کاربرد GPS در فتوگرامتری

تهیه کننده : آیلین مکرمی- کارشناس و دانشجوی کارشناس ارشد فتوگرامتری
نام قسمت : نقشه برداری و میکروژئودزی

فهرست مطالب

۱- خلاصه
۲- مقدمه
۳- تاریخچه
۴- فتوگرامتری
۵- اندازه گیری کینماتیک با GPS
۶- فتوگرامتری GPS
۷- شرح سیستم
۸- تکامل GPS- سخت افزار
۹- تکامل GPS- نرم افزار
۱۰- دستگاه رابط تعیین لحظه عکسبرداری
۱۱- سیستم GPS
۱۲- پردازش و تحلیل داده های GPS
۱۳- تحلیل داده ها
۱۴- مراحل و شرایط استفاده از SPACE-M
۱۵- تعدیل مثلث بندی فتوگرامتری
۱۶- تجربه دیگر
۱۷- نتیجه گیری

کاربرد GPS در فتوگرامتری

تهیه کننده : **أیلین مکرمی - کارشناس و دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری**
نـام قسمت : نقشه برداری و میکروژئودزی

چکیده

GPS یا نقشه برداری ماهواره ای ، یک سیستم تعیین موقعیـت جـهانی اسـت و جـایگزین تمـامی سیستمهای تعیین موقعیت قبلی مانند دوربینهای بالیستیک ، داپلر ، اینرشیال و غیره شده است . از آنجـا کـه داده های مکانی از عناصر بنیادی سیستمهای فتوگرامتری و GIS می باشند ، بـه همیـن دلیـل از GPS بـه عنوان ابزاری بسیار مهم در تعیین موقعیت در فتوگرامتری و GIS استفاده می شود .

تعیین مختصات ژئودتیک نقاط کنترل زمینی جهت کاربردهای فتوگرامتری عملی بسـیار زمـان بر و هزینه بر می باشد ، همچنین در بحث ناوبری هوایی ، تعیین موقعیـت آنـی ، بوسـیله مشـاهدات شـبه فاصله توسط GPS امری ضروری به نظر می رسد . در همین راستا تعیین ایستگاههای هوایی دوربین بـرای مثلث بندی هوایی ، بزرگترین و بیشترین کاربرد GPS در فتوگرامتری می باشد .

مقاله حاضر ، با بررسی تاریخچه کاربرد GPS در فتوگرامتری ، به بحث در مـورد اهمیـت سیسـتم تعیین موقعیت جهانی GPS پرداخته و کاربردهای مختلف این تکنولوژی را در عرصه فتوگرامتری بررسـی می نماید .

۱- مقدمه

در مقدمه مقاله به اختصار کاربردهای کلی GPS در فتوگرامتری بیان می گردد :

۱-۱- نقاط کنترل زمینی توسط GPS :

یکی از کاربردهای GPS در فتوگرامتری ، تعیین مختصات ژئودتیک نقاط کنترل زمینی می باشد که این عمل در زمان و هزینه صرفه جویی قابل توجهی می نماید ، بویژه که به دید مستقیم نقاط به هم احتیاجی نیست .

۱-۲-ناوبری هوایی جهت GPS :

GPS بطور گسترده و معمولی ، در فتوگرامتری هوایی ، جهت ناوبری هوایی استفاده می شود ، که مبنای آن تعیین موقعیت آنی (real time) ، بوسیله مشاهدات شبه فاصله ای می باشد . موقعیت محاسبه شده همراه خطوط پرواز طراحی شده ، برای ناوبر نمایش داده می شود . و در نهایت موقعیت دوربین می تواند ، بصورت خودکار توسط کامپیوتر ، در نزدیکترین فاصله به موقعیت از قبل طراحی و ذخیره شده ، منتقل شود . از این کاربرد GPS ، بسیار استفاده می شود و سیستمهای بسیار کارآمدی (از لحاظ تجهیزات و نرم افزار)با این قابلیت ، موجود هستند . دقت مورد احتیاج ناوبری (σ) ، می تواند تقریباً 5mm در مقیاس تعیین شده عکس در نظر گرفته شود . فرضاً برای مقیاس کمتر از ۱۰۰۰۰ : ۱ ، این مقدار بیش از 50 m خواهد بود . مقیاسهای بزرگتر عکس ، و یا سنجنده های هوایی دیگر ، دقتهای مختلفی را برای ناوبری ارائه می دهند . این دقتها با تعیین موقعیت نسبی شبه فاصله و انتقال همزمان داده ها ، از ایستگاه زمینی به هواپیما بوسیله ارتباطات رادیویی قابل دستیابی است .

