نقطه با دردسترس بودن حداقل ۴ ماهواره در آسمان منطقه مورد نظر می باشد. یکی از طرح های پژوهشگران فرستادن ناوگانی کوچک از فضاپیماها به مریخ می باشد که

دانشمندان برای مأموریت های آینده بشری و روباتیک در حال مطالعه بر روی آن می باشند. مایکل مندیلو (Michael Mendilo) پروفیسور اخترشناس در مرکز فیزیک فضایی دانشگاه بوستون و تیمی از پژوهشگران که زیر نظر وی بر روی اثرات یونسفر مریخ مطالعه می کنند , در حال طراحی یک سیستم ناوبری ماهواره ای بدور مریخ می باشند.

در آزمایشگاه پیشرفته جت پروپالشن ناسا (JPL) هم پژوهشگران در حال انجام کارهای زمینی یک شبکه ناوبری و ارتباطی برای مریخ هستند. یک طرح قدیمی تر هم وجود دارد که شامل یک دسته میکروماهواره های کوچکی است که شبکه مریخی (Marsnet) نامیده می شود و وظیفه اش ارسال داده ها به سفینه مادر (Marsat) است. وظیفه Marsat نیز تبادل داده های بین مریخ و زمین است. از نظر وستل چارلز (Charles Whetel) رییس بخش مهندسی برنامه جستجوی مریخ در JPL یک سیستم ناوبری با دقت ۱۰ تا ۱۰۰ متر برای مریخ کافیهست. هر چند این دقت قابل مقایسه با دقت حاصل از سیستم فعلی GPS در سیاره زمین نمی باشد. البته مجموعه ماهواره های GPS زمین تنها تأمین کننده ناوبری برای بشر است (البته در سال های اخیر پژوهش هایی در زمینه کاربرد GPS در هواشناسی و زلزله در حال انجام است). اما پژوهشگران درصدد استفاده از قابلیت های این سیستم در بررسی یونسفر مریخ می باشند.

با افتتاح سیستم GPS در مریخ در حقیقت جهشی در فن آوری روبات های آینده برای سیاره سرخ رخ خواهد داد. در پایان لازم بذکر است که شاید از نظر برخی , سیستم GPS مریخ یک طرح لوکس و دور از تصور باشد اما با وجود مسائلی که بخشی از آن ها در این مقاله ذکر شد استفاده از این سیستم مزایای زیادی در بر خواهد داشت و جهشی در راه اکتشاف کامل سیاره سرخ و پی بردن به رازهای آن می باشد.

سیستم محل یابی جهانی (Global Positioning Systems), یک سیستم راهبری و مسیریابی ماهواره ای است که از شبکه ای با ۲۷ ماهواره تشکیل شده است. این ماهواره ها به سفارش وزارت دفاع ایالات

متحدہ ساخته و در مدار قرار داده شده اند. این سیستم در ابتدا برای مصارف نظامی تهیه شد ولی از سال ۱۹۸۰ استفاده عمومی آن آزاد و آغاز شد.

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



## نحوه کارکرد GPS :

GPS یک دستگاه صرفاً گیرنده می باشد که اطلاعات بدست آمده از ماهواره های اطراف زمین را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و PIV شما را محاسبه می کنند.  $P=Position$  منظور موقعیت شما در هر نقطه از کره خاکی و فضای اطراف آن است.  $T = Time$  منظور زمان محلی دقیق و با دقت فوق العاده بالا در همان منطقه ای که شما هستید  $V = Velocity$  منظور سرعت لحظه ای شماست که آن را با دقت فوق العاده بالا محاسبه می کند. حال ما می خواهیم بدانیم یک دستگاه گیرنده با یک آنتن کوچک چگونه این اطلاعات را برای ما محاسبه می کند. تعداد ۲۴ ماهواره توسط شرکتهای تولید کننده GPS یعنی Garmin و Magellan در فاصله ۲۰۲۰۰ کیلو متری از سطح زمین قرار دارند و در هر مدار ۴ ماهواره قرار دارد. بدینسان این ماهواره ها کل زمین را تحت پوشش خود قرار می دهند. در داخل هر کدام از این ماهواره ها ۴ ساعت اتمی قرار دارد تا مطمئن باشیم که در یک لحظه بخصوص حداقل یکی از آنها کار می کند. این ماهواره ها کدهای ۰ و ۱ را برای دستگاه گیرنده می فرستند مثلاً در ثانیه ۰ کد ۰۰۰۰۱۰۰۱ و در ثانیه ۰۰۱، کد بعدی را در فضا منتشر می کند. هر کدام از این کدها دوباره تکرار می شوند. مثلاً دستگاه گیرنده شما کد ۰۰۱ را در ثانیه اول می گیرد و در ۱ نانو ثانیه بعد دوباره این کد را دریافت می کند. بنابر این تشخیص می دهد که مثلاً فاصله زمانی بین شما و ماهواره برای امواجی که با سرعت نور حرکت می کنند ۱ نانو ثانیه می باشد. حال چرا اینقدر زمان برای ما مهم است؟ به خاطر اینکه فاصله ها بر اساس زمان سنجیده می شوند. مثلاً در مورد مثال بالا فاصله شما از ماهواره برابر می شود با:  $X=vt=3000000110(-)$

(9)

از طرفی دیگر در داخل دستگاه GPS شما حدس می زند که مکان هندسی شما یک کره به شعاع  $X$  ( که در بالا محاسبه کردیم ) و به مرکز ماهواره مورد نظر می باشد در نتیجه شما با ماهواره اول متوجه شدید که مکان هندسی شما در فضا سطح یک کره می باشد . حال با گرفتن سیگنال ها و محاسبه فاصله از ماهواره دوم مکان هندسی شما در فضا سطح کره زمین خواهد شد . فصل مشترک این دو کره یک دایره است . ماهواره سوم نیز مکان هندسی شما را بر روی یک کره دیگر تخمین می زند . فصل مشترک این کره با دایره قبلی دو نقطه خواهد بود . حال ماهواره چهارم کره بعدی را می سازد که فصل مشترک یک کره با دو نقطه یک نقطه خواهد بود . خیلی جالب است ؟!

حال موقعیت شما بر روی کره زمین و فضای اطراف آن در یک نقطه مشخص شده است . به همین ترتیب زمان شما نیز با توجه به موقعیت شما و ساعت GPS محاسبه خواهد شد . این ساعت ساعت محلی است و با ساعت رسمی هر کشور فرق خواهد داشت . سرعت شما چگونه محاسبه خواهد شد ؟! آیا با تقسیم فاصله بین دو نقطه بر زمان ؟! اخیرا این روش , روش مناسبی جهت دستگاه دقیقی مثل GPS نمی باشد . سرعت شما با استفاده از اثر دوپلر و روابط آن محاسبه میشود . ما در فیزیک دبیرستان با اثر دوپلر آشنا شدیم این در حقیقت همان شکل معروف آمبولانس است که با نزدیک شدن به ما , رسیدن به ما و دور شدن از ما صدایش نیز تغییر می کند .

طراحان آمریکایی از این مساله در طراحی رادارها و بخصوص دستگاه GPS جهت تعیین سرعت دقیق استفاده کرده اند . خوب حالا به این نکته رسیدیم که می توانیم موقعیت , سرعت و زمان دقیق خود را داشته باشیم . بنابراین طول جغرافیایی , ارتفاع از سطح آبهای آزاد دریا ها , زمان محلی و سرعت را خواهیم داشت . اما آیا فقط همین اطلاعات در اختیار ماست یا بیشتر ؟!

**سخت افزار و نرم افزار GPS :**

سخت افزار GPS در حقیقت مجموعه ای از IC ها و تراشه ها جهت انجام محاسبات خاصی است که انجام آن برای شخص بسیار سخت می باشد

## نرم افزار :

نرم افزار این دستگاه شامل برنامه ای است که دستگاه با آن کار می کند و در حقیقت این هم مانند یکی از برنامه های کامپیوتری عادی است که البته به زبان C نوشته شده است . نسخه های جدید این برنامه ها در اینترنت و در سایت شرکتها نامبرده موجود می باشد همانطور که گفتیم دستگاه GPS یک کامپیوتر کوچک است که جهت انجام امور خاصی برنامه ریزی شده است . بنابراین این کامپیوتر با داشتن مختصات شما می تواند کارهای دیگری هم انجام بدهد . مثلاً می تواند زمان طلوع و غروب خورشید را در موقعیت شما بگوید . همچنین زمان طلوع و غروب ماه . شاید خیلی جالب باشد ولی GPS می تواند زمان باقیمانده برای رسیدن به مقصد مورد نظر را با توجه به سرعت شما محاسبه کند . همچنین میانگین سرعت شما , بیشترین سرعت , میانگین سربالایی و سرازیری مسیر , سرعت عمودی , موقعیت منطقه از نظر شکار و ماهیگیری و شکار در هر نقطه جهان , محاسبه مساحت یک نقطه ناشناخته و بر گرداندن شما از مسیر آمده و ....

در ضمن نکته ای که در مورد GPS حائز اهمیت است این است که شرایط آب و هوایی هیچ تاثیر بر روی کارکرد این وسیله ندارد.

ماهواره های این سیستم، در مداراتی دقیق هر روز ۲ بار بدور زمین می گردند و اطلاعاتی را به زمین مخابره می کنند. گیرنده های GPS این اطلاعات را دریافت کرده و با انجام محاسبات هندسی، محل دقیق گیرنده را نسبت به زمین محاسبه می کنند. در واقع گیرنده زمان ارسال سیگنال توسط ماهواره را با زمان دریافت آن مقایسه می کند. از اختلاف این دو زمان فاصله گیرنده از ماهواره تعیین می گردد. حال این عمل را با داده های دریافتی از چند ماهواره دیگر تکرار می کند و بدین ترتیب محل دقیق گیرنده را با اختلافی ناچیز، معین می کند.



گیرنده به دریافت اطلاعات همزمان از حداقل ۳ ماهواره برای محاسبه ۲ بعدی و یافتن طول و عرض جغرافیایی، و همچنین دریافت اطلاعات حداقل ۴ ماهواره برای یافتن مختصات سه بعدی نیازمند است. با ادامه دریافت اطلاعات از ماهواره ها گیرنده اقدام به محاسبه سرعت، جهت، مسیرپیموده شده، فواصل طی شده، فاصله باقی مانده تا مقصد، زمان طلوع و غروب خورشید و بسیاری اطاعات مفید دیگر، می نماید.

### ماهواره های GPS

۲۷ عدد ماهواره GPS در مدارهایی بفاصله ۲۴۰۰۰ هزار مایل از سطح دریا گردش می کنند. هر ماهواره دقیقا طی ۱۲ ساعت یک دور کامل بدور زمین می گردد. سرعت هریک ۷۰۰۰ مایل بر ساعت است. این ماهواره ها نیروی خود را از خورشید تامین می کنند. همچنین باتری هایی نیز برای زمانهای خورشید گرفتگی و یا مواقعی که در سایه زمین حرکت می کنند به همراه دارند. راکت های کوچکی نیز ماهواره ها را در مسیر صحیح نگاه می دارد. به این ماهواره ها NAVSTAR نیز گفته می شود.

در اینجا به برخی مشخصه های جالب این سیستم اشاره می کنیم:

اولین ماهواره GPS در سال ۱۹۷۸ یعنی حدود ۳۵ سال پیش در مدار زمین قرار گرفت.

در سال ۱۹۹۴ شبکه ۲۴ عددی NAVSTAR تکمیل گردید.

عمر هر ماهواره حدود ۱۰ سال است که پس از آن جایگزین می گردد.

هر ماهواره حدود ۲۰۰۰ پاوند وزن دارد و طول باتری های خورشیدی آن ۵.۵ متر است.

انرژی مصرفی هر ماهواره، کمتر از ۵۰ وات است.

## گیرنده GPS

امروزه بهای گیرنده های GPS بطور چشمگیری کاهش پیدا کرده است و هم اکنون در کشور ما با بهایی معادل یک عدد گوشی متوسط موبایل نیز می توان گیرنده GPS تهیه کرد. در کشورهای توسعه یافته از این سیستم جهت کمک به راهبری خودرو، کشتی و انواع وسایل نقلیه بهره گیری می شود.

