سیستم تعیین موقعیت فضایی

مهندس عباسعلی صالح آبادی

با توجه به پیشرفتهای تکنولوژی GPS و استفاده از این ابزار مهم در دنیا، آگاهی از روشهای مختلف تعیین موقعیّت توسّط این سیستم ضروری بنظر می‌رسد. دقّت بالای این سیستم و جهانی بودن آن دلیلی براستفاده این سیستم در کلّیه کارهای نقشه‌برداری، ژئودزی، هیدروگرافی،کارهای عکسی و ... می‌باشد. به عنوان مقدمه ابتدا مروری برسیستم GPS و سیستم تعیین موقعیّت (N.N.S.S) خواهیم داشت و سپس راجع به معادلات ریاضی و مشاهدات سیستم GPS به طور مفصّل و کامل بحث خواهد شد.

به طور کلّی تعیین موقعیّت برمبنای فضا از دهه ۶۰ (۱۹۶۰) توسّط ناسا(NASA) با سیستم Doppler آغاز شد. اما به دلیل وقت گیربودن وهمچین کم دقّت بودن آن درسال ۱۹۷۴ وزارت دفاع آمریکا(DOD) برای مقاصد و احتیاجات نظامی خود اعلام نیاز به یک سیستم دقیق جامع و جهانی تعیین موقعیّت کرد. از این جابه بعد سیستم تعیین موقعیت GPS (Global position System) به وجود آمد و در سال ۱۹۸۳ با پرتاب اولین ماهواره GPS گامی مؤثر در تاریخ نقشه برداری برداشته شد. باروی کارآمدن سیستم GPS تمامی سیستمهای قبلی از دوربینهای بالستیک، داپلر (N.N.S.S) LONG - C , OMEGA و SECOR به تدریج از دور خارج شدند.

مزایای روش GPS

عملیات در انواع شرایط آب و هوایی امکان پذیراست و می‌تواند درشب یا روز انجام شود؛

- برقرار ی دیدبین ایستگاههای مجاور دیگر معیاری برای تعیین محل آنها نیست؛
- توانایی دید همزمان چند ماهواره با یک گیرنده زمینی؛
- امکان حذف خطاهای مؤثر از قبیل خطاهای یونیسفر و خطای مسیر (Multi Path)؛
- دقت نسبی 1ppm برای طولهای کوتاه از ۱تا ۱۰۰ کیلومتر.

کاربردهای سیستم تعیین موقعیّت GPS

از کاربردهای مهم این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) کاربردهای زمینی؛ که شامل Surveying Mapping (نقشه برداری)، کارهای کاداستر(Caduastral)،کنترل کارهای حمل و نقل و ترافیکی، کنترل حرکات تکنونیکی زمین، نشستهای موضعی زمین و استفاده‌های شهری، متراکم سازی شبکه‌های کنترل؛

ب) کاربردهای دریایی؛ شامل کارهای ناوبری Navigation، هیدروگرافی Hydrography، تعیین موقعیّت سکّوهای دریایی شرکت نفت، تعیین موقعیّت جزیره‌های مرجانی Shoal Survey،مین یابی در دریا و Scanکردن دریا؛

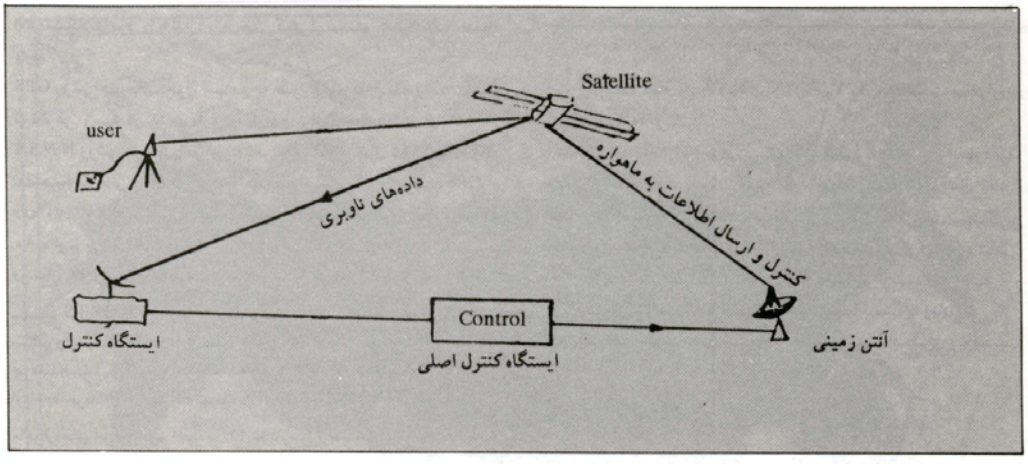
ج) کاربردهای هوایی؛ فتوگرامتری Photogrammetry به صورت Realtime،کارعکسی، کنترل حمل و نقل، تازه سازی سیستمهای اینرشیال، استفاده از GPS برای کنترل ماهواره‌های سنجش‌از دور Remotesensing.

طریقه وصول اطلاعات ماهواره به گیرنده و مصرف کننده

ماهواره ابتدا اطلاعات و داده‌های ناوبری را به پنج ایستگاه کنترل که در مناطق کلرادواسپرینگ، کوآجالین، دیه گوگارسیا، آسانسیون و هاوایی قرار دارند ارسال می‌کند که درواقع این سیگنالها ماهواره را ردیابی می‌کنند.

سپس این ایستگاهها اطلاعات خود رابه ایستگاه کنترل ماهواره ارسال می‌کنند که در شهر کلرادو قرار دارد و وظایف آن پرورش داده‌ها، ردگیری ماهواره‌ها و آماده کردن اطلاعات برای ارسال به ماهواره و نظارت برکنترل روزانه ماهواره‌هااست.

سپس این داده‌ها به سه آنتن زمینی دیگر ارسال می‌شود که توسط این آنتنها



اطلاعات کنترل شده به ماهواره ارسال می‌شود و ماهواره Data upload می‌شود.