۱-۳-تعیین موقعیت دوربین بوسیله GPS ، جهت مثلث بندی هوایی :

تعیین ایستگاههای هوایی دوربین برای مثلث بندی هوایی ، بزرگترین و بیشترین کاربرد GPS در فتوگرامتری می باشد . این امر مشابه حالتهای کلاسیک داده های کمکی (استاتوسکوپ APR) برای تعیین موقعیت قائم و حتی تعیین موقعیت افقی دوربین می باشد ، اگرچه که داده های کمکی دیگر ضبط نشده باشند . داده های GPS و مشاهدات مثلث بندی هوایی در فتوگرامتری مرسوم ، در یک block adjustment ، با هم ادغام شده اند که هدف نهایی آن کاهش نقاط کنترل زمینی ، در حد امکان تا حد مثلث بندی هوایی بدون کنترل زمینی می باشد . در نهایت ، مشکلات کوچکی در رابطه با جدایی فضایی بین آنتن GPS و دوربین در هواپیما ، مشابه زمان جدایی بین مشاهدات GPS و زمان دوربین وجود دارد که می توانند در محاسبات منظور شوند .

۲- تاریخچه

مساله تعیین موقعیت مولفه های X و Y و Z هواپیما ، بسیار مورد مطالعه قرار گرفتـه اسـت و موسسه هومو (Hauts Monts) ، در سال ۱۹۷۸ ، همراه با مجمع تحقیقـات ملـی اوتـاوا ، ارتفـاع سـنج راداری را برای تهیه نقشه بزرگ مقیاس بـا دقـت 3m توسـعه داد و در سـال ۱۹۸۰ ، هومـر بـه همـراه سازمان نقشه برداری ساسکاچوان کانادا ، برای تعیین مختصات مرکز تصویـر دوربیـن عکسـبرداری در حین پرواز آزمایشهایی با دستگاه تلورومتر مایکروویو انجام داد . نتـایج ابتدایـی ایـن تسـت بـرای انجـام تحقیقات بعدی مورد استفاده قرار گرفت و فقط برای X و Y خطای هندسی برابر 5m به دست آمـد . در این مرحله Z مورد بررسی قرار نگرفت . در سال ۱۹۸۳ ، هومو با همکاری وزرات علوم و تکنولوژی ایـالت کبک اقدام به تهیه اتوماتیک نقشه نمود که در آن از مایکروویو برای تعیین مختصات X و Y و از ارتفـاع سنج راداری برای اندازه گیری Z استفاده شد . نتیجه تحقیقـات و مقایسـه نقشـه هـای تهیـه شـده ، بـا اندازه گیریهای زمینی و نقشه های تهیه شده با روشهای مورد تحقیق ثابت کرد که با استفاده از ابزار یـاد شده می توان نقشه های مورد نیاز را با دقت کافی و در شـرایط ابـری ، شـب یـا روز ، بـدون اسـتفاده از عکس هوایی و نقاط کنترل زمینی تهیه نمود . در سال ۱۹۸۷ ، شرکت هومو با همکاری وزارت معـادن و منابع ایالت کبک ، اقدام به آزمایشی برای تعیین موقعیت مرکز تصویـر دوربیـن هوایـی در موقـع پروازبـا کمک GPS ، نمود . نتایج به دست آمده ، امیدوار کننده بود و لزوم انجـام تحقیقـات بیشـتر بـه کمـک تجهیزات دیگر را تایید نمود. از سال ۱۹۸۵ ، بررسی جدی برای تعیـیـن دقـت ارتفـاعی GPS براسـاس مدل‌های ژئوئید و حتی بدون مدل ژئوئید انجام شد. هدف ایـن تحقیقـات دسترسـی بـه بـهترین راه‌حـل محاسبه ارتفاع بر فراز سطح متوسـط دریـا بـود. در سـالهای ۱۹۸۶ و ۱۹۸۷ ، شـرکت Geosurvey ، از گیرنده‌های تریمبل برای اندازه‌گیری به صورت تفاضلی استفاده کرد و محاسبات به کمک نرم افزار تهیـه شده ، انجام گرفت. در سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹ روش‌های کینماتیک در شبکه نقاط نزدیـک اوتـاوا مـورد استفاده واقع شد. نتایج بدست آمده با وجود کم بودن تعداد ماهواره‌ها ، نبود نرم افزار و مسائل اقتصـادی ، کارآیی اعجاب آور سیستم را ثابت نمـود. در سـال ۱۹۹۰ وجـود مسـایل مـدرن GPS و نـرم افزارهـا و ماهواره‌های جدید باعث شد که تحقیقات جدیدی در زمینه تعیین مختصات مرکز تصویـر دوربیـن هوایـی به عمل آید.