هر چه نقشه های منطقه ای که در حافظه گیرنده بارگذاری می شود دقیق تر باشد، سرویسهایی که از GPS می توان دریافت داشت نیز ارتقا می یابد. برای مثال، می توان از GPS مسیر نزدیکترین پمپ بنزین، تعمیرگاه و یا ایستگاه قطار را سوال نمود و مسیر پیشنهادی را دنبال کرد. دقت مکانیابی این سیستم در حد چند متر می باشد، که بسته به کیفیت گیرنده تغییر می کند. از سیستم محلیابی جهانی می توان در کارهایی چون نقشه برداری و مساحی، پروژه های عمرانی، کوهنوردی، کایت سواری، سفر در مناطق ناشناخته، کشتی رانی و قایقرانی، عملیات نجات هنگام وقوع سیل و زمین لرزه و هر فعالیت دیگر که نیازمند محل یابی باشد، بهره برد.

هر شخصی که بخواهد بداند کجاست و بکجا می رود به این سیستم نیازمند است، با توجه به نزول شدید بهای گیرنده های این سیستم، و افزایش امکانات آنها، این تکنولوژی در آینده نزدیک بیش از پیش در اختیار همگان قرار خواهد گرفت.

## طریقه محاسبه فاصله ها توسط گیرنده GPS :

در هر لحظه حداقل چهار عدد از این ماهواره ها در آسمان قابل رویت است. بر همین اساس یک دستگاه GPS Receiver با دریافت امواج رادیویی متصاعد شده از ماهواره های مذکور و با ادغام اطلاعات و

محاسبات عملیات ریاضی، قادر به شناسایی محل مورد نظر هستند. این محاسبات ریاضی در این سیستم، Trilateration نام دارد و در فضای سه بعدی بصورت مجازی انجام می گیرد. سیستم زمان در محاسبات : همانطور که اشاره شد، هر کدام از ماهواره های GPS بلا استفاده از امواج رادیویی مسافتها را مشخص می کنند، ولی امواج به تنهایی قادر به شناسایی فاصله ها نیستند، از اینرو برای محاسبه مسافت، از ساعت های بسیار دقیق اتمی در ماهواره ها و همچنین گیرنده های GPS استفاده می شود. در این حالت زمان ارسال هر سیگنال توسط ساعت اتمی موجود در ماهواره، به گیرنده GPS ارسال می شود، و گیرنده GPS نیز با ساعت داخلی خود تفاضل زمانی را بدست آورده و فاصله دقیق را کسب می کند. همانطور که متوجه شدید، در این فناوری زمان بسیار مهم است و بصورت نانو ثانیه محاسبه می گردد.

البته ناگفته نماند یکی از مشکلاتی که در سیستم زمان وجود دارد، گرانقیمت بودن ساعت اتمی می باشد. بعبارت دیگر قیمت این ساعت ها حدود ۵۰ تا ۱۰۰ هزار دلار است که فقط در ماهواره های GPS قرار می گیرد، ولی در گیرنده های GPS به روی زمین، از ساعت های معمولی دیجیتالی استفاده می کنند. به همین دلیل امکان اختلال در سیستم زمانی متصور است و از این رو در گیرنده های GPS از ساعت هایی که دائما Reset می شود و در واقع نقش کرنومتر را بازی می کنند، استفاده می شود.

### محدودیت های GPS:

مشکلی مهمتر از قیمت زیاد ساعت های اتمی در سیستم GPS نیز وجود دارد. همانطور که می دانید سیگنالهای رادیویی از خارج از جو زمین، توسط ماهواره ها به زمین ارسال می شود. این امواج می بایست از اتمسفر زمین عبور کنند و اتمسفر سرعت انتقال سیگنالها را کم می کند. بنابراین امواج با تاخیر چند صدم ثانیه ای به گیرنده های GPS می رسند، اما گیرنده های GPS از وجود اتمسفر زمین خبر نداشته و محل ماهواره ارسال کننده امواج را دورتر از موقعیت حقیقی شناسایی می کنند.

بنابراین مشاهده می کنید که با وجود ساعت های اتمی و محاسبات در حد نانو ثانیه، اتمسفر زمین باعث تاخیر در ارسال امواج رادیویی شده و اختلالی در سیستم GPS ایجاد می کند و در این حالت ضریب خطای Trilateration بالا خواهد رفت. برای رفع این مشکل، از ایستگاه های ( DGPS (Differential GPS که بر روی زمین و در مکانهای مشخصی قرار دارند استفاده می شود. این ایستگاه ها فاصله دقیق بین ماهواره ها تا همان ایستگاه را می دانند و در صورت بروز خطای حاصل از اتمسفر زمین، این خطا را توسط سیگنالهای رادیویی به دستگاه های گیرنده های GPS انتقال می دهند تا آنها نیز از این درصد خطا باخبر باشند. اما ۲ نکته مهم در این رابطه وجود دارد. اولین نکته این است که دستگاه های گیرنده GPS باید مجهز به سیستم DGPS باشند و نکته دوم این است که ایستگاه های DGPS، امواج رادیویی را در همان منطقه و در اختیار گیرنده های GPS همان منطقه قرار می دهند. زیرا ضخامت اتمسفر زمین در نقاط مختلف متفاوت می باشد و از این رو در هر ناحیه، ایستگاه DGPS خاص همان ناحیه می تواند قرار بگیرد. همچنین لازم به ذکر است که ایستگاه های DGPS قابل حمل بوده و در هر ناحیه ای می توانند مستقر شوند. از دیگر مشکلات گیرنده های GPS این است که در ساختمان ها نمی توان از آنها استفاده کرد، زیرا امواج رادیویی متصاعد شده از ماهواره ها بدرستی از ساختمانها عبور نمی کنند و حتما می بایست در محیط بدون پوشش، از گیرنده های GPS استفاده شود.

این دستگاه قابلیت های زیادی دارد که در زیر به چند تا از آن ها اشاره می شود.

طول و عرض جغرافیایی محلی که در آن قرار می گیرد را می دهد. در فضای باز ماهواره ها را جایابی می کند و نشان می دهد. زمان طلوع و غروب خورشید و ماه را نیز نشان می دهد.

دیگر قابلیت این وسیله مسیر یابی می باشد به این صورت که می توانیم طول و عرض جغرافیایی یک مکان مورد نظر را در آن وارد کنیم ، از محلی که در آن قرار داریم روی صفحه ی قطب نمایش یک فلش رسم می کند و جهت حرکت را به ما نشان می دهد.

در حال حرکت سرعت را نیز نشان می دهد. ارتفاع محل از سطح دریا را نیز می نماید.

همچنین این دستگاه فاصله هوایی بین دو نقطه را می دهد که با فاصله زمینی خیلی تفاوت دارد ، فاصله هوایی کوتاه ترین فاصله بین دو نقطه می باشد.

اگر یک مسیر بسته را طی کنیم و دوباره به مکان اول بازگردیم مساحت آن فضای بسته را می دهد.

نقشه کل دنیا به همراه اسامی کشورها شهرها روستاها و... در آن به طور کامل وجود دارد . به این ترتیب می توانیم نام محلی را که می خواهیم برویم در آن وارد کنیم تا مسیر حرکت را روی نقشه نشان دهد.

GPS قابلیت Trace کردن را نیز دارد یعنی اگر یک مسیری را یک بار در کویر یا جایی که بلد نیستیم به همراه راه بلد برویم و قابلیت Trace دستگاه GPS را فعال کنیم مسیر را در خودش ذخیره می کند و برای دفعات بعد قابل استفاده است.

### **دقت GPS تا چه حد است؟**

امروزه دریافت کننده های GPS دارای دقت بی نهایت بالایی هستند و این امر را مدیون طرح کانال چند گانه موازی هستیم. دریافت کننده های کانال ۱۲ موازی گارمین به محض روشن شدن سرعت بالایی در برقراری رابطه با ماهواره دارد و این ارتباط به طور مستمر برقرار است و حتی درختان انبوه و آسمان خراش های بلند مانع برقراری ارتباط نمی شوند. کارخانه های اتمسفریک و دیگر چشمه های ایجاد خطا، روی دقت دریافت کننده ی GPS تاثیر می گذارند. دریافت کننده های GPS گارمین دارای میانگین دقت

۱۵ متر می باشند. دریافت کننده های GPS گارمین با قابلیت سیستم افزایش عرض ناحیه دقت را با میانگین کمتر از ۳ متر بهبود می بخشد. هیچ لوازم یدکی و یا حق الزحمه ای برای استفاده از سیستم افزایش عرض ناحیه احتیاج نیست. کاربران می توانند دقت را با کمک GPS تفاضلی بهتر کنند. به این صورت که سیگنال های GPS را تقویت می کند و به میانگین ۳ تا ۵ متر می رساند. گارد ساحلی آمریکا اغلب از سرویس تقویت کننده GPS تفاضلی استفاده می کند. این سیستم شامل شبکه ای از برج ها می باشد که سیگنال های GPS را دریافت کرده و سیگنالی تقویت شده به وسیله ی فرستنده های رادیویی ارسال می کنند. به منظور دریافت سیگنال های تقویت شده کاربران علاوه بر GPS به یک آنتن و دریافت کننده علائم گوناگون نیاز دارند

## سیستم ماهواره ای GPS

۲۷ ماهواره که بخش فضایی GPS را شامل می شوند در مداری با فاصله ی ۱۲ هزار مایل از زمین قرار دارند. آنها پیوسته در حال حرکت بوده و در کمتر از ۲۴ ساعت دو دور کامل می زنند. این ماهواره ها با سرعت تقریبی ۷ هزار مایل در ساعت حرکت می کنند.

ماهواره های GPS به کمک انرژی خورشید کار می کنند. در زمان خورشید گرفتگی و زمانی که این انرژی وجود ندارد، آنها با بهره گیری از باتری های پشتیبان به کار خود ادامه می دهند. علاوه بر این، راکت های تقویت کننده ی کوچک به کمک ماهواره آمده و آن را در مسیر اصلی خود قرار می دهند.

در اینجا به حقایق جالبی در مورد ماهواره های GPS اشاره می کنیم: (البته ناو استار نامی است که سازمان دفاع آمریکا برای GPS انتخاب کرد).

\* اولین ماهواره ی GPS در سال ۱۹۷۸ به سوی مدار خود روانه شد.

\* کارایی هر ماهواره حدود ۱۰ سال است و جایگزین ها دائما در حال ساخته شدن و قرار گرفتن در مدار خود می باشد.

\* وزن یک ماهواره GPS در حدود دو هزار پند ( ۹۰۷ کیلوگرم) است و زمانی که صفحات خورشیدی آن باز می شود در حدود ۱۷ فوت (۸.۱۸ متر) عرض دارد.

\* قدرت فرستنده ها تنها ۵۰ وات یا کمتر است.

ماهواره های GPS دو سیگنال رادیویی کوتاه و قوی L1 و L2 را ارسال می کنند. GPS های شخصی L1 را با فرکانس ۱۵۷۵.۴۲ مگا هرتز روی باند UHF دریافت می کنند. این سیگنال ها از میان ابر و گاز و پلاستیک عبور می کند اما از میان جامدات ، ساختمان ها و کوه ها نمی تواند عبور کند. یک سیگنال GPS شامل سه بیت اطلاعات متفاوت است: یک کد تصادفی کاذب، اطلاعات زود گذر (یک روزه) و اطلاعات سالیانه.

\* کد تصادفی کاذب به سادگی یک کد ID است که ماهواره ای را که در حال ارسال اطلاعات می باشد را مشخص می کند. شما می توانید این عدد (کد) را هنگامی روی صفحه ماهواره واحد GPS گارمین خود ببینید که آن مشخص می کند کدام یک از ماهواره ها در حال دریافت کردن آن است.

\* اطلاعات زود گذر (یک روزه): مکانی را که هر ماهواره GPS در هر ساعتی باید داشته باشد را به دریافت کننده ی GPS نشان می دهد. این اطلاعات ارسال شده توسط هر ماهواره ، اطلاعات مداری مربوط به آن ماهواره و سایر ماهواره های واقع در سیستم را نشان می دهد.

\* اطلاعات سالیانه که به وسیله هر ماهواره به طور پیوسته ارسال می شود شامل اطلاعات مهمی در رابطه با وضع ماهواره (سالم یا خراب بودن)، زمان و اطلاعات رایج است. این بخش از سیگنال برای مشخص کردن مکان بسیار ضروری است.