مشخصات سیستم GPS

درحال حاضر سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS متشکل از ۲۴ به انضمام چند ماهواره کمکی در ارتفاع ۲۰۰۰۰ کیلومتراز سطح زمین قرار دارند که در ۶ مسیربا زاویه میل ۵۵ درجه و پریود ساعتی ۱۲ ساعته نجومی در گردشند.

هرماهواره GPS دو موج با دو فرکانس در باند(L) امواج الکترو مغناطیسی(L2 و L1) ارسال می‌کند. موج L1 با فرکانس ۱۵۷۵ MHZ و موج L2 با فرکانس۱۲۲۷ MHZ می‌باشد طول موجها به ترتیب ۱۹ cm و ۲۴cm می‌باشند. امواج ماهواره‌ها متشکل از: امواج حامل باندL مدوله شده با یک کداستاندارد کد (C/A) Acquistion Coarse و یک کد دقیق کدP(Precies) و یک کد دریانوردی و مختصات ماهواره به صورت توابع زمانی است.

ماهواره‌های GPS به خاطر ارتفاع زیادشان از بخش بزرگی از زمین قابل رؤیت‌اند به طوریکه اگر ماهواره‌ای دقیقاً در بالای کشور کانادا باشد از این ماهواره در کشور یونان هم می‌توان استفاده کرد. البته ماهواره‌ها موقعی قابل رؤیت‌اند که زاویه ارتفاعی (Elevation Musk. Ang) آنها ۱۰تا۱۵ درجه باشد این زاویه را زاویه ماسک گویند و دلیل وجود زاویه ماسک وجود خطای انکسار یونیسفر در روی سیگنال ماهواره است.

در GPS دو نوع کدمورد استفاده است کد C/A و کد P. کد C/A به معنای اکتساب غیردقیق می‌باشد که برروی سیگنال L1 مدوله شده می‌باشد. کدp به معنای کد دقیق است که پریود آن حدود ۲۳۰ روز می‌باشد. از این کد فقط در امور نظامی استفاده می‌شود.

موج حامل L1 با هر دو کدP و C/A مدوله می‌شود ولی موج L2 فقط با کدP مدوله می‌شود. بدین ترتیب می‌توان با استفاده از یک گیرنده دو فرکانسه اثر لایه یونیسفر رابر روی امواج ارسالی محاسبه کرد. در مورد هرکاری که از نقطه نظر مهندسی مطرح می‌باشد (مهندس نقشه‌برداری) از جمله GPS سه اصل زیر بایستی مشخص باشند:

۱) نقطه معلوم؛

۲) مشاهدات؛

۳) مدلهای ریاضی.

سیستم تعیین موقعیتی که به شرح آن خواهیم پرداخت یکی از پیشرفته‌ترین سیستمهای تعیین موقعیت به روش ماهواره می‌باشد که هم اکنون از آن در ناوبری، فتوگرامتری و ... استفاده می‌شود. نمونه‌های دیگر این سیستم همچون سیستم تعیین موقعیت داپلرمی‌باشد Navy Navigation Satellite System یاN.N.S.S می‌باشد.این سیستم از ۶ ماهواره که در ارتفاع حدود ۱۰۷۵ کیلومتری سطح زمین می‌باشد در مسیرهای قطبی که با مدار استوای زمین زاویه ۹۰ درجه را می‌سازند در حال چرخشند. درحال حاضر ۵ ماهواره ازاین سیستم که فعال می‌باشد دارای پریود ۱۰۷ دقیقه می‌باشند و دارای دو فرکانس موج حاملی هستند که یکی MHZ ۱۵۰ و دیگری MHZ ۴۰۰ فرکانس دارند. دارای دقتی در حدود چند سانتیمتر می‌باشند در صورتی که این دقت احتیاج به ۲ روز مشاهده متوالی و مداوم دارد از خطوط مکانی تعیین موقعیتی SOP هذلولی(Hyperbolic: Surface Of Position) استفاده می‌کنند و دارای سیستم ارسال امواج منقطع (هردو دقیقه یکبار) می‌باشد.

به دلیل آنکه تمامی مشخصات یاد شده فوق در مقایسه با سیستم GPS بسیار ضعیفتر می‌باشد بنابراین دلیلی برادامه فعالیت ماهواره‌های ترانزیت(داپلر) وجود نخواهد داشت بهرحال در آتیه نزدیک سیستم N.N.S.S درتعیین مختصات نقاط زمینی نقشی به عهده نخواهد داشت چراکه GPS می‌تواند با دقتی به مراتب بالاتر و بهتر و در مدت زمانی کمتر تعیین مختصات نقاط را انجام دهد.

علیرغم تمامی مشکلاتی که برای سیستم داپلر برشمردیم، سیستم GPS

اکثر مشکلات فوق را یا ندارد و یا خیلی کمتر از سیستم N.N.S.S به همراه دارد.

GPS روشی در حال تحول است و به طور قطع در آینده و به تدریج موضوعی وسیع در نقشه‌برداری و ژئودزی تبدیل خواهد شد. در مقابل آن N.N.S.S روشی در حال انقراض به نظر می‌رسد و از سال ۱۹۹۵ میلادی به بعد هیچ‌اطلاعاتی در آن تزریق نخواهد شد. سیستم تعیین موقعیت GPS از دهه ۷۰ شروع به طرح‌ریزی شد و در دهه ۸۰ به بهره برداری رسید و دردههٔ ۹۰ به اوج مراحل خود رسید.

در حال حاضر امکانات محدود و کمی برای اجراء روشهای ماهواره‌ای با سیستم GPS در ایران موجود است و بجز دو سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و سازمان نقشه‌برداری سایر ارگانها به ندرت از امکانات این سیستم بهره‌مندهستند و اخیراً هم دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیر اقدام به خریداری ۳ دستگاه گیرنده GPS اشتک (Ashtec) کرده است.