شرکت Geosurvey ، از شرکت‌هایی است که در زمینه اندازه‌گـیری شـبکه‌های نقـاط کنـترل GPS ، آموزش GPS و کاربردهای آن شهرت بین‌المللی دارد. این شرکت با انواع گیرنده‌هـای GPS از قبیل تریمبل ، اشتک ، لایکا و کارخانجات دیگر آشنا بوده ، یکی از مراکـز تسـت گیرنده‌هـای GPS در دنیا است .

در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۱ تستهای زیادی بوسیله این شـرکتها انجـام گرفـت و امـروزه روند کار، بر اساس تکنولوژی جدید ، انجام می‌شود .

۳- فتوگرامتری

تهیه نقشه چه به صورت سنتی و چه به صورت رقومی ، دارای مراحل زیر می‌باشد:

- علامت گذاری و ساختمان نقاط کنترل زمینی
- عکسبرداری هوایی
- انجام مثلث‌بندی هوایی
- انجام تبدیل فتوگرامتری و ویرایش کارتوگرافی
- تولید و چاپ نقشه

تهیه نقاط کنترل زمینی طولانی‌ترین و گران‌ترین قسمت عملیات را تشکیل می‌دهد و ویرایش اکثر پروژه‌ها ۵۰ تا ۶۰ درصد هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. تا این اواخر برای تبدیل شبکه‌های نقاط مثلث‌بندی فتوگرامتری از نقاط کنترل زمینی دارای مختصات X ، Y و Z استفاده می‌شد. امروزه می‌توان مختصات سه بعدی مراکز تصاویر فتوگرامتری را با روش‌های کینماتیک GPS تعیین نمود. با استفاده از این مختصات سه بعدی برای هر عکس می‌توان بلوک‌های فتوگرامتری را بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی تبدیل نمود.

برای اینکه بتوان بطور قطعی استفاده از نقاط کنترل زمینی را کنار گذاشت ، باید علاوه بر مختصات مرکز تصویر ، وضعیت دوربین در لحظه عکسبرداری و مختصات نقطه نادیر عکس نیز مشخص شود. با استفاده از یک سیستم لیزری می‌توان مختصات وضعیت هواپیما در لحظه عکسبرداری و مختصات نقطه نادیر را مشخص نمود و از این نقاط ، برای کنترل یک بلوک فتوگرامتری استفاده کرد.

٤- اندازه‌گیری کینماتیک با GPS

مطالب زیادی در این مورد ، به رشته تحریر درآمده است. به اختصار می‌توان گفت ، در اندازه‌گیری کینماتیک با GPS مختصات نقاط یک مسیر در حال حرکت نسبت به یک نقطه ثابت اندازه‌گیری می‌شود. موقعیت نسبی دقیق بین دو آنتن که یکی از آنها درروی نقطه معلوم ، ثابت است و دیگری متحرک می‌باشد ، مشخص می‌شود. به عبارت دیگر با استفاده از اندازه‌گیری و شمارش نوسان امواج دریافت شده از ماهواره‌های مختلف ، روی دو آنتن در لحظات ثابت ، داده‌های لازم جهت محاسبات جمع‌آوری و موقعیت آنتن‌ها با استفاده از داده‌های ایستگاه ثابت محاسبه می‌شود. اگر چه استفاده از آنتن متحرک نیز ممکن است ولی استفاده از آنتن‌های گردان در هواپیماهای دارای بال ثابت ، کار ساده‌ای نیست.