چشمه هایی که بر سیگنال های GPS تاثیر گذاشته و باعث فاسد شدن (از بین رفتن) آنها شده و در نتیجه روی دقت و صحت اطلاعات تاثیر گذار است به قرار زیر می باشد:



\* تاخیرات تروپوسفر (پایین ترین بخش اتمسفر) و یونسفر (یون کره): سیگنال های ماهواره ای به هنگام عبور از اتمسفر کند می شوند. سیستم GPS از مدلی ساختگی استفاده می کند تا میانگین تاخیر را محاسبه و هر چند به طور جزئی این نوع خطا را اصلاح کند.

\* سیگنال های چند گانه: زمانی رخ می دهد که سیگنال های GPS قبل از رسیدن به دریافت کننده توسط ساختمان های بلند یا سطوح سنگی بزرگ، منعکس می شوند که این خود باعث افزایش زمان سفر و در نتیجه ایجاد خطا می گردد.

\* خطاهای زمانی دریافت کننده: ساعت یک دریافت کننده همانند ساعت های اتمی ماهواره های GPS دقیق نیست بنابراین خطای زیادی از لحاظ وقت و زمان ممکن است پیش آید.

\* خطاهای مداری : اطلاعات یک روزه ممکن است که مکان نادرستی از ماهواره را گزارش دهد که باعث ایجاد خطا می شود.

\* تعدادی از ماهواره های قابل رویت ،ساختمان ها، ترن،موانع الکترونیکی و حتی بعضی اوقات درختان انبوه می توانند سدی در برابر سیگنال ها شوند که منجر به ایجاد خطا شده و یا مکان یابی غیر ممکن می گردد.

\* هندسه ماهواره ها: اشاره به موقعیت نسبی ماهواره ها در هر زمانی دارد. یک مثال که در مورد هندسه ماهواره ها وجود دارد زمانی است که ماهواره ها در زاویه های عریض در ارتباط با هم قرار دارند. زمانی که ماهواره ها روی یک خط و یا گروهی کوچک قرار دارند هندسه ضعیفی را ایجاد می کنند.

\* فساد عمدی سیگنال ماهواره: قابلیت استفاده از ماهواره های برگزیده (که به مخفف SA گفته می شود) که یک فساد عمدی در سیگنال ها است ، زمانی به وسیله ی سازمان دفاع آمریکا وضع شد. SA برای این

در نظر گرفته شده است تا دشمن نظامی نتواند سیگنال های فوق العاده دقیق GPS استفاده کند. دولت آمریکا SA را در ماه مه ۲۰۰۰ قطع کرد تا دقت دریافت کننده های GPS های شخصی را افزایش دهد.

**سیستم GPS از سه بخش تشکیل شده که عبارتند از:**

#### **الف) ماهواره ها**

بخش ماهواره ای سیستم از ماهواره اصلی و ماهواره یدکی واقع در مدار زمین تشکیل میشود. این ماهواره ها در ۶ مدار جداگانه که با صفحه استوا زاویه ۵۵ درجه میسازند قرار گرفته اند. مدار ماهواره ها بیضی شکل بوده و با سرعتی نزدیک ۴.۵ کیلومتر بر ثانیه در حرکت هستند. این ماهواره ها به سبب ارتفاع زیادشان در بخش بزرگی از زمین دیده میشوند. الکتریسیته مورد نیاز از دو صفحه متشکل از باتریهایی با سلولهای خورشیدی به سطح ۷.۲ متر مربع تامین میگردد.

مشخصات عمومی ماهواره ها عبارتند از:

نام ، NAVSTAR

سازنده ، Rackwell International

ارتفاع پرواز ، ۲۰۱۸۳ کیلومتر

وزن ، ۸۶۰ کیلوگرم

اندازه ، ۷.۲ متر مربع با صفحات خورشیدی

زمان پیمودن دور کره زمین ، ۱۲ ساعت نجومی (۱۱ ساعت و ۵۸ دقیقه)

صفحه مداری ، با صفحه استوا زاویه ۵۵ درجه میسازد

عمر تخمینی ، ۷ سال

### **بخش فضایی ماهواره های GPS**

از زمان راه اندازی ماهواره های این سیستم تا کنون تکنولوژی این ماهواره ها ارتقاء یافته و به طور کلی نوع ماهواره های این سیستم از ابتدا تا کنون را به چهار بلوک زیر تقسیم بندی کرد :

Block 1 -I

Block 2Q - Block 2 -II

Block 2R -III

Block 2F -IV

ماهواره های 1 Block :

این ماهواره ها دارای ۸۰۰ کیلو گرم وزن بودند . این نسل از ماهواره ها به دلیل این که تا آن زمان هنوز تکنولوژی و امکان قرار گیری ساعت اتمی وجود نداشت فاقد ساعت اتمی بودند . طول عمری که برای این ماهواره ها در نظر گرفته شده بود ۵ سال بود ولی بعضی از آنها سال ها بیش از زمان در نظر گرفته شده در مدار قرار گرفتند و به اتمام مأموریت پرداختند .

### **ماهواره های نسل دوم Block 2Q و Block 2**

در اواخر دهه ۷۰ میلادی کشور ایالت متحده به تکنولوژی نصب ساعت های اتمی در ماهواره های ارسالی به فضا دست یافت ، که این ساعت ها جایگزین ساعت های کوارتزی قبلی شدند و دارای دقت در حدود ۱۰-۱۳ ثانیه بودند .

### **ماهواره های نسل سوم Block 2R و Block 2F**

در داخل سیستم های این نسل از ماهواره ها از ساعت های هیدروژن میسر استفاده گردید و از لحاظ زمانی دارای دقتی در حدود ۱۰-۱۶ ثانیه بود .

تعداد این ماهواره ها هم اکنون ۲۷ عدد در ۶ مدار با زاویه مداری ۶۳ درجه نسبت به صفحه استوا می باشد .

تا اواخر سال ۱۹۸۹ تعداد ۷ ماهواره از بلوک I در دوصفحه مداری با زاویه میل ۶۳ درجه قرار داشتند و اولین ماهواره پرتابی از نوع بلوک II در فوریه ۱۹۸۹ میلادی از پایگاه کیپ کارناوال نیروی هوایی آمریکا در ایالت فلوریدا به مدار از پیش تعیین شده خود ارسال شد .

با افزایش تعداد ماهواره ها در طی سالیان اخیر امکان انجام مشاهدات در تمامی ۲۴ ساعت شبانه روز تحقق پذیرفته و شکاف های (gap) ( در مشاهدات پر گشته است .

ماهواره های بلوک I و II در مداری نزدیک به دایره با ارتفاع تقریبی ۲۰۲۰۰ کیلومتر (۱۲۰۰ مایل) بوده و دارای پرید مداری در حدود ۱۲ ساعت می باشد . موقعیت ماهواره ها نسبت به زمین متناظر با زمان نجومی است بنابراین ماهواره ها هر روز ۴ دقیقه زودتر از روز قبل ظاهر میشوند .

### مدار حرکت ماهواره

جهت طراحی مدار ماهواره ها و قرار گرفتن آنها در مدار از پیش تعیین شده باید این مدارها با دقتی بالا و استفاده از قوانین حاکم بر فیزیک طبیعت طراحی گردند .

جهت طراحی مدار ماهواره ها از اصول سه گانه ای معروف به قوانین کپلر استفاده می شود .

### قوانین کپلر :

۱ - مسیر حرکت سیارات به دور خورشید صفحه ای بیضی شکل است که خورشید در یکی از کانون های آن قرار داد .

۲ - ماهواره ها در زمان های مساوی مساحت های مساوی را جاروب می کنند .

### پارامتر های تعیین موقعیت ماهواره ها :

جهت تعیین موقعیت دقیق یک ماهواره در فضا نیاز به تعیین ۷ پارامتر است که این پارامتر ها ، پارامتر های تعیین موقعیت گفته می شود .

پارامتر ها عبارتند از :

i : زاویه میل ( زاویه بین صفحه مدار ماهواره با صفحه استوای بیضوی )

a : نیم قطر اطول بیضوی

N : نقطه گره صعودی

e2 : پارامتر خروج از مرکزیت

$\Omega$  : بعد نقطه گره صعودی ( زاویه بین نقطه مرکزی بیضوی ، نقطه ورنال و نقطه گره صعودی ، این زاویه بر روی صفحه استوای بیضوی و در جهت پادساعتگرد اندازه گیری میشود )

$\epsilon$  : زاویه بین نقطه گره صعودی و نقطه پریجی . این زاویه بر روی صفحه مداری اندازه گیری می شود .

نقطه پریجی : نقطه ای که ماهواره در نزدیکترین موقعیت نسبت به مرکز بیضی ( زمین ) قرار می گیرد .

### آنامولی

موقعیت لحظهای یک ماهواره در مدار بوسیله کمیت زاویه آنامولی مشخص می گردد .

### ۱ نوع آنامولی :

آنامولی حقیقی ( از ماهواره تا مرکز زمین )

آنامولی متوسط

آنامولی خروج از مرکزیت (از ماهواره تا مرکز بیضی )

آنامولی متوسط: اگر تصور کنیم ماهواره با سرعت زاویه ای ثابت و پرید مساوی، پرید ماهواره واقعی در هر لحظه و آنامولی متوسط می گویند.

آنامولی خروج از مرکزیت:

اگر دایره ای به شعاع  $a$  از مرکز بیضی بکشیم و تصویر ماهواره را روی دایره مشخص کنیم و خطی به مرکز بیضی بکشیم زاویه این خط با خط واصل مرکز بیضی به نقطه پریجی را آنامولی خروج از مرکزیت می گویند.

همانطور که ذکر گردید پرید اکثر ماهواره ها ۱۱ ساعت و ۵۸ دقیقه (حدود ۱۲ ساعت) است و در این مدت زمان شعاع زمین را طی می کند.

### بخش کنترل:

حرکت ماهواره ها در مدار همواره یکسال نیست و یک حرکت مارپیچی در مدار دارد که تحت تاثیر نیروهای وارده از سمت جاذبه زمین و ماه و برخورد فتون ها با ماهواره ایجاد می شود. با توجه به این مطالب ماهواره های سیستم نیاز دارند که مرتبا کنترل و پیش بینی شوند در سرتاسر دنیا تعداد ۵ ایستگاه

MSC (Master Control Station) طراحی گشته که وظیفه کنترل حرکت و ساعت ماهواره ها را دارند. اطلاعات بدست آمده در هر ایستگاه به مرکز تجزیه و تحلیل این اطلاعات در آمریکا فرستاده شده و این اطلاعات که شامل اطلاعات کپلری و اطلاعات آشفتگی پس از تصحیح به ایستگاه هایی که قابلیت ارسال (Ground Antenna (GA را به ماهواره ها جهت Update سازی دارند فرستاده می شوند. و این پروسه باعث کارایی و دقت بالای سیستم می شود.

### ب) کنترل کننده سیستم

بخش کنترل کننده از ۵ ایستگاه تشکیل شده است. وظایف عمده ایستگاهها عبارتند از:

کنترل وضعیت سلامت ماهواره ها

تعیین موقعیت ماهواره ها

کنترل رفتار ساعت اتمی هر ماهواره

تزریق پیامهای ناوبری به کلیه ماهواره ها

ایستگاههای کنترل ، موقعیت لحظه ای ماهواره را تعقیب کرده و با استفاده از آن اطلاعات موقعیتهای آینده ماهواره را پیش بینی میکنند. در این ایستگاهها همچنین اطلاعاتی نیز در مورد شرایط جوی جمع آوری میشود. از این اطلاعات جهت تعیین دقیق تاخیر حاصل از عبور امواج رادیویی از جو استفاده میشود

ایستگاههای پنجگانه در مکانهای هاوایی واقع در اقیانوس آرام ، کلرادو اسپرینگز در آمریکا ، اسنسیون در اقیانوس اطلس ، دیگه گارسیا در اقیانوس هند و کواجالین در اقیانوسیه قرار دارد.

سه ایستگاه اسنسیون ، دیگو گارسیا و کواجالین میتوانند به ماهواره ها پیام مخابره کنند. این پیامها شامل موقعیتهای جدید ماهواره ها ، تصحیح ساعت و اطلاعات دیگر است. همچنین کلیه دستوراتی که به ماهواره ها داده میشود از طریق این سه ایستگاه صورت میگیرد. ایستگاه کلرادو اسپرینگز ایستگاه اصلی اس. اطلاعات حاصل از تعقیب ماهواره ها از کلیه ایستگاههای دیگر جمع آوری و به این ایستگاه مخابره میشوند. محاسبات مربوط به موقعیت هر ماهواره و تصحیح ساعت آن در این محل صورت میگیرد.