ماهواره‌های این سیستم اخیراً به ۲۴ عدد رسیده است که در ۶ مدار با زاویه میل ۵۵ درجه نسبت به مدارهای زمین در حال دوران می‌باشند. این ماهواره‌ها در ارتفاع ۲۰۰۰۰ کیلومتر از سطح زمین می‌باشند و دارای پریود حرکتی ۱۲ ساعتی نجومی بوده دارای دو فرکانس موج حامل می‌باشند یکی L1=157.42 MHZ و دیگری با فرکانس L2=1227.60MHZ می‌باشد. دارای دقتی معادل سانتیمتر می‌باشد که رسیدن به این دقت احتیاج به یکساعت انجام مشاهده دارد. از خطوط تعیین دایره‌ای استفاده می‌کنند(Circle line of position) و ارسال امواج به طور پیوسته می‌باشد.

این ماهواره‌ها در حرکت شبانه روزی زمین شرکت نداشته بلکه تنها در حرکت انتقالی با این سیستم سهیم هستند. ماهواره‌ها اطلاعات و پارامترهای گوناگونی راکه به‌وسیله آنها می‌توان مختصات ماهواره‌ها را در ابتدادر سیستم مسیر Orbital coordinate system و سپس در سیستم متوسط زمینی A.T به دست آورد را ارسال می‌کنند. در GPS برای تعیین مختصات مطلق یک نقطه ۳ روش مطلق یادشده :

۱) تعیین موقعیت مطلق؛

۲) روش شبه فاصله سنجی؛

۳) روش سنجش اختلاف فاز حاصل.

۱ - روش تعیین موقعیت مطلق: در سیستم ماهواره‌ای دو موج همسان در ماهواره و در دستگاه گیرنده ایجاد می‌گردد. موج تولید شده از ماهواره ارسال و درگیرنده دریافت می‌شود. فرکانس این موج در لحظات ارسال و دریافت به وسیله گیرنده ثبت می‌شود و به این فرکانس داپلر شیفت می‌گویند و میزان آن بستگی به سرعت و جهت و حرکت ماهواره نسبت به گیرنده دارد. اصولاً سیستم GPS به روش داپلرشیفت جهت تعیین موقعیت نقشه برداری کارنمی‌کند.

با توجه به مطالب فوق و نیز با معلوم بودن فرکانسهای FG و ارسالی FO و نیز شمارش داپلر که به وسیله گیرنده سنجیده می‌شود می‌توان ۳ مجهول (XO, YO, ZO) رااز رابطه زیر به دست آورد.

$$N_n=\frac{F_G}{C\left\{\left[(X_n-X_o)^2+(Y_n-Y_o)^2+(Z_n-Z_o)^2\right]^{1/2}-\left[(X_{n-1}-X_o)^2+(Y_{n-1}-Y_o)^2+(Z_{n-1}-Z_o)\right]^{1/2}\right\}}$$

که در رابطه فوق $(X_n'Y_n'Z_n)'(X_{n-1}'Y_{n-1}'Z_{n-1})$مختصات ماهواره در لحظات $T_n''T_{n-1}$می‌باشد.

با تشکیل ۳ رابطه از نوع فوق بین ۳ فاصله زمانی می‌توان این مجهولات را بدست آورد. اطلاعات اضافی یعنی تکرار مشاهدات به میزان بسیار زیاد در زمان کوتاه باوجوداین اطلاعات استفاده از متد کمترین مربعات محتملترین مقدار رابرای مجهولات به‌دست می‌آوریم. اطلاعات ارسالی ماهواره شامل:

۱) پارامترهای مشخص کننده قانون کپلر و تغییرات آن نسبت به زمان؛

۲) پارامترهای شکل و اندازه مسیر و تغییرات آنها نسبت به زمان؛

۳) پارامترهای تبدیل مختصات ماهواره‌ای از سیستم مسیری به سیستم زمینی؛

۴) زمان نجومی گرینویچ.

۲) روش تعیین مختصات شبه فاصله سنجی

یکی از خصوصیّات بسیار مهم GPS ارسال اطلاعات به صورت کد است البته ذکر این نکته ضروری است تمامی انواع گیرنده‌هایی که موجود است و تعداد آنها به ۲۶ نوع می‌رسد قادر به دریافت کدهایی که از ماهواره ارسال می‌شوند نیستند و بنابراین روش استفاده از شبه فاصله‌ها فقط مختص گیرنده‌هایی است که مجهز به سیستم دریافت کد(code) و دی کد(decode) باشند. در مورد جزئیات این روش در مطالب بعدی به شرح و تفصیل خواهیم پرداخت.

۳) تعیین مختصات به روش استفاده از موج حامل بازسازی شده یا سنجش اختلاف فاز حاصل.

با توجه به اینکه فرکانس در دو کد P و C/A نسبت به فرکانس امواج حامل L1 و L2 بسیار کمتر است. اگر به نحوی بتوان در سنجش فواصل و نهایتاً تعیین مختصات از این دو موج استفاده نمود و به نتایج بسیار دقیقتری می‌توان رسید. با توجه به اینکه برروی امواج حامل به وسیله یک یا هردو کد مزبور مدولاسیون فاز انجام گرفته بنابراین برای استفاده از این تکنیک دقیق تعیین مختصات باید این مدولاسیون از روی امواج حامل حذف گردد روش حذف مدولاسیون به نوع گیرنده بستگی دارد:

۱) گیرنده‌های کد (CORRELATION)؛

۲) گیرنده‌های مربع کننده کد (CODE SQUARING CHANNEL)؛

۳) گیرنده‌های سنجنده فاز کد (CODE PHASE CHANNEL).

روشهای تفاضلی - DIFERANTIOL در سنجشهای GPS

به دلیل آنکه گیرنده‌های غیرنظامی که فقط در ارتباط یک طرفه باماهواره هستند قادر به دریافت Pکد که دارای پریود ۲۳۰ روزه می‌باشد نیستند و اینکه پارامترهای دقیق تعیین مختصات ماهواره در اختیار بخش غیرنظامی قرار می‌گیرد تعیین یک نقطه به تنهایی به صورت دقیق امکان پذیر نیست در

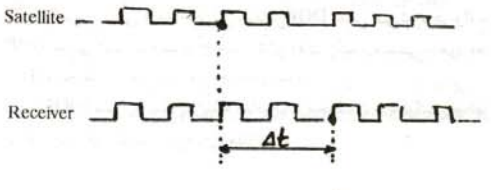
مسائل ژئودتیکی برای دستیابی به مختصات دقیق نقاط از روشهای تفاضلی استفاده می‌شود دراین روشها برحسب امکانات و دقتهای خواسته شده از دو یا چند ایستگاه زمینی که همگی از یک یا چند ماهواره تغذیه می‌گردند، اطلاعات دریافت می‌شود.