پس از انجام عملیات ، می‌توان آنتن گردان گیرنده را حرکت داد . برای انجام اندازه‌گیری درست ، لازم است سیستم بطور مستمر حداقل با ۴ ماهواره تماس داشته باشد. هنگام حرکت در مسیر ، گیرنده معمولاً در فاصله زمانی ۱۵ ثانیه به جمع‌آوری داده می‌پردازد و موقعیت در هر نقطه محاسبه می‌شود. در صورتی که بخواهیم مختصات زمینی نقاط را محاسبه نماییم ، باید یک دقیقه در هر نقطه

توقف کنیم. با اینکه هدف اندازه‌گیری مختصات زمینی نقـاط می‌باشـد ، ولـی آنتـن در حـال حرکـت در فواصل زمانی تعیین شده ، به اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها ، ادامـه خواهـد داد. چنانچـه فاصلـه زمـانی اندازه‌گیری‌ها ۰/۵ ثانیه یا یک ثانیه انتخاب شود ، تعداد زیادی داده به هنگام حرکت آنتـن ، جمـع‌آوری می‌شود. به این ترتیب می‌توان از GPS برای تعیین موقعیت هواپیما نیز استفاده نمود ، که در این حـالت ، در پروازهای طولانی می‌توان به دقت چند سانتیمتر رسید. با این حال نفوذ خطاها ، در اندازه‌گیری‌ها غیر قابل اجتناب است . علاوه بر اختلال گیرنده و خطای موقعیت ماهواره که همیشه در سیستم وجـود دارد ، خطاهای چند مسیری شدن ، افت سیکل نوسان و خطاهای یونوسفری و تروپوسفری مـدار نـیز در عمـل وجود دارند.

تحلیل تاثیر این خطاها ، بسیار مشکل است. البته مسیر حرکت را می‌توان به صورت لوپ انجـام داده و خطای بست را کنترل نمود ، ولی در این روش ، رسیدن به خطای فوق‌العاده کم ، ضـامن و دلیـل دقت اندازه‌گیری‌ها در زمان پرواز نمی‌باشد.

تستهایی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ به وسیله شرکت Geosurvey انجام گرفت کـه در آنـها یک دستگاه تریمبل به هلیکوپتر وصل شده بود و پـرواز بـرای پیمـایش کینمـاتیک روی منطقـه شـبکه طول‌های باز ماهواره‌ای کانادا انجام گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد کـه در موقـع انـدازه‌گـیری بـه کمک فقط ۴ یا ۵ ماهواره در هوای بد و با وجود افت سیکل نوسان بین آنتن‌های ثابت و آنتن متحـرک ، بدترین دقت مورد انتظار ، در حدود ۲۵ سانتیمتر در فاصله یکصد کیلومتری نقطه ثـابت زمینـی می‌باشـد. در شرایط هوای خوب و با حداقل ۵ ماهواره ، تستها نشان می‌دهند که دقت ۱۰ سـانتیمتر بـرای فواصـل بلند قابل حصول می‌باشد.

پس می‌توان با نصب یک گیرنده در هواپیما و یک گیرنده ثابت در روی زمیـن (در نقـش نقطـه کنترل زمینی) و استفاده از روش تفاضلی فاز حامل (دوگانه) هم خطاها حذف می‌شود، هم بر دقت بـالا در حد سانتیمتر دست می‌یابیم. در ضمن مختصـات مراکـز تصویـر در لحظـات عکسـبرداری در هـر لحظـه حاصل و باعث می‌شود که این نقاط دارای دقت بالا به عنوان نقطه کنترل بکار روند. همچنیـن می‌تـوان از تعداد نقاط کنترل زمینی ، که هزینه زیادی را در بردارد ، کاست .

۵- فتوگرامتری GPS

نقاط ضعف استفاده از GPS کینماتیک برای تعیین موقعیت دوربین هوایی (یا ثابت دیگر نظـیر گرانی سنج یا رادار) به شرح زیر می باشد .