تغییر و یا تنظیم موقعیت ماهواره ها از جمله فرامین این ایستگاه است. جایگزین کردن ماهواره های جدید بجای یک ماهواره از کار افتاده نیز از طریق دستورات این ایستگاه انجام میشود.

### ج) گیرنده های GPS

یک گیرنده GPS قادر به انجام چهار کار اساسی است.

- موقعیت دقیق محل استقرار را محاسبه کند.
- موقعیت یک نقطه را از روی نقشه به حافظه آن وارد کرده و بعد توسط محاسبه موقعیت محل استقرار به آن نقطه هدایت کند.
- میتواند اطلاعات مربوط به هر نقطه را که گیرنده در آن حضور دارد به حافظه سپرده تا در صورتی که مراجعت از مکانی به آن نقاط مورد نظر باشد قادر به یافتن مسیر بازگشت باشد.
- با محاسبه مستمر موقعیت یک متحرک جهت حرکت متحرک را نسبت به شمال یافته و سرعت متوسط حرکت را محاسبه کرده و زمان رسیدن به مقصد مشخص شده را با توجه به سرعت بدست آمده تخمین میزند.



تواناییهای فوق سبب شده GPS در کاربردهای زیر نقش اساسی ایفا کند.

#### کاربردهای زمینی:



نقشه برداری و ژئودزی ، کاداستار ، تعیین جابجایی و Deformation و هدایت زمینی

#### کاربردهای دریایی:

تعیین موقعیت سکوه‌های نفتی ، نقشه برداری جزیره های زیر آبی ، جستجو و نجات ، تعیین جذر و مد ،  
تعیین بنادر و لنگرگاهها و هدایت کشتی به بنادر

#### کاربردهای هوایی:

فتوگرامتری ، تعیین موقعیت ماهواره ای Remote Sensing ، هدایت هواپیماهای بدون سرنشین و  
هدایت هواپیماها و موشکها

گیرنده های GPS سیستمهایی غیرفعال هستند. یعنی سیستمهایی هستند که فقط اطلاعات را دریافت  
میکنند و اطلاعاتی ارسال نمیکنند. لذا از نقطه نظر نظامی مطلوب بوده چون دشمن از موقعیت گیرنده آگاه

نمیشود. همچنین میتواند در هدایت نیروهای پیاده و واحدهای زرهپوش در بیابانهای بی عارضه و تعیین موقعیت دقیق موضع پرتاب موشکهای زمین به زمین کمک فوق العاده ای نماید.

گیرنده های GPS در ابعاد متفاوت با وزنی کمتر از نیم کیلوگرم میتوانند با محاسبه پیوسته موقعیت جسم در حال حرکت سرعت جسم حامل گیرنده را تخمین زده ، حرکت او را بدست آورده و انحراف آن از شمال مغناطیسی را نمایش داده و در نهایت زمان رسیدن به مقصد مورد نظر را با بدست آوردن موقعیت و سرعت تخمینی ارائه نمایند.

غیرفعال بودن GPS سبب صرفه جویی زیاد در باتری شده و بسیاری از گیرنده های فوق را در برابر ضربه ، شوک ، آب و ... مقاوم میکند. برای اینکه گیرنده های GPS و ماهواره بتوانند همزمان کدهای مربوطه را تولید کنند در گیرنده و ماهواره ساعتهای دقیقی بکار رفته است. این سبب میگردد همواره GPS بتواند وقت دقیق محلی را نیز ارائه کرده و حتی ساعت طلوع و غروب خورشید را با استفاده از زمان و موقعیت گیرنده محاسبه و اعلام کند.

گیرنده های GPS از سه قسمت آنتن ، RF و دیجیتال تشکیل شده است.

## آنتن

آنتن گیرنده های GPS انواع مختلفی دارد اما آنتنهای GPS همگی دارای پلاریزاسیون دایروی هستند. در اینجا به چند آتن اشاره میشود:

- آنتن تک قطبی یا دو قطبی: این آنتنها برای اینکه عملکرد خوبی داشته باشند احتیاج به یک صفحه زمین دارند و تک فرکانس هستند.

- آنتن هلیکس چهار قطبی: این آنتن تک فرکانس است و نسبت به آنتنهای تک قطبی پیچیده تر بوده اما دارای گین بالاتر بوده و نیاز به صفحه زمین ندارد.

- آنتن میکرواستریپ: ساختمان ساده و کم حجمی دارد و برای کارهای هوایی مناسب است و میتواند در دو فرکانس کار کند ولی دارای گین کمی است.

- آنتن هلیکس مخروطی: میتواند در دو فرکانس کار کند و دارای گین بالایی است اما ابعاد آن بزرگ بوده و برای کارهای هوایی مناسب نیست زیرا اگر برای دریافت سیگنال ماهواره ای در افق به سمت آنها قرار گیرد قادر به پیدا کردن ماهواره های بالای سر نیست.

- آنتنهای میکرواستریپ به سبب کوچکی میتوانند مستقیماً به موازات آسمان نگه داشته شود و میتواند هر ماهواره ای را که در بالای سر قرار داشته باشد پیدا کند. ماهواره ها باید حداقل ۱۰ درجه در بالای سطح افق قرار داشته باشند تا با این آنتن ردیابی شوند. برای دریافت سیگنالهای ماهواره باید ماهواره ها درد دید باشند. هوای بارانی و برفی و طوفانی از رسیدن امواج جلوگیری نمیکنند اما موانعی همچون درختان ، صخره ها ، ساختمان بلند و نیز بودن گیرنده در داخل ساختمان ، اتومبیل و هواپیما و ... از رسیدن امواج جلوگیری میکند. لذا در صورت استفاده در یک متحرک مانند هواپیما به آنتن خارجی نیازمند هستیم. در اینصورت آنتن باید فعال باشد تا سیگنالها را قبل از انتقال از طریق کابل به گیرنده تقویت کند.

## زمان:

در تعریف پدیده پیچیده زمان می توان از این مفهوم استفاده کرد که زمان یک پدیده نسبی است و برای تعریف یک پدیده نسبی نیاز به یک عامل بیرونی است که به صورت منظم تکرار شود. برای توضیح مطلب فوق می توان به پدیده منظم و تکراری شب و روز به عنوان عامل بیرونی اشاره نمود. حتی با پیشرفت های

شگرف اخیر نیز که انسان به زمان های فوق العاده دقیقی همانند زمان های اتمی و پالساها دست یافته همچنان این زمان ها به نحوی در ارتباط با پدیده تکراری و عامل بیرونی منظم شب و روز در محاسبه زمان هستند.

### تفاوت زمان های GPS و UTC

زمان GPS براساس نوسان ساز ایستگاه کنترل اصلی MCS تعریف می شود و برای این ایستگاه هیچگونه پارامتر ساعتی در نظر گرفته نمی شود. تفاوت دیگر اینکه زمان GPS پرش های یک ثانیه ای UTC را ندارد.

### انواع زمانها

۱- سیستم زمان دورانی:

الف- زمان نجومی:

یک روز نجومی شامل ۲ عبور متوالی خورشید از نقطه ورنال می شود.

ب- زمان جهانی:

یک روز جهانی به دوبار عبور متوالی خورشید از نصف النهار محلی گفته می شود، بین زمان نجومی و جهانی ۴ دقیقه اختلاف وجود دارد.

۲- زمان یا دینامیک:

این سیستم زمانی بر مبنای پدیده تکراری دوران سیارات در حول مدار خودشان پایه ریزی شده است. به دلیل اینکه برای تعیین این زمان باید مشاهداتی در طی سالیان زیاد انجام گردد عملاً کاربرد زیادی ندارد.

۳- زمان اتمی:

این زمان براساس پدیده تکراری و منظم نوسان اتم ها پایه ریزی شده و حسن آن قابلیت دسترسی آن است.

۴- زمان پالساها:

این مبنای زمانی که هنوز به طوری کامل مورد تائید و استفاده قرارنگرفته و دارای دقتی فوق العاده در حدود ۱۰-۱۶ می باشد. پدیده تکراری مورد استفاده در این مبنای زمانی استفاده از امواج با فاصله زمان بسیار پایدار (حتی از زمان اتمی هم پایدارتر میباشد.) که از یکسر ستاره های نوترونی واقع در دور دست ارسال میگردد پایه ریزی شده است.

## بخش کاربران (گیرنده های GPS)

بمنظور تعیین موقعیت، ناوبری و استفاده های گوناگون دیگری که از سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS، نیاز به گیرنده های خاصی میباشد. از زمان راه اندازی این سیستم و از هنگامی که این سیستم علاوه بر کاربردها و اهداف اولیه آن یعنی ناوبری و نظامی در جهت کاربردهای بالقوه دیگری در ابعاد عمومی مورد استفاده قرار گرفت کارخانجات مختلفی گیرنده هایی با توجه به نوع کاربری که از لحاظ استفاده از این سیستم جهانی مدنظر بود تولید نمودند.

به طور کلی گیرنده های GPS به یکی از روش های زیر طبقه بندی میگردد:

۱- براساس کاربری گیرنده GPS

۲- براساس اطلاعات دریافتی

انواع گیرنده های GPS براساس نوع کاربری:

الف- گیرنده های نظامی:

این نوع از گیرنده ها دارای قابلیت های خاص و ویژه بوده و تنها کاربران نظامی خاصی (ایالات متحده)

به آن دسترسی دارند و کاربردهای ناوبری نظامی دارند.

ب- گیرنده های عمرانی:

این گیرنده ها برای تعیین موقعیت نسبی طراحی شده اند و به کد نظامی یعنی کد P دسترسی ندارند. از ویژگی های این گیرنده ها حجم کم و کارایی بالای این گیرنده ها است.

ج- گیرنده های ناوبری:

دارای دقت کم و قیمتی ارزان تر نسبت به سایر گیرنده ها هستند.

د- گیرنده های تعیین زمان:

ه- گیرنده های ژئودتیک:

مهمترین پارامتر در طراحی این نوع گیرنده ها دستیابی به دقت بالا در تعیین موقعیت نسبی است.

**تقسیم بندی براساس اطلاعات دریافتی:**

گیرنده های GPS را می توان براساس نوع اطلاعات دریافتی (امواج دریافتی) به ۶ دسته ذیل تقسیم

بندی نمود:

الف- گیرنده های کد C/A

ب- گیرنده های کد C/A + موج حامل L1

ج- گیرنده های کد C/A + امواج حامل L1 و L2

د- گیرنده های کد C/A + کد P + امواج حامل L1 و L2

ه- موج حامل L1 (اغلب به کار نمی رود)

و- امواج حامل L1 و L2 (اغلب به کار نمی رود)

## اجزاء گیرنده های GPS:

### ۱- آنتن و تقویت کننده اولیه:

آنتن امواج الکترومغناطیسی را کشف نمود و آنرا به یک جریان الکتریکی تبدیل کرده، نیروی آنرا تقویت نموده و به قسمت الکترونیکی گیرنده ارسال می نماید. ساختار امواج GPS به گونه ای است که بایستس تمام آنتن های GPS به صورت دایره ای پلاریزه باشند. بدلیل سیگنال های ضعیف ماهواره ای آنتن ها باید بسیار حساس باشند و در واقع به گونه ای باشند که امواج با هر آزمون و ارتفاعی را دریافت کنند.

از آنتن های در دسترس می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- آنتن های تک قطبی یا دو قطبی
- آنتن های کواریفیالار هلبکس
- آنتن های میکرواستریپ: آنتن میکرواستریپ به دلیل سادگی تولید حجم کم و کارایی بالا بیشترین کاربرد را دارد.
- آنتن های چوکرینگ (حلقه بسته): در کاربردهای ژئودتیک برای مقابله با پدیده چند مسیری شدن امواج، آنتن ها معمولا مجهز به صفحه زمینی (GROUND PLATE) و یا حلقه بسته (CHOKE RING) می شوند. حلقه بسته شامل یک نوار رسانا است که با محور قائم آنتن هم مرکز است و به یک صفحه زمینی متصل است.

### گیرنده های GPS از نظر سیستم های کانال



امواج دریافتی GPS در بخش RF به فرکانس پائین تر تبدیل شده و در چندین کانال پردازش می شوند. کانال گیرنده می تواند به عنوان واحد الکترونیکی اولیه گیرنده GPS در نظر گرفته شود. یک گیرنده می تواند یک یا چند کانال داشته باشد. معمولا گیرنده های GPS دارای یکی از سیستم های کانال زیر می باشند.