دراین مورد با توجه به روش اتخاذ شده می‌توان خطاهای مربوط به ساعت گیرنده و خطای مسیر ماهواره و خطای تروپسفریک و یونیسفریک را به میزان بسیار زیادی کاهش داد. روشهای تفاضلی - differential می‌توانند تفاضلی مرتبه اول یا دوم باشد که در روشهای مرتبه اول می‌توان حالات دو نقطه زمینی و یک ماهواره و یا یک نقطه زمینی دو ماهواره را اشاره کرد.

همانطور که توضیح داده شد منبع مهم خطا در اندازه گیریهای GPS بین ماهواره‌ها و گیرنده‌ها رفتار پیش بینی شده زمان و فرکانسهای استاندارد به‌کار گرفته شده به عنوان مرجع برای ماهواره و گیرنده می‌باشد. حتی اگر ماهواره‌های GPS حامل فرکانسهای استاندارد اتمی باشند ناپایداری اینها هنوز دقت تعیین موقعیت را تا چندین متر محدود می‌کند و هنوز امکان حذف این اثرات وجود ندارد. در روشهای تفاضلی اختلافات ممکن است بین ماهواره‌ها، بین گیرنده‌ها یا بین مبداءهای مختلف زمان باشد اگرچه تعداد ترکیبات زیادی امکان پذیر است اما آنچه مورد نظر ماست روشهای تفاضلی یگانه - دوگانه - سه گانه است. با این روشها می‌توان خطاهایی از قبیل خطای مسیر-ساعت- یونیسفر و تروپسفر را کاهش داد یا حذف نمود.

چنانچه دو نقطه از یک ماهواره به طور همزمان پیام دریافت کنند می‌توان موقعیت ماهواره را تشخیص داد. این حالات رابه صورت سمبولیک به شکل Δ نمایش می‌دهیم (روشهای تفاضلی مرتبه اول یایگانه) که مربوط‌به گیرنده‌ها می‌شود و اگر از یک نقطه به طور همزمان از دو ماهواره اطلاعات دریافت شود آنرابا ∇ نمایش می‌دهیم که مربوط به ماهواره‌ها می‌شود و شامل روشهای تفاضلی دوگانه است که از اهمیت بیشتری نسبت به تفاضلهای یگانه برخوردار است و در واقع حالت تفاضلی دوگانه از ترکیب دو حالت تفاضلی یگانه حاصل می‌شود.

چنانچه قبلاً توضیح داده شد در روش شبه فاصله سنجی (Range Measurment Pseude) یک اختلاف زمان بین کپی کد GPS ایجاد شده در گیرنده با اصل کد رسیده از ماهواره وجود دارد که با ضرب کردن آن در سرعت نور شبه فاصله به دست می‌آید. این روش با هر دو کد P و C/A امکان پذیر است. کدهای تولید شده در گیرنده از ساعت خود گیرنده منتج می‌شوند و کدهای ارسالی ماهواره نیز توسط ساعت ماهواره ایجاد می‌شود. خطای زمانی در هر دو ساعت گیرنده و ماهواره باعث می‌شود که فاصله اندازه‌گیری شده با فاصله هندسی بین ماهواره و گیرنده فرق داشته باشد. شکل زیر مقایسه شکل کدهای تولید شده در ساعت گیرنده و ساعت ماهواره را نشان می‌دهد.



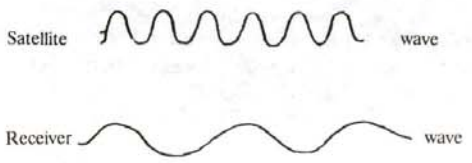
معادله مشاهده شده Pseude ranger measurment شبه فاصله سنجی که همان فاصله بین ماهواره تا گیرنده است به فرم زیر می‌باشد:

$$P = \rho + d\rho + C(dt - dT) + dion + dtrop + \varepsilon(P)$$

که درآن:

dt، خطای ساعت گیرنده؛	dT، خطای ساعت ماهواره؛
C، سرعت موج؛	P، فاصله بین ماهواره و گیرنده؛
dp، خطای مسیر؛	dion، خطای یونیسفر؛
dtrop، خطای تروپسفر؛	ε(p) شامل نویزگیرنده و مولتی پت.

همچنین همان طور که قبلاً گفته شده بود در روش (ج) تعیین موقعیت با استفاده از موج حامل بازسازی شده بود (Carrier Beat phase) اشاره شد که این روش براساس یک اختلاف فاز بین موج حامل رسیده از ماهواره و موج حامل بازسازی شده توسط نوسان ساز با فرکانس اسمی گیرنده می‌باشد اندازه‌گیری با این روش دارای فاصله سنجی دقیق می‌باشد اما با تعدادی دورهای ابهام فاز و خطا (در شکل زیر فاز حامل و فازهای گیرنده و ماهوار را می‌بینید) در موج حامل مواجه هستیم.



معادله مشاهده این روش عبارت است از:

$$\Phi = \rho + d\rho + C(dt - dT) + \lambda N - dion + dtrop + \varepsilon(\Phi)$$

که در آن λ طول موج و N ابهام فاز می‌باشد بقیه عناصر دربالا معرفی شده‌اند.

حال پس از بررسی روشهای تعیین موقعیت GPS و روشهای تفاضلی که شامل تفاضلی یگانه و دوگانه و سه گانه است می‌پردازیم.