۱. در حال حاضر میدان دید بسیار محدود است .
۲. در صورت وجود سیستم کمکی نظیر INS در کنار GPS بـرای تعیـین دورانـهای طولـی و عرضـی می توان وضعیت هواپیما را بهتر توجیه نمود .
۳. پردازش داده های کینماتیک بویژه در صورت وجود خطاهای افـت سیکل نوسـان و چنـد مسـیری شدن بسیار پیچیده است .

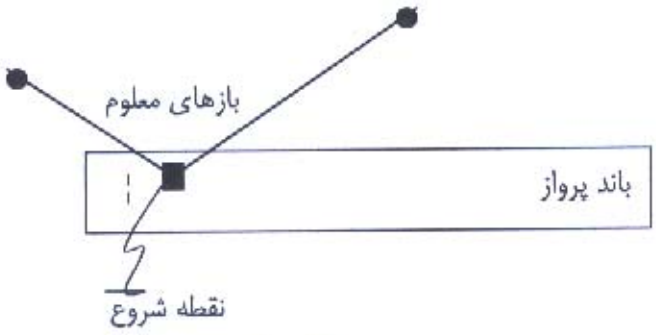
۴. روشهای کنترل کیفیت برای تعیین قابل قبول بودن داده هـای جمـع آوری شـده ضـروری اسـت ، چون نتایج بدست آمده از پردازشها تنها شامل اختلاف فازها و اختلاف فواصل می باشد .

با این وجود محققین دیگر نشان داده اند که در یک پرواز به دقت طراحی شده ، مـی تـوان بـه دقتی نزدیـک 5cm دسـت یـافت و نـیز در یـک سیسـتم کـالیبره شـده دقیـق ، نتـایج بدسـت آمـده از فتوگرامتری GPS ، مشابه نتایج بدست آمده بر اساس نقاط کنترل زمینی می باشد .

٦- شرح سیستم

اولین سیستم فتوگرامتری GPS ، شامل آنتن میکرواستریپ می باشد که بر روی هواپیما قـابل نصب است . فاصله بین آنتن و صفحه کانونی دوربین هوایی معلوم است و نیز فاصلـه آنتـن هـواپیمـا از نقطه ثابت روی باند پرواز به هنگام توقف هواپیما مشخص می باشد . طول بازبین نقطه ثـابت روی بـاند پرواز و پایگاه کنترل طول باز بوسیله GPS با روش اسـتاتیک و با دقـت انـدازه گـیری مـی شـود . ضمناً چون باز کمتر از یک کیلومتر انتخاب می شود تعـداد ارقـام موجـود در انـدازه گـیری هـم بررسـی می گردد .

بعد از معرفی مختصـات نقطـه شـروع بـه گـیرنده ، دسـتگاه GPS در وضعیـت انـدازه گـیری کینماتیک قرار داده می شود و هواپیما پرواز برای عکسبرداری هوایی را شروع می نماید . بعـد از گرفتـن هر عکس هوایی عکاس هوایی شماره عکس را که از طریق دستگاه رابط تعیین لحظـه عکسـبرداری بـه دستگاه GPS ارسال شده است ، یادداشت می نماید . ضمناً برای کنترل کـارکرد دسـتگاه تعیـین لحظـه عکسبرداری در فاصله بین دو عکس ، شماره عکس از شمارنده خود دسـتگاه تعیـین لحظـه عکسـبرداری نیز ثبت می شود . علاوه بر این عکاس شـماره نـوار عکسـبرداری و شـماره کنتـور فیلـم دوربیـن را نـیز یادداشت می نماید . بعد از انجام پرواز ، هواپیما مجدداً در نقطه شـروع اولیـه روی بـاند پـرواز قـرار داده می شود و دوباره به مدت ۱ تا ۲ دقیقه ، اندازه گیری استاتیک به منظور بستن مسیر عملیات اندازه گـیری روی نقطه اولیه انجام می گیرد.