- سیستم کانال های موازی:

برای هر ماهواره یک کانال اختصاص داده می شود.

- سیستم کانال های سری:

برای ردیابی همه ماهواره ها یک کانال اختصاص داده می شود که در فواصل زمانی مساوی (حدود یک ثانیه) ردیابی ماهواره های مختلف انجام می گیرد.

- سیستم کانال های مولتی پلکس: برای ردیابی همه ماهواره ها یک کانال اختصاص داده می شود لیکن فاصله زمانی برای ردیابی هر ماهواره بسیار کوتاهتر است. (حدود چند میلی ثانیه)

گیرنده های مدرن به گونه ای طراحی شده اند که حداقل مصرف انرژی را داشته باشند. معمولا یک باتری خارجی نیک-کادمیوم قابل شارژ برای تامین انرژی الکتریکی گیرنده به کار می رود. برای مقاصد پس پردازش تمام اطلاعات بایستی در حافظه های داخلی یا خارجی ذخیره شوند.

### ماهیت مشاهدات و ساختار امواج GPS:

GPS یک سیستم اندازه گیری یک طرفه است، یعنی ماهواره فقط ارسال کننده امواج است ماهواره های GPS همانطوری که در فضا حرکت می کنند دو سیگنال را ارسال می کنند:

۱- سیگنال L1 با کد C/A

۲- سیگنال L2 با کد P

سیگنال L1 در فرکانس ۱۵۷۵/۴۲ و سیگنال L2 در فرکانس ۱۲۲۷/۶۰ مگاهرتز منتشر می شود. گیرنده GPS با آنتن آن بر روی زمین گیرنده در باند L می باشد.

فرکانس رسیده از سیگنال ماهواره با فرکانس ارسالی از ماهواره به گیرنده تفاوت دارد و با توجه به حرکت نسبی ماهواره نسبت به گیرنده تغییر می کند. این امر به پدیده POPPLER معروف است و عمدتاً تغییرات فاز در بین دو دوره زمانی مشاهده (EPOCH) را بیان می کند. موج حامل L1 دارای طول موج ۱۹ سانتیمتر و موج حامل L2 دارای طول موج ۲۵ سانتیمتری می باشد. تعداد صحیح طول موج های حامل از گیرنده تا ماهواره را جزء صحیح (INTEGER) می گویند. گیرنده GPS یک شمارش دوره صحیح را به عنوان تغییرات فاصله گیرنده تا ماهواره نسبت به زمان حفظ می کند.

کانال مسیر مدار ارسال سیگنال از ماهواره تا گیرنده در فضا و در گیرنده را گویند. گیرنده ها می توانند ۴ تا ۱۲ کانال L1 (تک فرکانسه) و L1 و L2 (دو فرکانسه) را در دسترس داشته باشند.

### مدهای دسترسی به سیگنال ماهواره GPS

امواج حامل L1 و L2 برای کدهای تعیین فاصله PRN تنظیم شده اند. سیگنال L1 با کد C/A برای استفاده های غیرنظامی (تعیین موقعیت استاندارد) و سیگنال L1 و L2 با کد P برای استفاده های نظامی (تعیین موقعیت دقیق) بکار می روند. این کدها تاخیر زمانی در اندازه گیری ها پدید می آورند تا ابهام در فاز اندازه گیری رفع شود هر ماهواره دارای کد خاص C/A و P است که توسط آن شناسایی و تعقیب می گردد.

اگر چه کد P دقیق تر است کد C/A بر روی موج حامل L1 کد اولیه در استفاده های تعیین موقعیت ژئودزی بوده است و این بلحاظ محدودیت های نظامی است که کد P را در دسترس عموم قرار نمی دهند و تنها در دسترس ارتش است و به همین دلیل بعضی از سازندگان گیرنده های GPS کد P را از گیرنده هایی که برای مصارف غیر نظامی طراحی شده اند بر می دارند. گیرنده های دو فرکانسه که هم موج حامل L1 و هم L2 را می گیرند (با کد P و بدون کد P) دارای هزینه بالایی برای کنترل کار ژئودزی هستند.

### پیام منتشر شده از ماهواره

علاوه بر کدهای C/A و P موج حاصل پیام منتشر شونده ای را نیز حمل می کند که شامل پارامترهای مداری آن فرمول تصحیح زمان ساعت، شناسائی فواصل زمانی استاندارد و افمریز (اطلاعات در Real-time) با توجه به WGS84 بذای هر کدام از ماهواره های فعال می باشد. پیام منتشر شده از زمان ماهواره در هر دوره ۱۲ ساعته از مرکز کنترل ماهواره در کلرادو اصلاح می گردد.

وقتی یک ماهواره را ردیابی می کنیم اطلاعات مداری تمامی ماهواره ها در صورت فلکی نیز توسط آن ماهواره برای ما معلوم می گردد. این رشته از داده ها توسط گیرنده از کد برگردانده می شود (به اصطلاح Decode می گردد) تا استفاده کننده را در تعیین موقعیت Real-time و در ارتفاع ماهواره مطلع کند.

### اندازه گیری به صورت یکطرفه

فاصله یاب الکترونیکی EDM یک سیستم تعیین فاصله به صورت دو طرفه (رفت و برگشت موج) است و در آن از رفلکتورهای قابل مشاهده برای برگرداندن سیگنال به EDM استفاده می گردد و فاصله به وسیله مقایسه طول موج ایجاد شده که برگردانده شده است تعیین می گردد.

GPS یک سیستم فاصله یاب یکطرفه است که همزمانی دقیق ساعت ها را در هر دو انتهای فاصله بین گیرنده و ماهواره برای اندازه گیری فاز کد و حامل نیاز دارد. یک ساعت اتمی در ماهواره برای تولید سیگنال و یک ساعت کوارتز در گیرنده برای مشخص کردن زمان رسیدن سیگنال به گیرنده بکار گرفته شده است. در حقیقت سیستم GPS سیستم توانایی برای توزیع زمان دقیق می باشد.

### **مقایسه فاز بروی طول موج حامل**

ابهام فاز (ابهام فاز در تعداد طول موج های ارسالی از ماهواره) با ترکیب کد C/A و اندازه گیری فاز حامل حل می شود. زمانی که داپلرشیفت موج حامل ماهواره با پاسخ فرکانس مرجع گیرنده تفاوت داشته باشد اندازه گیری فاز موج حامل انجام می گیرد. فاز سیگنال که این اختلاف را حفظ می کند به نام اختلاف فاز حامل بیان می گردد.

### **فاصله کاذب Pseudo-range**

فاصله کاذب یک شیفت (تاخیر) مورد نیاز برای قراردادن کد پاسخ مرجع GPS ایجاد شده در گیرنده با کد GPS رسیده از ماهواره می باشد و بوسیله سرعت نور به فاصله تبدیل می شود. زمان شیفت مزبور اختلاف زمانی بین رسیدن سیگنال و انتشار آن (که هر دو در چارچوب زمان ماهواره اندازه گیری می شوند) است. این شیفت در یک لحظه زمانی مشخص فاصله از ماهواره تا آنتن زمینی را که تصحیحات ساعت بروی آن اعمال نشده است به ما می دهد.

### **فاصله درست True-range**

نرم افزار در گیرنده زمان را برای داده های جمع آوری شده در نظر می گیرد و آنها را برای پردازش بعدی ذخیره می کند. سپس کامپیوتر نرم افزار تصحیحات برای خطای ساعت و ابهام در فاز را انجام می دهد. یک بار این تصحیحات در طول پردازش داده ها انجام می گیرد و فاصله واقعی تا ماهواره معلوم می گردد.

### **GPS بهترین فاصله یاب قابل دسترس در این زمان**

GPS عالی ترین ابزار را برای اندازه گیری فاصله فراهم می نماید. دو گیرنده GPS در دو نقطه مستقر می شود (یکی معلوم و یکی مجهول) و در یک زمان ماهواره های مشترکی را مشاهده می کنند در این صورت اندازه گیری فاصله بدون توجه به شکل زمین یا فاصله بین ایستگاه های انجام می گیرد.

GPS نیاز به برقراری دید را از بین برده است و مسئله نداشتن دید وجود ندارد. در هنگام استفاده از GPS تعداد ایستگاه های احداث شده کم می شوند و نیازی به بستن پیمایش و پلیگون بندی وجود ندارد. بنابراین می توان بر روی مناطق بزرگ در مدت زمان کوتاهی کنترل ایجاد نمود.

این مسئله نه تنها زمان کمتری صرف می کند در موقع شرایط نامطلوب جوی اتلاف زمانی کمتری نیز خواهیم داشت توجه کنید که اگر چه بارندگی و مه در ارسال داده ها تاثیری نمی گذارد اما درخشش و نور آنها قابل توجه است. در بیشتر موارد استفاده کنندگان خود را با جدول زمان کار در شب (همانطوری که امروزه استفاده کنندگان از ماهواره های بلوک I در طول زمستان انجام می دهند) وفق می دهند تا شرایط جوی برای مشاهدات GPS مطلوب گردد.

GPS تمامی حوزه امکانات جدید در طراحی نقشه برداری و کاهش هزینه را به ما ارائه می دهد. از آن بایستی به عنوان وسیله دیگر نقشه برداری در هر جا که ممکن باشد بصورت روزمره استفاده شود تا بتوانیم یک کار نقشه برداری مفید و کم هزینه را ایجاد کنیم.

## چرا GPS؟

یکی از قدیمی ترین نیازها و دغدغه های بشر این بوده است که بتواند روشی را پیدا کند که از طریق آن بداند کجاست و بتواند مسیر خود را بیابد

مسیر یابی (ناوبری Navigation) و تعیین موقعیت مکانی (Positioning) دو موضوع مهم و تعیین کننده در اکثر فعالیتهای بشر بوده و هست و همواره انسان را در دستیابی به توانائی هر چه بیشتر و بهتر در این دو مقوله به چالش انداخته است.

در طی سالهای گذشته فن آوری های زیادی برای مسیر یابی و تعیین موقعیت مکانی مورد استفاده و آزمون قرار گرفتند که هر یک ضمن داشتن امتیازات، نا کارآمدی های خود را داشتند

## جدول محدودیتهای فن آوری های مورد استفاده در مسیر یابی و تعیین موقعیت مکانی

نوع فن آوری	محدودیتها
<b>Landmarks</b>	در موقعیت جغرافیائی محدود قابل استفاده است، تحت تاثیر جابجائی و محدودیت های محیطی قرار دارد
<b>Dead Reckoning</b>	خیلی پیچیده بوده و صحت آن شدیداً به نوع دستگاه وابسته است که معمولاً ابتدائی و ناکارآمد بودند، احتمال وقوع تجمع خطاها بشدت وجود دارد

<b>Celestial</b>	خیلی پیچیده و غیر دقیق بوده و فقط در شب امکان پذیر است،
<b>OMEGA</b>	غیر دقیق و مبتنی بر تعداد بسیار کم طول موجهای ارسالی در چند جهت بوده و تحت تاثیر اختلالات رادیویی نا خواسته قرار میگیرد
<b>LORAN</b>	محدوده پوشش محدود(معمولا سواحل)، دقت متغیر، در موقعیت های جغرافیائی متفاوت متغیر است. به راحتی تحت تاثیر اختلالات رادیویی نا خواسته قرار میگیرد
<b>SatNav</b>	مبتنی بر اندازه گیریهای داپلر با طول موج کوتاه بنابر این شدیداً تحت تاثیر جابجائی جزئی گیرنده قرار میگیرد. تعداد ماهوار های حمایت کننده کم بوده و به روز کردن اطلاعات تناوب مناسب را ندارد.

## چرا وزارت دفاع امریکا اقدام به ایجاد سیستم GPS نمود؟

در روزهای انتهائی مسابقه تسلیحاتی، توانائی هدف گیری تاسیسات موشکی جماهیر سوسیالیستی شوروی در خاک شوروی و در سیلوهای موشکها، که بتواند با دقتی بسیار زیادی انجام شود این امکان را به نیروهای امریکائی میداد تا تعادل قدرت را در این مسابقه تسلیحاتی، بسود خود رقم زنند.