روش تفاضلی یگانه - Single Difference

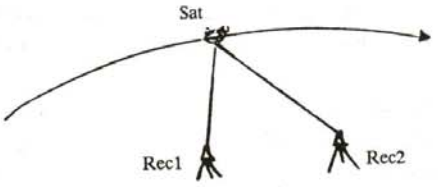
در این روش اختلاف شبه فاصله یا فازهای امواج حامل دریافت شده در هر ایستگاه زمینی به طور همزمان انجام می‌شود و خطای ساعت ماهواره حذف می‌شود و خطای یونیسفر و تروپسفر کاهش پیدا می‌کند.

بایستی دقت داشت فقط در صورتی که ۲ ماهواره و یک گیرنده موجود باشد خطای ساعت گیرنده حذف می‌شود. در شکل زیر نمایش وضعیت و فرمولهای روشهای تفاضلی یگانه را ملاحظه می‌کنید.

همانطور که قبلاً توضیح داده شد علامت سمبولیک Δ برای حالت روشهای تفاضلی یگانه استفاده می‌شود.

$$\Delta P = \Delta\rho + \Delta d\rho - C\Delta dT + \Delta dion + \Delta dtrop + \Delta\varepsilon(P)$$

$$\Delta\Phi = \Delta\rho + \Delta d\rho - C\Delta dT + \Delta trop - \Delta dion + \Delta\varepsilon(\Phi) + \lambda\Delta N$$



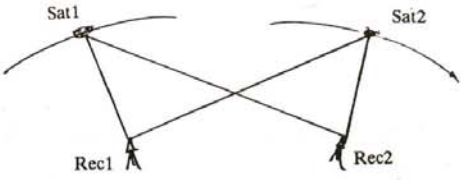
روش تفاضلی دو گانه - Double Difference

در این روش اندازه‌گیری بین ماهواره‌ها و ایستگاهها باعث حذف خطای ساعتهای گیرنده و ماهواره می‌شود. این روش در غالب اندازه‌گیریهای GPSبه کار برده می‌شود. در این روش همچنین خطای مسیر و اتمسفریک نیز کاهش می‌یابد. در شکل زیر نمایش وضعیت و فرمولهای روش تفاضلی دو گانه (شبه فاصله و فاز حامل) را مشاهده می‌کنید.

* لازم به ذکر است که در روش تفاضلی دو گانه ΔV برای نشاندادن فرمولها در این حالت استفاده می‌شود.

$$\Delta VP = \Delta V\rho + \Delta Vd\rho + \Delta Vdion + \Delta Vdtrop + \Delta V\varepsilon(P)$$

$$\Delta V\Phi = \Delta V\rho + \Delta Vd\rho + \Delta Vdtrop - \Delta Vdion + \lambda\Delta VN + \Delta V\varepsilon(\Phi)$$



روش تفاضلی سه گانه Triple Difference

این روش عبارت است از اختلافات دوتایی(دوبل) بین ماهواره‌ها و ایستگاههای مشابه در دو مبداء زمان متوالی. در این روش ابهام دوره Ambiguityکامل فاز حذف می‌گردد.

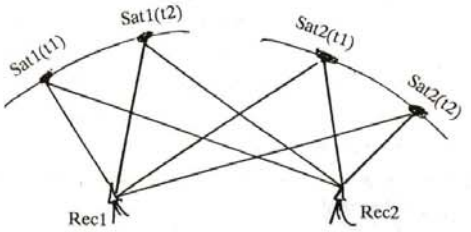
همچنین خطاهای ساعت گیرنده و ماهواره نیز حذف می‌شود و خطای مسیر و اتمسفریک کاهش می‌یابد.

در شکل زیر نمایش وضعیت و فرمولهای تفاضلی سه گانه را ملاحظه مکنید.

* لازم به تذکر است که برای نمایش فرمولهای این روش از علائم سمبولیک استفاده $\delta\Delta V$ گردیده است.

$$\delta\Delta VP = \delta\Delta V\rho + \delta\Delta Vd\rho + \delta\Delta Vdion + \delta\Delta Vtrop + \delta\Delta V\varepsilon(P)$$

$$\delta\Delta V\Phi = \delta\Delta V\rho + \delta\Delta Vd\rho - \delta\Delta Vdion + \delta\Delta Vtrop + \delta\Delta V\varepsilon(\Phi)$$



تعیین زمان رؤیت ماهواره‌ها و ضریب تعدیل داپDop

برای انجام عملیات ماهواره‌ای لازم است زمانهای قابل رؤیت بودن ماهواره‌ها مشخص باشد. این تعداد که در اغلب اوقات در حدکافی ۴ عدد است. در تمامی اوقات شبانه روز قابل بهره‌برداری است بدین منظورکه هر موقع شبانه روزکه اراده به انجام مشاهده کنیم قادر خواهیم بود حداقل باوجود ۴ ماهواره شروع به مشاهده کنیم. اغلب نرم افزارها با توجه به مختصات تقریبی ایستگاهها، وضعیت ماهواره‌ها را با گرافهایی نمایش می‌دهند.

نکته بسیار مهم این است که ترکیب فضایی ماهواره‌ها به ایستگاههای زمینی تأثیر مستقیمی برمیزان خطای مختصات نهایی‌داردبدین معنی است که اگر یک ایستگاه زمینی و ۴ ماهواره در ارتباط باشند بایستی که حجم پنج وجهی تشکیل شده در ماگزیمم مقدار خود باشد تا مختصات نهایی دقیقترین حالت خودرا داشته باشد. باتوجه به این موضوع می‌توان دریافت که تنها قابلیت رؤیت ماهواره‌ها مطرح نیست بلکه می‌باید در مدت زمانی که این رؤیت میّسراست.

سنجشها بایستی در زمانی انجام یابند که دقیقترین نتایج ممکنه حاصل شوند بدین منظور معیاری به نام DOP داپ (Dilution of Precision)در نظر گرفته شده که بنا به تعریف DOPعبارت است از نسبت بین دقت تعیین موقعیت و دقت اندازه‌گیری که به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\text{DOP} = \frac{\delta}{\delta_0}$$

δ= دقت تعیین مختصات(انحراف معیار هریک از مختصات)؛

δ_0= دقت سنجش(انحراف معیار مشاهدات).

پس می‌توان گفت که دقت مختصات تعیین شده باGPSبه دو فاکتور مهم بستگی دارد.