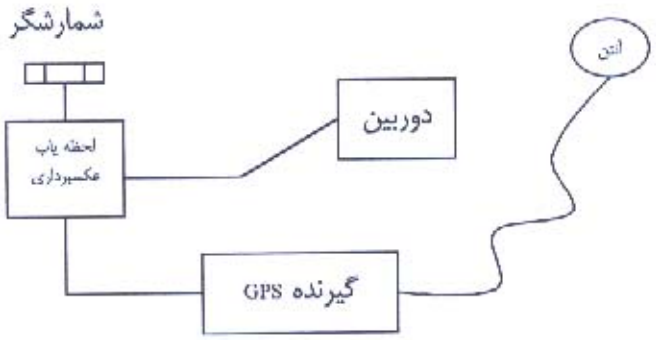
نگاره یک

داده های گیرنده GPS به کامپیوتر منتقل گردیده ، سپس این داده ها نسبت به نقطه یـا نقـاط ثابت در دو جهت رفت و برگشت محاسبه شده ، نتایج محاسبات اندازه گیری ها ابتدا در سیستم محلـی و نسبت به ارتفاع سطح متوسط دریا حساب می شوند . از مدل ژئوئید برای تبدیل ارتفاعـات از بیضـوی بـه سطح متوسط دریا ، استفاده به عمل می آید .

۷- تکامل GPS - سخت افزار

داشتن گیرنده و دوربین هوایی برای انجام عملیات کافی نیست ، بلکه ارتبـاط دهنـده لازم بـاید لحظه عکسبرداری را در فهرست انـدازه گـیری هـای GPS منعکـس کنـد . در روش پیشـنهادی زمـان عکسبرداری بوسیله گیرنده GPS و همزمان با لحظه ثبت داده ها ، به دوربین هوایی داده شده ، موقعیـت آن در فهرست داده ها ، علامت گذاری می شود . در تحقیقات انجام شده محـل لحظـه عکسـبرداری در ردیف داده ها علامت گذاری و زمان آن بر اساس فهرست داده ها برون یابی می شود .

دوربینهای بکار رفته مثل RC10 ویلد و RMK زایس ، در حالت عـادی امکـان انتقـال دقیـق لحظه عکسبرداری به گیرنده های GPS را ندارند . بهمین دلیل کنسرسیوم اقدام به ساختن نوعی ارتبـاط دهنده الکترونیکی خاص نمود که از آن می تـوان بـهمراه بسـیاری از دسـتگاههای GPS در ارتبـاط بـا دوربین هوایی استفاده کرد . این دستگاه که در محل ورودی سیگنالها ، به GPS وصل می شود ، لحظـه عکسبرداری را با تاخیر دو میلیونیم ثانیه در فهرست داده های ثبت شده با GPS علامت گذاری میکند .



نگاره ۲

با توجه به نگاره ۲ ، لحظه عکسبرداری به گیرنده منتقل می شود ، ضمنا" برای جلوگیری از تداخل امواج در گیرنده ، موقع انتقال پالس از شمارشگر ویژه استفاده می شود که به کمک آن پالسهای واقعی مشخص می شوند .

دستگاه ارتباط دهنده در اوایل مواجه با اشکال شـد . چـون تداخـل امـواج ایجـاد شـده بوسـیله هواپیما و نیز ناهنجاری الکترو مکانیکی ایجاد شده در دوربین هوایی پالسـهای مزاحـم تولیـد نمـود و بـه گیرنده دستگاه ارتباط دهنده انتقال داد ، برای جلوگیری از اختلاف ایجاد شـده و اسـتفاده قـابل قبـول از قطعه ارتباط دهنده این قطعه به پوسته محافظ مجهز گردید .

۸- تکامل GPS - نرم افزار

در این تحقیقات ، از نرم افزارهای کینماتیک مانند Kinsrvy برای پردازش داده هـای اولیـه استفاده شد . پردازش اولیه به علت وجود اشکال در نرم افزار بی نتیجه بود ، که به مرور برطرف گردیـد . ولی یافتن دلیل عدم توفیق محاسبات اولیه و اینکه روش عملیـات خـالی از اشـکال بـوده اسـت ، مـدت زمان زیادی را به خود اختصاص داد .