برای هدف گیری تاسیسات موشکی دشمن، لازم بود تا محل استقرار دقیق سایت موشکی خودی دقیقا قابل تایین باشد. این عمل برای سایتهای موشکی مستقر در خشکی کار دشواری نبود، اما اگر قرار بود که چنین حمله موشکی از دریا و یا از طریق زیر دریائی از اعماق دریا انجام شود، این امر با اشکال مواخه می شد.

از این رو تعیین و حفظ موقعیت دقیق سایت موشکی خودی نسبت به هر نقطه در روی کره زمین منجر به ایجاد سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS (Global Positioning System گردید.



## سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS (Global Positioning System

این سیستم یک سیستم جهانی ناوبری رادیویی است که از ۲۴ ماهواره و ایستگاههای زمینی آن تشکیل شده است.

سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS (Global Positioning System در واقع با ایجاد ستارگان مصنوعی در آسمان به عنوان نقاط مرجع، امکان تعیین موقعیت مکانی را تا حد متر و با GPS های پیشرفته تا حد سانتی متر فراهم آورده است.

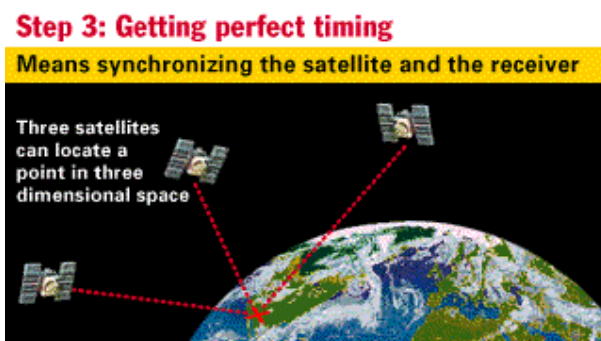
در واقع این سیستم به هر متر مربع روی زمین آدرسی میدهد که میتوان آن را با سرعت پیدا کرد.

گیرنده های GPS تا حد چند مدار الکترونیکی ساده شده اند تا اقتصادی بوده و هر کسی توان خرید آن را داشته باشد. همچنین آنقدر کوچک شده اند که بتوان آن را در ساعت مچی، در خودرو، قایق، ادوات کشاورزی و حتی رایانه های Laptop قرار داد.

بزودی گیرنده های GPS همانند تلفن همراه

یکی از وسائل مورد نیاز هر فرد خواهد شد.

مختصات ماهواره GPS



سازنده: Rockwell International

نام: NAVSTAR

ارتفاع: ۱۰۹۰۰ مایل دریائی	وزن: ۱۹۰۰ پوند (در مدار)
ابعاد: با بالهای گسترده ۱۷ پا	دوره گردش بدور زمین: ۱۲ ساعت
صفحه چرخش: با زاویه ۵۵ درجه نسبت به استوا	طول عمر: ۷.۵ سال
مجموعه حاضر: ۲۴ ماهواره	مجموعه آینده: ۲۱ ماهواره

### ایستگاه های زمینی:

این ایستگاه ها همزمان هم موقعیت دقیق مکانی ماهواره ها را کنترل نموده و هم بر کارکرد سالم آنها نظارت مینمایند. ایستگاه زمینی مادر با ارسال تصحیحات مدار دقیق قرارگیری ماهواره ها و ضریب تصحیح برای ساعت به ماهواره ها موقعیت آنها را دائما تصحیح می نماید. و ماهواره ها این تصحیحات را برسیگنالهای ارسالی خود اعمال مینمایند.

در حال حاضر ۵ ماهواره زمینی به پایش ماهواره های GPS مشغول هستند: ایستگاه زمینی Hawaii ، Colorado Springs و Diego Garcia, Kwajalein, Ascension Island.

### اشکال پیشرفته GPS :

نیاز به دقت هر چه بیشتر GPS ها منجر به ایجاد تغییراتی در ساختار و فن آوری GPS ها گردیده است. که یکی از این سیستمها، DGPS (Differential GPS) است که مبتنی بر دو گیرنده GPS زمینی است. یکی از این گیرنده های GPS ثابت بوده و تغییرات سیگنال دریافتی از ماهواره ها را مونیتور می نماید. و دیگری به تعیین موقعیت مکانی مشغول بوده که تغییرات سیگنال دریافتی از ماهواره توسط ارتباط

رادیویی از گیرنده GPS ثابت به گیرنده سیار GPS ارسال میگردد. از این طریق گیرنده GPS ثابت قادر به تصحیح سیگنالهای دریافتی خواهد بود

فن آوری پیشرفته دیگر به **Carrier-phase GPS** مشهور است. این سیستم مبتنی بر تغییر درناقلهای سیگنال ارسالی توسط ماهواره است. در این سیستم از سیگنالهای ناقل با فرکانس بالا استفاده میشود که منجر به محاسبه دقت زمانی بالاتری گردیده و در نتیجه باعث بالا رفتن دقت محاسبه مختصات مکانی میشود. فن آوری پیشرفته دیگر به **Augmented GPS** یا GPS تقویت شده مشهور است. این سیستم که توسط صنایع هوانوردی ابداع شده است با استقرار یک ماهواره زمین ایستا geostationary در فضا به عنوان ایستگاه ثابت همانند آنچه در DGPS بود به تصحیح سیگنالهای سایر گیرنده های GPS در سطح جهانی میشود. (بر خلاف DGPS که در وسعت محلی قادر به انجام اینکار بود). این عمل برای سیستم ناوبری هوایی بمنظور هدایت و فرود آمدن هواپیما ها بسیار حائز اهمیت است.

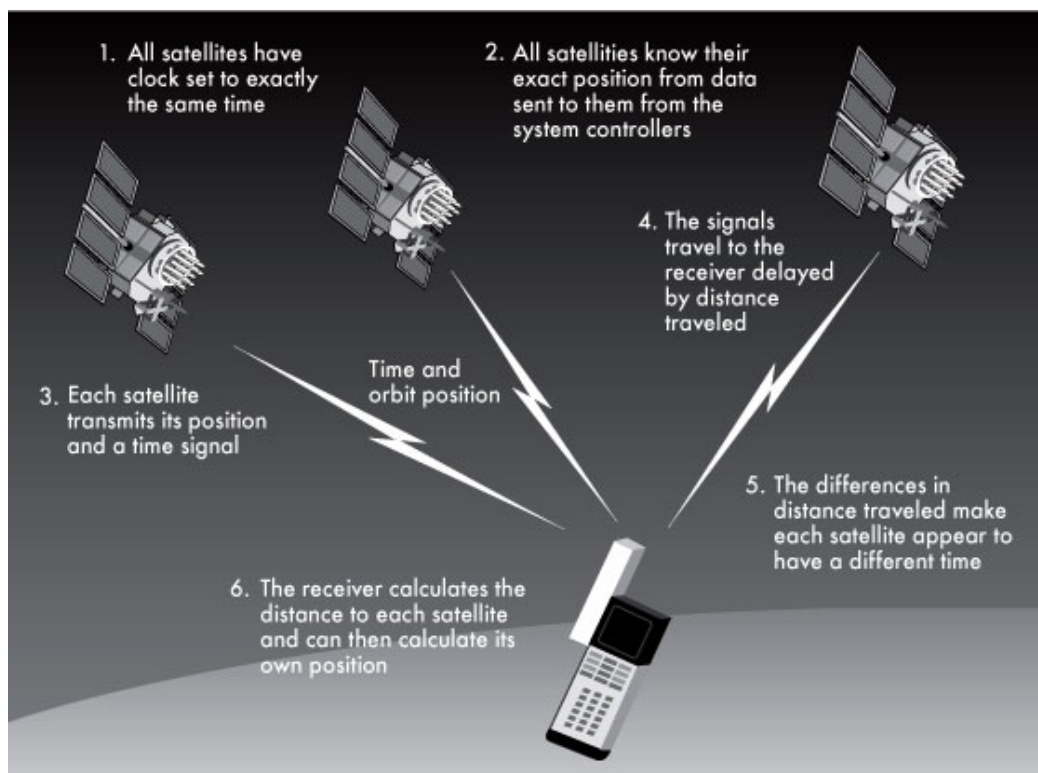
### مراحل پنجگانه در کارکرد GPS

- ۱- مبنای کار GPS مثلث بندی triangulation از طریق ماهواره هاست
- ۲- برای انجام مثلث بندی، یک گیرنده GPS فاصله خود را از ماهواره، از طریق اندازه گیری زمان طی شده توسط سیگنال دریافتی، محاسبه مینماید.
- ۳- برای اندازه گیری زمان طی شده توسط سیگنال دریافتی، لازم است گیرنده GPS بتواند زمان را بسیار دقیق محاسبه نماید (دارای ساعت بسیار دقیق باشد). این عمل با انجام چند ترفند ساده انجام می شود.
- ۴- علاوه بر دانستن فاصله خود از ماهواره باید محل دقیق ماهواره در فضا را نیز دانست. که این عمل توسط تعیین و کنترل دقیق مدار ماهواره انجام می شود که سری است.

۵- در نهایت باید تصحیحاتی در فاصله محاسبه شده انجام گیرد چونکه سیگنالهای دریافتی تحت

تأثیر جو دچار تغییر سرعت میشوند.

شمای مراحل پنجگانه کارکرد GPS:



تعیین مسافت توسط گیرنده های GPS:

اگر چه غیر محتمل بنظر میرسد اما کل داستان GPS بر تعیین فاصله گیرنده GPS از ماهواره ها استوار است.

این عمل از طریق مثلث بندی انجام میشود. در حال حاضر فراموش کنید که تعیین فاصله چگونه انجام میشود. به این موضوع بعدا پرداخته خواهد شد.

تبیین هندسی مثلث بندی

فرض کنید میدانیم که فاصله GPS از یک ماهواره در فضا ۱۱۰۰۰ مایل است. در این حالت اگر فرض کنیم که ماهواره در مرکز قرار گرفته باشد محل گیرنده GPS منطقاً درجائی بر روی سطح کره ای قرار دارد که شعاع آن از مرکز کره (محل ماهواره) ۱۱۰۰۰ مایل است.

حال اگر بدانیم که فاصله GPS از یک ماهواره دیگر در فضا ۱۲۰۰۰ مایل است، در این حالت محل قرار گیری GPS به محدوده ائی که از همپوشانی دو ماهواره (که یک صفحه خواهد بود) ایجاد میشود، محدود میگردد.

حال اگر فاصله GPS از یک ماهواره دیگر را بدانیم که ۱۳۰۰۰ مایل است، در این حالت محل قرار گیری GPS به محدوده ائی که از همپوشانی سه ماهواره (که یک خط خواهد بود) ایجاد میشود، محدود میگردد. در این حالت تنها یک سر این خط بر روی زمین قرار خواهد داشت که محل دقیق گیرنده GPS است و سر دیگر خط، جائی در فضا خواهد بود که مورد نظر ما نیست. از این روست که به این عمل تعیین موقعیت، مثلث بندی می گویند. چرا که برای تعیین موقعیت هر نقطه روی زمین کافیه فاصله آن را از سه نقطه در فضا بدانیم. اما در عمل برای دقت بیشتر لازم است فاصله خود را از ماهواره چهارمی هم بدانیم. در این حالت نقطه ای در عالم جز محل قرار گیری گیرنده GPS وجود ندارد که فاصله آن از چهار نقطه برا بر مقدار تعیین شده باشد.

### **مراحل مثلث بندی را میتوان بصورت زیر خلاصه نمود:**

- ۱- موقعیت گیرنده GPS از طریق محاسبه فاصله انجام میگردد
- ۲- بلحاظ ریاضی برای تعیین موقعیت یک نقطه دانستن ۳ فاصله کافی است اگر نقطه دیگر که مختصات غیر واقعی دارد را حذف نماییم.
- ۳- بلحاظ عملی برای تعیین موقعیت، نیازمند به دانستن ۴ فاصله هستیم

۴- علت دانستن فاصله از ماهواره چهارم در فصول بعدی تشریح خواهد شد

### تبیین ریاضی کارکرد GPS:

همانطور که گفته شد موقعیت گیرنده GPS از طریق تعیین فاصله گیرنده زمینی تا ماهواره های GPS با استفاده از تعیین تاخیر زمانی دریافت سیگنالهای ارسالی از ماهواره تا گیرنده GPS انجام می پذیرد.

این محاسبه همان محاسبه تعیین مسافت با استفاده از زمان و سرعت که در دوران دبیرستان خواندیم انجام می گیرد.