الف) ترکیب هندسی ماهواره‌ها؛

ب) دقت سنجشها.

عامل اخیر راUERE (USER EQUIVALENT ERROR)می‌نامند که ترکیبی از تأثیرات خطای مسیر ماهواره‌ها، خطای جوّی و خطای سنجش زمان و خطای مربوط به دستگاه گیرنده است.

تأثیر ترکیب هندسی ماهواره‌ها نیز با عامل DOP تعیین می‌شود در واقع DOP عددی است به وسیله آن مقدار تأثیر دقت ترکیب هندسی ماهواره‌ها در دقت مختصات تعیین شده سنجیده می‌شود.

داپ (DOP) همواره بسته به اینکه کدامیک از مختصات و یا ترکیبی از آنها مورد بررسی قرار گیرند وجود دارد مثلاً:

Horizontal Positioning: HDOP

انحراف معیار در موقعیت افقی

3- D Positioning: Pdop

انحراف معیار در موقعیت سه بعدی.

4- D Positionnig: G Dop(used with GPS)

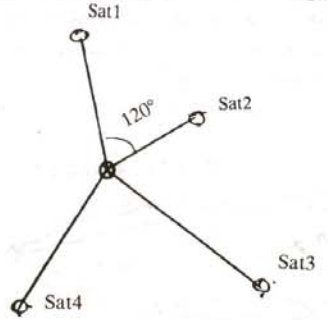
انحراف معیار در موقعیت سه بعدی زمان

1- D Vertical Positioning: VDOP

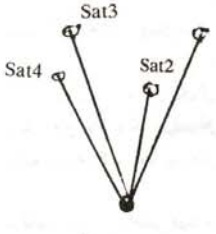
انحراف معیار در ارتفاع.

اصولاً داپ نشان دهنده همان بیضوی اطمینان در اجسمنت و تست است. به طور کلی هرداپ معادل است با جذر مجموع مربعات نصف اقطار بخصوصی از بیضوی خطا که متناظر با پارامترهای مطلوب هستند.. بهترین حالت برای تعیین موقعیت زمانی است که یک ماهواره در بالای سر واقع باشد و ۳ ماهواره دیگر در افق، به طوریکه امتدادهای بین آنها و محل گیرنده با یکدیگر زاویه ۱۲۰ درجه بسازند. در شکل زیر بهترین حالت برای تعیین موقعیت نشان داده شده و با بدترین حالت مقایسه گردیده است.

با توضیحات بالا ملاحظه می‌شود که هرچقدر حجم هرم متشکل از ماهواره بیشتر باشد، DOP کمترین مقدار خود را دارد و دقت بهتری به دست می‌آید و برعکس هرچه حجم هرم کمتر باشدDOP بیشتر است یعنی دقت نامطلوبتر است.



بهترین حالت



بدترین حالت

معرفی روشهای تعیین موقعیت فضایی

به طور کلی سه روش تعیین موقعیت ماهواره‌ای وجود دارد.

۱) روش استاتیک - Static;

۲) روش کینماتیک - Kinematic;

۳) روش ایستا و متحرک - Stop-Go.

روش استاتیک شامل روشهای استاتیک سریع و شبه استاتیک است pesudo static-Rapid static.

روش کینماتیک نیز شامل شبه کینماتیک Pesude Kinematic و کینماتیک پیوسته است - Continuous Kinematic است و خود روش کینماتیک پیوسته شامل دو روش است یکی فقط با استفاده از فاز حامل و دیگری با استفاده از شبه فاصله از فاز حامل روش ایستا و متحرک نیز روش کینماتیک اصلی را شامل می‌شود.

روش استاتیک

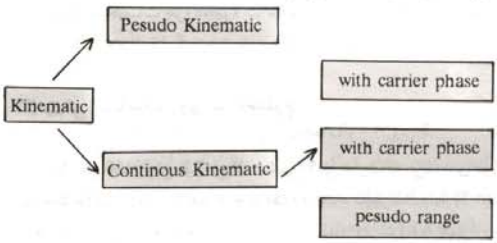
در این روش یک گیرنده روی نقطه معلوم و گیرنده دیگر روی نقطه دوم قرار می‌گیرد هر دو گیرنده مشاهدات یکسانی را همزمان با ماهواره به دست می‌دهند مدت زمان مشاهده در این روش ۴۵ تا ۶۰ دقیقه است و برای طولهای بلند بیش از ۲۰ کیلومتر و دقتهای بالا به‌کار می‌رود. از دیگر کاربردهای این روش می‌توان کنترل حرکات تکتونیکی شبکه‌های کشوری و قاره‌ای را نام برد.

از مزایای این روش اقتصادی بودن، صرفه جویی در زمان و دقت بالا قابل ذکر است. در این روش احتیاجی به حل ابهام فاز Ambuity نداریم و زمان همراه با مختصات به دست می‌آید.

درروش استاتیک حالت دیگری نیز وجود داردکه Rapid State - استاتیک سریع نام دارد. در این روش که تا فواصل ۱۵ کیلومتر به کار برده می‌شود یک گیرنده روی نقطه ثابت است و گیرنده دوم روی نقاط دیگر حرکت می‌کند و در مدتی کوتاه اطلاعات را جمع‌آوری می‌کند. روش فوق راحت و کارآمد است و جایگزین پیمایش محلی است.

روش کینمایتیک - Kinemaic

همانطور که گفته شد این روش که شامل بخشهای زیر است از تحرک گیرنده‌ها و آنتنها استفاده می‌شود.



دراین روش قبل از شروع عملیات ابتدا باید مسئله ابهام اولیه فاز را حل نمود که به‌آن Initial phase Ambiguity می‌گویند.

اول) جابه جایی آنتنها - Antenna swap;

دوم) مشاهدات روی یک باز معلوم Base Line به مدّت نیم ساعت (وجود دو نقطه معلوم)؛

سوم) روش استاتیک کلاسیک روی باز نامعلوم که یک نقطه معلوم و یکی نامعلوم است.