هر مرحله عملیاتی ، تولید انبوهی داده می نماید . بـا اینکـه مصـرف کننـده فقـط از داده هـای مربوط به لحظه های عکسبرداری استفاده خواهد کرد با اینحال برای جلوگیری از اشـکالات بعـدی بـاید تمام داده ها را بازدید نمود . با انجام عملیات ساده زیر می توان داده ها را کنترل کرد :

۱- زاویه افق دید ماهواره نباید زیاد بالا باشد . بر خلاف اندازه گیری به حالت استاتیک ، زاویه دید متغـیر در اندازه گیری کینماتیک بهتر ، ولی زاویه دید بـالا بـرای برداشـت بـه صـورت کینمـاتیک مسـاله سـاز می باشد .

۱- خطاهای باقیمانده اندازه گیری اختلافات فاز ، امواج در مقاطع زمانی اندازه گیری باید کوچک باشند.

۲- افتهای سیکل امواج باید ثابت باشند .

۳- خطای طول باز مورد استفاده برای شروع عملیات نباید بیش از یک طول موج اندازه گیری باشـد والا در ضمن محاسبات خطاهای بزرگ بوجود خواهد آمد .

۴- خطای بست روی نقطه شروع قابل بررسی است . در صورتیکه خطای بست بزرگ باشد ، داده هـای جمع آوری شده مورد اطمینان نمی باشد ، ولی خطای بست کم نیز دلیل برداشت خوب نیست .

۹- دستگاه رابط تعیین لحظه عکسبرداری

بعد از ساخت سیستمهای الکترونیکی ، دستگاه ارتباط دهنده یـا جعبـه سـیاه ، ایـن دسـتگاه بـه دوربین وصل شد و در خارج از هواپیما تست شد . به جز اشکالات ساده ای که وجود داشت و بـه آسـانی برطرف گردید ، دستگاه به خوبی کار می کرد و لذا طراحی پرواز انجام گرفت .

در هنگام پرواز های اولیه ، تداخل امواج الکترومغناطیسی در سیستم پیدا شد . تشعشع و برخـورد این امواج به کابلهای جعبه سیاه باعث ایجاد پالسهای ناهنجار بوسیله ایـن دسـتگاه مـی گردیـد یکـی از منابع تداخل امواج دستگاه فاصله یاب هواپیما و منبع دیگر ، رادیو هواپیما و قرار گرفتـن آنتـن آن در زیـر دوربین هوایی بود . هر دو منبع به صورت متناوب امواج الکترو مغناطیسی تداخلـی بـا قـدرت کـم تولیـد می نمودند که به قدر کافی پالسهای ناهنجار در دستگاه ایجاد مـی نمـود . کنتـاکت موجـود از نـوع آرک الکترونیکی در دوربین زایس یکی دیگر از منابع بد تولید تداخل امواج بود . قدرت زیـاد امـواج نـوع اخـیر بدلیل نزدیکی آن به مجموعه الکترونیکی دوربین است .

قسمت اعظم مشکلات ناشی از تداخل امواج با ایجاد تغییرات در جعبه سیاه و تجهیز درونی آن به مدارهای ضد حساسیت و نیز عایق بندی بیرونی جعبه برطرف گردید . بطور یکه امواج تولید شده در حین تغذیه فیلم در دوربین خنثی می شد . البته در مواقعی که دستگاه فاصله یاب هواپیما و رادیو در هنگام عملکرد دوربین خاموش بود ، جعبه سیاه بطور بسیار مطلوب کار می کرد . ارتعاشات ایجاد شده بوسیله دوربین هوایی نیز با قراردادن فیلترهایی خاص در مجاورت کنتاکتهای مزاحم برطرف گردید .

جعبه سیاه به منظور ایجاد پالس مطمئن در لحظه عکسبرداری و انتقال آن با تاخیر دو میلیونیم ثانیه بر کابل ورودی گیرنده GPS می باشد که لحظات عکسبرداری را در ردیف دادها مشخص می کند. دو میلیونیم ثانیه تاخیر در تشخیص و انتقال سیگنال لحظه عکسبرداری می تواند خطایی در حدود یک میلیمتر در سیستم ایجاد نماید .