بخاطر آورید که اگر خودروئی با سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت و بمدت ۲ ساعت حرکت کند، مسافت طی شده برابر بود با:

$$d_{distance} = V_{velocity} \times t_{time} \Rightarrow 2 \times 60 = 120_{distance}$$

در خصوص GPS از آنجائی که در این معادله سرعت امواج رادیوئی ارسالی از ماهواره ها محاسبه میشود لذا سرعت این امواج همان سرعت نور که تقریباً برابر ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه یا ۱۸۶۰۰۰ مایل در ثانیه است می باشد. تنها چیزی که لازم است بدانیم تنها زمان طی مسافت یک موج رادیوئی از ماهواره تا زمین است.

موضوع زمان یک موضوع بسیار مهم و تعیین کننده در کارکرد GPS محسوب میشود. تصور کنید اگر ماهواره دقیقاً در بالای سر گیرنده GPS قرار داشته باشد، ۰.۰۶ ثانیه طول میکشد تا یک موج ارسالی از

ماهواره به زمین برسد. از این رو برای تعیین دقیق زمان طی مسافت موج ارسالی، نیاز به داشتن ساعت بسیار دقیق است.

حال باز هم تصور نمایید که ساعت بسیار دقیق نیز در اختیار داریم، اما چگونه زمان طی مسافت موج ارسالی را تعیین می‌نماییم؟

تصور نمایید که راهی وجود می‌داشت تا می‌توانستیم صدائی را هم در ماهواره و هم در گیرنده GPS همزمان در ساعت ۱۲ ایجاد کنیم. اگر در محل گیرنده GPS قرار داشته باشیم دو صدا خواهیم شنید که اولی از گیرنده GPS و دیگری که با تاخیر شنیده خواهد شد از ماهواره خواهد بود. طی مسافت موج ارسالی در حدود ۱۱۰۰۰ مایل در فضا علت این تاخیر هر چند کوچک است. حال برای اینکه زمان تاخیر را که برابر با زمان طی شده خواهد بود را محاسبه نماییم کافی است تا زمان ارسال صدا از گیرنده GPS را آنقدر به تاخیر بیاندازیم تا این دو صدا همزمان شنیده شوند. این تفاوت زمان تاخیر برابر با زمان طی شده است.

حال با ضرب این عدد در سرعت نور مسافت بین ماهواره و گیرنده GPS بدست می‌آید.

تمام مکانیزم کارکرد سیستم GPS بر اساس این محاسبه ساده استوار است!

تنها تفاوت تصور بالا با آنچه واقعا روی میدهد، آن است که بجای صدا از کدهای مجازی تصادفی رادیویی "Pseudo Random Code" یا PRC استفاده میشود. بطور فیزیکی PRC عبارت است از کدهای دودویی پیچیده یا به عبارت دیگر تناوب پیچیده‌ای از روشن و خاموش‌ها یا پالسهای on و off.

این سیگنالها چنان پیچیده اند که به پارازیت‌های الکتریکی تصادفی شباهت دارند. از این روست که به آن کدهای مجازی تصادفی رادیویی گفته می‌شود.

برای تصادفی بودن این امواج چند دلیل منطقی وجود دارد:

اولاً، پیچیده و تصادفی بودن به ما کمک می نماید تا احتمال اینکه گیرنده GPS تصادفاً با موج دیگری همزمان Synchron شود برابر صفر گردد. ثانیاً، الگوی کد های ارسالی چنان پیچیده است که کاملاً غیر ممکن است که دو دامنه از کدها دارای شکل یکسان باشند.

از طرف دیگر چون هر ماهواره PRC خود را تولید می نماید. با توجه به پیچیده بودن کدهای ارسالی، بسیار بعید خواهد بود که دامنه امواج ارسالی یک ماهواره بطور همزمان همانند ماهواره دیگر گردد. از این رو گیرنده GPS بین ماهواره های متفاوت اشتباه نمی کند. از این رو ماهواره های متفاوت می توانند از امواج با فرکانس یکسان بدون اینکه با یکدیگر اشتباه شوند استفاده نمایند. همچنین احتمال تداخل در ارسال امواج توسط نیروهای دشمن غیر ممکن میشود. در واقع PRC به DoD (وزارت دفاع امریکا) امکان دسترسی به سیستم را می دهد. دلیل دیگری نیز برای راندم بودن کدهای ارسالی وجود دارد که باعث اقتصادی شدن سیستم GPS می شود، راندم بودن کدهای ارسالی این امکان را میدهد تا با استفاده از تئوری اطلاعات information theory سیگنالهای GPS را تشدید (amplify) کرد. از این روست که برای دریافت امواج توسط GPS نیاز به آنتن های بزرگ نیست.

در مثال قبلی فرض نمودیم که هم ماهواره ها و هم گیرنده GPS بتوانند دقیقاً بطور همزمان به ایجاد سیگنال بپردازند.

اما سوال این است که چگونه این همزمانی کامل ارسال سیگنال تحقق می یابد؟





## تشریح سیگنالهای GPS

### ناقل ها Carriers

ماهواره های GPS دو نوع فرکانس ناقل تولید مینمایند. ناقل نوع L1 که دارای تناوب ۱۵۷۵.۴۲ مگا هرتز (MHz) بوده که هم کدهای مجازی تصادفی و هم اطلاعات مربوط به وضعیت ماهواره را حمل مینماید. ناقل نوع L2 که دارای تناوب ۱۲۲۷.۶۰ مگا هرتز (MHz) بوده که برای ارسال کدهای مجازی تصادفی بسیار دقیق برای کاربرد نظامی استفاده می شود.

### کدهای مجازی تصادفی Pseudo-Random Codes

دو نوع کد مجازی تصادفی وجود دارد. اولین نوع کد نادقیق یا C/A (Coarse Acquisition code) است که توسط ناقل L1 ارسال میشود. این کد هر ۱۰۲۳ بیت تکرار شده و با نرخ ۱ مگا هرتز (MHz) مدوله میشود. هر ماهواره دارای C/A منحصر بفرد خود است. کد C/A مبنای کاربرد غیر نظامی GPS است.

دومین نوع کد به کد دقیق یا P (Precise code) مشهور است. این کد برای مقاصد نظامی ارسال شده و قابل خواندن توسط GPS های معمولی نیست. از این رو گیرنده های نظامی ابتدا در مد C/A کار نموده و سپس به مد P تغییر حالت میدهند.

### پیغامهای ناوبری Navigation Message

همچنین سیگنالهای با فرکانس پایین نیز به کد های L1 اضافه می شود که اطلاعاتی در مورد مدار ماهواره، تصحیحات ساعت و وضعیت سیستم ماهواره را حمل مینماید

## GPS های رمز گذاری شده Encrypted GPS

توسعه GPS مقدماتی برای مقاصد نظامی انجام گردید. اگر چه هم اکنون میزان استفاده غیر نظامی آن ۱۰ برابر کاربرد نظامی آن است، اهمیت نظامی آن همچنان محفوظ مانده است. از این رو انحصار نظامی آن بر کد های P-code همچنان باقی است. دقت کد های P-code ۱۰ برابر کد C/A code است. برای همین منظور این کد معمولا رمز گذاری شده که به آن کد Y-code گویند که تنها توسط گیرنده های نظامی قابل رمز گشایی است. و چون این کدها در دو ناقل مدو له میشوند، امکان انجام ترفندهای مختلف بمنظور حذف خطاهای موجود که در اثر عبور از جو بر روی این امواج ایجاد میگردد قابل انجام است.

### کدهای مجازی تصادفی به عنوان تقویت کننده

استفاده از کدهای مجازی تصادفی در GPS یکی از هوشمندانه ترین ایده هاست. این کدها علاوه بر ایجاد امکان محاسبه زمان، ما را قادر می سازد تا امواج بسیار ضعیف ارسالی از ماهواره را نیز تقویت نماییم. در زیر نحوه تقویت امواج ارسالی از ماهواره تشریح می گردد.

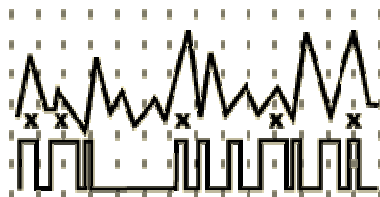
جهان پیرامون ما مملو از امواج مزاحم تصادفی است. اگر گیرنده خود را با فرکانس GPS تنظیم نماییم و نمودار امواجی را که دریافت میشود ترسیم کنیم، مجموعه ای از خطوط راندم را مشاهده خواهیم کرد که شامل امواج ناخواسته پس زمینه که از پدیده های اطراف ارسال میشود را نیز در بر دارد که سیگنالهای ارسالی GPS درون آن مدفون شده است.



کدهای مجازی تصادفی در GPS بسیار شبیه امواج ناخواسته پس زمینه که از پدیده های اطراف ارسال میشوند هستند اما با یک تفاوت عمده که ما الگوی تناوب آن را میدانیم.

اگر بخشی از PRC حاصل ازگیرنده خود را با امواج در یافتی مقایسه نماییم در خواهیم یافت که قسمتهائی از این دو موج رفتار مشابه دارند. حال می توان سیگنالها را به دوره های زمانی مشخصی تقسیم نمود که به این عمل بطور تحت الفظی خلال کردن سیگنال chipping the signal گویند. حال میتوان کلیه دوره های زمانی را که با یکدیگر مطابقت دارند را علامت گذاری کرد(هر جا که هم سیگنال زمینه و هم سیگنال PRC بالا است).

شکل زیر نحوه انجام این تطابق را نشان میدهد.



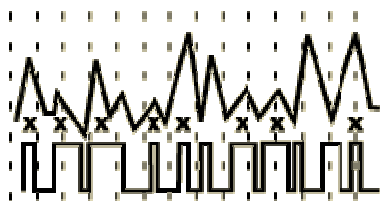
از آنجائیکه هر دو سیگنال دارای الگوی تصادفی هستند، قانون احتمالات میگوید که شانس اینکه الگوی رفتاری این دو سیگنال با یکدیگر مطابقت داشته باشد نصف شانسی است که الگوی رفتاری این دو سیگنال با یکدیگر مطابقت نداشته باشد.

اگر یک سیستم نمره دهی برقرار نماییم که هر جا الگوی رفتاری این دو سیگنال با یکدیگر مطابقت داشته باشد به آن نمره ۱ داده و هر جا که این الگوی رفتاری با یکدیگر مطابقت نداشته باشد ۱- دهیم در یک

بازه (دوره) زمانی طولانی جمع این اعداد، طبق آنچه در باره قانون احتمالات ذکر شد، برابر صفر خواهد شد.

حال اگر یک ماهواره GPS اقدام به ارسال سیگنالهایی با الگوئی مطابق کدهای PRC دستگاه گیرنده ما نماید، این سیگنالها، علارغم ضعیف بودن سیگنالهای دریافتی از ماهواره، منجر به تقویت سیگنالهای امواج ناخواسته پس زمینه با همان الگوئی خواهد شد که ما برای مقایسه خود استفاده کردیم.

سیگنالهای تصادفی زمینه که در حاشیه با PRC دستگاه گیرنده مطابقت داشته باشند نمره ۱ گرفته از این محل به بعد شاهد مطابقت بیشتر دو سیگنال خواهیم بود و نمره دهی ما با هر مطابقت یک نمره افزایش می یابد



حتی اگر بازای هر ۱۰۰ پالس زمینه در طول این خط ۱ مطابقت مشاهده شود، با ادامه مقایسه در طول زمان میتوانیم این نمره (Score) راتا هر مقدار که لازم باشد افزایش دهیم. مثلا میتوان در طول ۱۰۰۰۰ دوره زمانی این عدد را از ۱ به ۱۰۰ افزایش داد.

اگر کدهای PRC را با سیگنالهای کاملاً تصادفی در طول هزار دوره زمانی مقایسه نماییم نمره ما هنوز برابر صفر خواهد. بنابر این همانطور که مشاهده شد در صورت وجود سیگنالهای با الگوی مشخص ارسالی از ماهواره در بین سیگنالهای کاملاً تصادفی زمینه، نمره مذکور برابر ۱۰ خواهد بود و این به معنای تقویت سیگنال ماهواره بدون داشتن سیگنال قوی و یا بدون داشتن آنتن بزرگ خواهد بود.