قبل از شروع هرکدام از روشهای فوق باید نکات زیر را رعایت کرد:

الف) برای رفع ابهام فاز(N) حداقل با ۴ ماهواره بایستی ارتباط برقرار باشد؛

ب) بین مبداءهای اندازه‌گیری حفظ ارتباط با ۴ ماهواره برقرار باشد؛

پ) اگر بنابه دلایلی یا بخاطر محدودیتهایی ادامه کار میسر نباشد باید کار را دوباره تکرار کرد(از اول شروع کن)

۱) جابجایی آنتنها- Antenna Swap

در این روش در لحظه خاصی (t) دو گیرنده اطلاعاتی را به مدت چندثانیه جمع‌آوری می‌کنند که برای طولهای کوتاه:

$$0 \approx \Delta\nabla d\rho \approx \Delta\nabla dion \approx \Delta\nabla dtrop$$

$$\Delta\nabla\Phi(t) = \Delta\nabla\rho + \lambda\Delta\nabla N$$

حال هنگامی که ارتباط برقراراست (قطع ارتباطی نیست (no lose of phase - lock) جابه جایی آنتنها صورت می‌گیرد.

در هنگام جابه جایی آنتنها بایستی آنتنها را در بالای سرقرار داده و به آرامی جابه جاکنند تا قطع فاز رخ ندهد. مقادیر ارتفاع آنتنها، درجه حرارت خشک و تر و فشارنیز اندازه‌گیری شود در این لحظه (t+1) دو گیرنده، اطلاعاتی را جمع‌آوری می‌کنند.

$$\Delta\nabla\Phi(t+1) = -\Delta\nabla\rho + \lambda\Delta\nabla N$$

با جمع کردن رابطه در حالت قبل و این حالت خواهیم داشت.

$$\Delta\nabla N = [\Delta\nabla\Phi(t) + \Delta\nabla\Phi(t+1)]/2\lambda$$

۲) مشاهدات روی یک باز معلوم

در این روش گردآوری اطلاعات در حالتی که دو گیرنده روی دو نقطه مستقر شده‌اند به مدت ۱۰ تا ۳۰ دقیقه صورت می‌گیرد. برای طولهای کوتاه داریم:

$$\Delta\nabla d\rho \approx \Delta\nabla dion \approx \Delta\nabla dtrop \approx 0$$

$$\Delta\nabla\Phi(t) = \Delta\nabla\rho + \lambda\Delta\nabla N$$

سه اختلاف مختصات جزء مجهولات است و با داشتن باز معلوم که گیرنده‌ها روی نقاط معلوم آن قرار گرفته‌اند مقدار $\Delta\nabla N$ به دست می‌آید.

۳) روش استاتیک روی بازنامعلوم

این روش نیز مانند روش دوم می‌باشد منتهی با این تفاوت که مؤلفه‌های طول مبنا معلوم است، زمان مشاهدات چند دقیقه و تعداد مجهولات فقط (n-1) تا n می‌باشد. پس از رفع ابهام، گیرنده ثابت روی نقطه اول شروع به جمع‌آوری اطلاعات می‌کند.

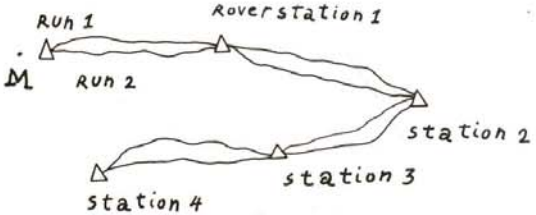
سپس روی نقطه دوم مستقر شده و به همین ترتیب زمان مشاهده **روی** هر نقطه ۲ الی ۳ دقیقه است. استفاده از روش تفاضلی دو گانه فاز حامل برای رسیدن به دقت سانتیمتر و حذف و یا کاهش خطاهای (مسیر، ساعت، یونیسفر، تروپسفر، چند مسیری شدن - Multypath و ...) لازم است. از مزایای این روش، سرعت بالا و دقت در حد سانتیمتر است و در جاهایی که مانع وجود نداشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کینماتیک پیوسته

در این روش گیرنده متحرک(Rover) حرکت پیوسته دارد و ممکن است در هواپیما یا ماشین و یا قطار مستقر شده باشد. مثلاً یکی از کاربردهای این روش در هواپیما می‌باشد که برای تعیین موقعیت مرکز تصویر و همچنین وضعیت دورانی هواپیما($\omega\varphi\chi$) در لحظه عکسبرداری است.

شبه کینماتیک - pesudo Kinematic

در این روش یک گیرنده به طور ثابت در روی نقطه معلوم مستقر می‌شود و گیرنده دیگر روی نقاط دیگر شروع به حرکت می‌کند. روی هر ایستگاه پنج الی ده دقیقه مشاهده انجام می‌شود و یک ساعت بعد دوباره همان ایستگاهها به مدت ۱۰ دقیقه مورد مشاهده واقع می‌شوند. یعنی هر ایستگاه حداقل دوبار در فاصله زمانی یک ساعت مشاهده می‌شوند. نکته مهم این است که گیرنده در هنگام حرکت بین دو ایستگاه خاموش می‌شود.



تعداد مجهولات در این روش ۳ اختلاف مختصات است و 2(n-1) ابهام داریم که n تعداد ماهواره‌ها می‌باشد.

روش ایستا و متحرّک - Stop - Go

ایستاومتحرّک روشی است سریع که درآن یک گیرنده روی نقطه معلوم قرار می‌گیرد و گیرنده دیگر روی نقاط دیگر حرکت می‌کند و به مدت زمان یک دقیقه اطلاعات را جمع‌آوری می‌کند دقت این روش،1cm+1ppmدر طول باز می‌باشد.