لازم به ذکر است که در اینجا توضیح حاضر تا حد ممکن ساده بیان گردید. اما مفهوم اساسی ایده فوق بسیار مهم و پیچیده است. شاید این ایده به ذهن شما متبادر شود که چرا تلویزیونهای ماهواره ای از این مفهوم برای به حداقل رساندن بزرگی آنتن استفاده نمی نمایند. جواب آن در تفاوت سرعت قرائت مورد نیاز این دو سیستم است.

سیگنالهای GPS حامل اطلاعات بسیار جزئی هستند که این اطلاعات اساساً چیزی جز پالسهای زمانی تکرار شونده نیستند.

از این رو میتوان این سیگنالها را در طول بازه های (Period) زمانی زیادی مقایسه نمود. در حالیکه سیگنالهای تلویزیونی، حاوی اطلاعات بیشماری بوده و بسرعت تغییر مینمایند. لذا سیستم مقایسه کننده برای کشف و جدا سازی سیگنالهای اطلاعات از نویز بسیار کند عمل خواهد نمود. در حالیکه تصاویر تلویزیونی باید بسرعت جایگزین شوند تا تصویری واضح ایجاد نمایند.

مروری بر آنچه در باره اندازه گیری مسافت بیان شد:

۱- تعیین فاصله تا ماهواره از طریق اندازه گیری زمانی که طول می کشد تا یک سیگنال رادیویی به گیرنده برسد انجام می پذیرد.

۲- برای اندازه گیری زمان فرض مینماییم که ماهواره و گیرنده هردو کدهای مجازی تصادفی PRC مشابهی را در زمان یکسان ایجاد می نمایند.

۳- با مقایسه زمان دریافت کدهای مجازی تصادفی PRC ماهواره با زمان ایجاد کدهای مجازی تصادفی PRC گیرنده، تاخیر زمانی بین ایندو برابر زمانی است که طول می کشد تا PRC ماهواره به زمین برسد

۴- حاصل ضرب این زمان در سرعت نور، فاصله ماهواره تا گیرنده را نشان میدهد.

همانطور که ملاحظه میشود اندازه گیری زمان تاخیر، هسته کلیدی کارکرد GPS است. از این رو دقت ساعت مورد استفاده هنگامی معلوم میشود که بدانیم اگر در محاسبه زمان تاخیر تنها یک هزارم ثانیه! اشتباه کنیم حاصل ضرب این مقدار ناچیز در سرعت نور خطای محاسبه مسافتی برابر ۲۰۰ مایل را ایجاد می نماید!

در خصوص ساعت موجود در ماهواره مشکلی وجود ندارد چرا که در ماهواره از ساعت اتمی استفاده میشود. اما موضوع ایجاد چنان دقتی در ساعت گیرنده GPS چه خواهد شد؟

بخاطر داشته باشید که باید هم ماهواره و هم گیرنده GPS همزمان به ایجاد کدهای PRC اقدام نمایند و دقت در این همزمانی بسیار مهم است.

اگر قرار بود که گیرنده GPS نیز همانند ماهواره دارای ساعت اتمی باشند قیمت هر گیرنده GPS بالغ بر ۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ دلار آمریکا میشد.

خوشبختانه طراحان گیرنده های GPS به ترفند هوشمندانه ای دست یافتند که بدون نیاز به ساعت گران قیمت دقتی برابر ساعت اتمی ایجاد نمایند. این ترفند یکی از عناصر اصلی کارکرد گیرنده های GPS تلقی می شود.

راز دقت اندازه گیری زمان، درافزایش یک اندازه گیری اضافی در مثلث بندی فاصله گیرنده GPS با ماهواره است.

همانطور که بیان شد با اندازه گیری ۳ فاصله گیرنده GPS تا ماهواره میتوان به نقطه مورد نظر رسید. و اندازه گیری فاصله گیرنده GPS با ماهواره چهارم نقش خود را در افزایش دقت اندازه گیری زمان نیز ایفا

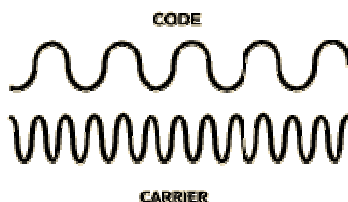
مینماید. از این روست که برای تعیین دقیق موقعیت مکانی گیرنده GPS حداقل نیاز به اندازه گیری فاصله با چهار ماهواره می باشد.

### ساعت اتمی چگونه کار میکند؟

ساعت اتمی برخلاف تصور عامه کاری با اتم و انرژی اتمی ندارد. این نام از آنجا وارد این قضیه شده است که برای زمان شمار دستگاه (metronome) خود از تناوب یک اتم خاص استفاده میشود. چنین روش محاسبه زمان یکی از دقیق ترین شیوه های اندازه گیری زمان است که بشر تا کنون ابداع نموده است.

اختلاف GPS های با کارکرد مبتنی بر دوره\_کد با GPS های با کارکرد مبتنی بر دوره\_ناقل **Code-**

### Phase GPS vs. Carrier-Phase GPS



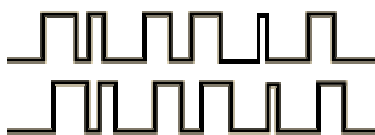
واژه های " دوره\_کد (Code-Phase)" و " دوره\_ناقل (Carrier-Phase)" ما را به یاد وازهای پیچیده الکترونیک انداخته که کمی مرعوب کننده است. در حالی که هر دو مشتمل بر سیگنالل ویژه ای هستند که برای اندازه گیری زمان مورد استفاده واقع می شوند.

استفاده از مفهوم فرکانس دوره\_ناقل (Carrier-Phase) در GPS بطور چشمگیری دقت کار آن را افزایش داده است.



مبانی فرکانس دوره\_ناقل (Carrier-Phase) ساده بوده اما برای درک آن لازم است مروری بر چند اصل اساسی GPS داشته باشیم

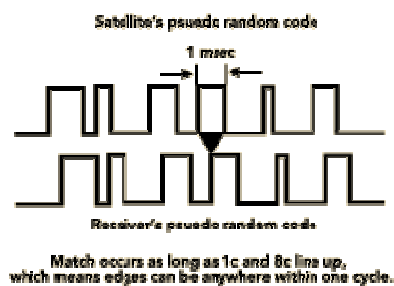
بخاطر بیاورید که یک گیرنده GPS برای تعیین زمانی که طول می کشد تا یک سیگنال از ماهواره به گیرنده برسد از مفهوم "کد مجازی تصادفی PRC" استفاده مینماید. به عبارت دیگر گیرنده GPS همان سیگنالی را تولید مینماید که ماهواره ایجاد میکند.



گیرنده GPS آنقدر کد ارسالی خود را در طول زمان جابجا مینماید تا دقیقاً با کد سیگنال ارسالی از ماهواره همزمان شود (synchron). مدت زمانی که این جابجائی طول میکشد تا بهترین تطابق صورت گیرد برابر زمان طی شده برای سیگنال است تا از ماهواره به زمین برسد.

مشکل اینجااست که یک بیت (سیکل) از کد PRC چنان پهن است که حتی اگر این دو سیگنال (گیرنده GPS و سیگنال ارسالی از ماهواره) با یکدیگر همزمان شوند، باز هم مقداری جابجائی دیده میشود.

شکل زیر را در نظر بگیرید:



هنگامی که لبه یک ازدو سیگنال PRC در بین سیگنال دیگر قرار گیرد ایندو یک شده فرض میشوند.

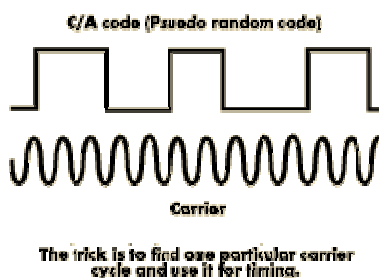
اما علاوه بر جور شدن سیگنالهای PRC هنوز دامنه آنها با یکدیگر تطابق کامل ندارد.

این مشکلی است که سیگنالهای PRC با آن مواجه هستند. و گیرنده هایی که با سیگنالهای PRC با مطابقت دادن کدهائی کار میکنند که دارای دامنه ای حدود ۱ میکرو ثانیه هستند. در سرعت نور، ۱ میکرو ثانیه خطای محاسبه مسافتی معادل ۳۰۰ متر ایجاد مینماید!

لازم به ذکر است گیرنده های GPS ی که با سیگنالهای PRC کار میکنند آن مقداری که ذکر شد بد عمل نمیکند. چرا که دانشمندان راههائی را ابداع کرده اند که بتوانند تطابق نسبتا کاملی را بین سیگنالهای PRC ایجاد کنند. اما هنوز این گیرنده ها خطائی معادل ۳-۶ متر ایجاد میکنند.

استفاده از مفهوم فرکانس دوره\_ناقل (Carrier-Phase) در گیرنده های GPS به این صورت عمل مینماید که سیستم ابتدا شروع به ارسال سیگنالهای PRC مینماید و برای اندازه گیری و تطابق کدها از فرکانس دوره\_ناقل استفاده مینماید.

فرکانس سیگنالهای دوره\_ناقل (Carrier-Phase) بسیار بیشتر از فرکانس کد های PRC است. و ضربانهای آن (PULS) بسیار نزدیک تر به یکدیگرند و در نتیجه برای تطابق از دقت بیشتری برخوردارند.



اگر این مفهوم را خوب در نیافته اید، رادیوی خود را تصور نمایید که بر روی فرکانس ۹۴.۷ تنظیم شده است. در این حالت در واقع شما رادیو خود را بر روی سیگنال دوره\_ناقل (Carrier-Phase) با فرکانس ۹۴.۷ مگا هرتز تنظیم کرده اید. بدیهی است که صدائی را که دارای فرکانس ۹۴.۷ میلیون هرتز است را نمی توان شنید. در واقع وقتی کلمه الف را از رادیو می شنویم، فرکانس سیگنال دوره\_ناقل ۹۴.۷ مگا هرتز را که با تناوب ۴۴۰ سیکل تغییر مینماید می شنویم. سیستم GPS هم همانند آنچه گفته شد عمل مینماید. کدهای PRC دارای دامنه بیت (bit rate) ی حدود ۱ مگا هرتز است درحالیکه سیگنال دوره\_ناقل دارای دامنه بیتی حدود گیگا هرتز هستند (با سرعتی معادل هزار برابر! بیشتر از PRC).

در سرعت نور، سیگنال با فرکانس ۱.۵۷ گیگا هرتز (GHZ) دارای طول موجی معادل ۲۰ سانتی متر خواهد بود. از این رو استفاده از سیگنال دوره\_ناقل به همراه کدهای PRC با دقت بسیار بالاتری در مقایسه با کدهای PRC به تنهایی عمل مینماید. حال اگر از این طریق به دقت تطابقی برابر ۱ درصد حالتی که کدهای PRC مطابقت می یافتند نیز برسیم استفاده از سیگنال دوره\_ناقل ما را به دقت تطابقی برابر ۳ تا ۴ میلیمتر! دقت می رساند.

### انتخاب طول موج مناسب

در واقع این روش باتکا بر شمارش دقیق تعداد سیکل های سیگنالهای ارسالی از ماهواره و گیرنده عمل مینماید.

مشکلی که وجود دارد این است که سیکلهای سیگنال دوره\_ناقل کاملاً شبیه هم و یکسان بوده و نمی توان بین آنها تمایزی قائل شد تا بتوان آنها را شمرد. در حالیکه کدهای PRC تصادفی و عامداً پیچیده بوده تا بتوان سیکلی که در حال جستجوی آن هستیم را بیابیم.

برای حل این مشکل از همان مفهوم تطابق دو PRC ایجاد شده توسط ماهواره و گیرنده برای سیکل‌های سیگنال دوره\_ناقل استفاده میشود. اگر با کاربرد تطابق دو PRC به دقتی در حدود متر برسیم فقط کافسیت چند طول موج سیگنال را در دامنه کد PRC با استفاده از سیگنال‌های دوره\_ناقل با یکدیگر مطابقت دهیم. برای اینکار تنها تلاش برای یافتن چند سیکل اول طول موج است تا لبه کد را با سیگنال‌های دوره\_ناقل مطابقت داده و علامت گذاری کنیم.

منابع:

[www.eca.ir](http://www.eca.ir)

[www.mahvare.net](http://www.mahvare.net)

[www.gpsinformation.net](http://www.gpsinformation.net)

[www.akhtarnama.com](http://www.akhtarnama.com)

[www.tebyan.net](http://www.tebyan.net)