در این نوع تعیین موقعیّت از روش تفاضلی دوگانه فاز حامل استفاده می‌شود.

$$\Delta\nabla\Phi = \Delta\nabla\rho + \Delta\nabla d\rho + \lambda\Delta\nabla N - \Delta\nabla dion + \Delta\nabla dtrop + \Delta\nabla\varepsilon(\Phi)$$

برای طولهای کوتاه داریم:

$$\Delta V\varepsilon(\Phi) \leq 1cm \quad \Delta V\Phi = \Delta V\rho + \lambda\Delta VN - \Delta V\varepsilon(\Phi)$$

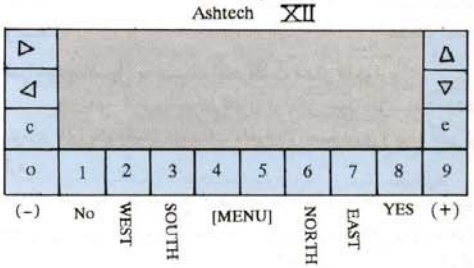
$$\Delta VP = \Delta V\rho + \Delta V\varepsilon(P)$$

$$\begin{cases} \Delta V\varepsilon(P) = 2 - 6m & c/A\ Code \\ \Delta V\varepsilon(\Phi) = 30 - 80cm & P\ Code \end{cases}$$

این روش را می‌توان با شبه فاصله سنجی تفاضلی دوگانه نیز انجام داد. گرچه دقت پائینتری دارد اما مسئله ابهام فاز ندارد.

گیرنده اشتک

نحوه کارکردن با گیرنده GPS ساخت کمپانی Ashtech بسیار ساده می‌باشد و دارای ۹ منوی اصلی است که به شرح هر یک می‌پردازیم:



منوی صفر) در این منو وضعیت ماهواره‌ها مشخص می‌شود- Search SKY.

منوی یک) بعد از گرفتن سیگنال ماهواره، Lock کردن گیرنده یا ماهواره، در این منو نمایش وضعیت ماهواره‌ها و مشخصات اولیه ظاهر می‌شود این منو حاوی اطلاعات زیر می‌باشد.

S.V) ماهواره‌های گرفته شده را نشان می‌دهد؛

CNT) تعداد سیگنالهای دریافت شده که به گیرنده می‌رسد را می‌شمرد چون این عدد دورقمی است تا ۹۹ بیشتر نشان نمی‌دهد. وقتی که تا ۹۹ شمرد دیگر ادامه نمی‌دهد و نشاندهنده آن است که دقت خوبی می‌دهد اگر بعد از ۹۹ عدد صفر ظاهر شد یعنی ارتباط قطع گردیده و بدترین حالت است یعنی ماهواره افقش پایین است یا ماهواره غروب کرده است.

S/N) نشاندهنده نسبت Signal به مقدار Noise می‌باشد هرقدر عدد داده شده بیشتر باشد نشاندهنده دقت خوب است به خاطر آنکه مخرج کسر مقدار noise حامل بر سیگنال است و هرقدر کوچک باشد سیگنال بهتر است. از عدد ۵۰ به بالاتر خوب است.عدد ۷۵ عالی است(۹۹ ایده آل)؛

Ele این submenu ارتفاع ماهواره را می‌دهد. می‌دانیم هر ماهواره پنج ساعت در افق هر کشور است. ماهواره‌هایی که نزدیک زنیت هستند خوبند(انکسار کمتر -15° < ele)؛

AZ) آزیموت ماهواره را می‌دهد.

URE) دقت موج رسیده به گیرنده را نشان می‌دهد که اگر او ۲ بزند دقتی حدود ۲-۳ متر دارد و اگر عدد ۸-۷ دقتی حدود ۱۰ متر دارد.

HEL) سلامت ماهواره را چک می‌کند اگر پیغام 3c بزند یعنی ماهواره نقص فنی دارد و اطلاعات آن قابل اعتماد نیست.

AGE) زمان ماهواره را می‌دهد اگر 00 باشد یعنی اطلاعات به روز است و عدد دیگر اطلاعات قبلی است.

منوی دو) در این منو زمان GMT, φ , λ , h تقریبی را می‌دهند که بیشتر برای کارهای ناوبری مناسب است.

همچنین مقادیر P-DoP خطای موقعیت و H-DoP و T-DoP

$$V_{DoP} = UREA = \sqrt{\sigma^2 orb + \sigma^2 clock + \sigma^2 ion + \sigma^2 trop}$$

و $G - DoP + \sqrt{\sigma^2 x = \sigma^2 y + \sigma^2 z + \sigma^2 t}$ را می‌دهد.

منوی سه) در صورتیکه میزان elevation بیشتر از ۱۵ درجه باشد اطلاعات شروع به ضبط شدن می‌شوند و هر ۵ دقیقه از ضبط اطلاعات می‌گذرد یک * روشن می‌شود که تا ۶۰ عدد جا برای روشن شدن * وجود دارد.

منوی چهار) در این منو اطلاعات خاص را می‌توان معرفی کرد. می‌توان مختصات تقریب φ و λ محل گیرنده را معرفی نمود همچنین می‌توان میزان ele را کاهش داد تا ماهواره‌های بیشتری را تحت پوشش قرار دهد. می‌توان فاصله EPOCH زمانی دریافت سیگنال را کم و زیاد کرد. در حالت عادی ۲۰ sec است یعنی هر ۲۰ ثانیه یک اپک EPOCH دریافت می‌کند.

منوی پنج و شش) این دو منو برای کار به روش کینماتیک تهیه شده و برای کار به روش REALTIME ساخته شده بیشتر برای ناوبری - Navigation استفاده می‌شود در منوی دو مختصات هدف داده می‌شود و می‌توان در شب هم شناسایی را انجام داد (برای کار عکس)؛

منوی هفت) در این منو می‌توان از کل ماهواره‌های در حال گردش ماهواره‌های مورد نیاز را انتخاب و بقیه را حذف نمود تمامی شرکتها و کمپانیهای سازنده توصیه می‌کنند که بهتر است عمل حذف در Software انجام شود تا درگیرنده؛

منوی هشت) این منو اختصاص به باز کردن و نامگذاری فایل است؛

منوی نه) در این منو نام ایستگاه گیرنده و نام عامل و Session آن و شماره دستگاه، ارتفاع دستگاه بایستی وارد شود. امکان دارد که در یک روز چند مرحله کار در زمانهای مختلف انجام دهیم بهمین خاطر از کدهای Session A B C ... کد گذاری می‌شود استفاده می‌کنیم.