۱۰- سیستم GPS

در هنگام تعیین موقعیت آنتن قبل از پرواز ، محل آن نسبت به زیر بدنه هواپیما تعیین می گردد . در بدترین حالت می توان هواپیما را طوری روی نقطه ثابت زمینی قرار داد که شاقول امتداد محل انتن بر روی نقطه ثابت قرار گیرد . در آزمایشات اولیه ، نرم افزار ، به هنگام پردازش داده های GPS برای مدت پرواز ۱۰ تا ۱۵ دقیقه اعلام خطا می نمود و مواجه با اشکال می شد یا در تمام مقاطع زمانی اخذ داده ها و برای تمام ماهواره ها ، افت سیکل نوسان نشان می داد . قبلاً تصور بر این بود که اشکال ایجاد شده در پردازش به علت انحراف از مسیر و تکانهای هواپیما می باشد ولی دریافت داده های با کیفیت عالی در هوای منقلب و تکانهای شدید که عکسبرداری هوایی در آن ممکن نبود ، خلاف تصور فوق را ثابت کرد و همان پرواز باعث شد که وجود اشکال نرم افزار به ثبوت برسد که این اشکال توسط تولید کنندگان نرم افزار سریعاً برطرف شد . اشکالات موجود در داده ها را می توان به شرح ذیل بیان نمود :

۱. وضعیت سلامت ماهواره ، که معمولاً در پروازها ، خوب تلقی می شود ، در چند روز از پروازهای تست رضایتبخش نبود و نشان می داد تعدادی از ماهواره ها با کارآیی کامل کار نکرده اند .
۲. تکانهای بالها و دم هواپیما و انحراف از مسیر در کیفیت اخذ سیگنال موثر بود .
۳. اندازه گیری طول باز ، که برای معرفی مختصات نقطه شروع به سیستم بکار می رود ، احتمالاً دارای دقت کافی نبوده است . در این مورد با اندازه گیری مجدد طول باز در سیستم WGS 84 و مقایسه آن با مختصات موجود در سازمان ژئودزی کانادا در سیستم NAD 83 به کمک ترانسفورماسیون ، مورد تحقیق قرار گرفت و رفع ابهام شد . ولی اختلافات به دست آمده بعد از پردازش داده ها ، کفایت دقت اندازه گیریهای اصلی را نشان نداد .
۴. ترکیب و تعداد ماهواره ها ، در ضمن تست ایده آل نبود و با اینکه سعی شد از تعداد ۶ ماهواره در زمان اندازه گیری استفاده شود ، در پاره ای مواقع تعداد ماهواره ها به ۵ یا حتی ۴ محدود می شد ، که در حال حاضر این مشکل رفع گردیده است .

۵. شاید اندازه گیری با S.A تولید اشکال می نموده است .

خطاهایی در مورد انتقال محل آنتن بر روی باند پرواز به هنگام توقف هواپیما پیش آمده بود که با تصحیح آن ایراد بند ۳ برطرف گردید و نتایج محاسبات بهبود نسبی پیدا کرد ولی خطای باقیمانده ها ، در اندازه گیری امواج هنوز قابل قبول نبود .

۱۱- پردازش و تحلیل داده های GPS

مدارک معرفی مختصات اولیه قبل از شروع پرواز و نیز مختصات نقاط موجود در پایگاه هوایی به انضمام نقطه اندازه گیری شده در روی باند پرواز و نیز ارتفاع آنتن GPS بر فراز نقطه ثابت باند ، در شروع هر مرحله اندازه گیری ، بررسی و آماده می شود . داده های جمع آوری شده به کمک برنامه پردازش کینماتیک محاسبه می گردد . در عملیات از برنامه نرم افزار Kinsrvy اشتک و برنامه Semikin نوشته Cannon و همکاران (۱۹۹۰) استفاده گردید .

نرم افزار Kinsrvy از مشاهدات امواج دارای اختلاف فاز مضاعف ، که در نقاطی با ثبات لحظه ای دریافت می شوند استفاده و به کمک راه حل استاندارد کمترین مربعات عمل می کند .

برنامه Semikin با روش تعدیل با کمترین مربعات از مشاهدات امواج دارای اختلاف فاز مضاعف در اندازه گیری نقاط ثابت ، استفاده کرده برای پردازش داده های کینماتیک از کالمن فیلترینگ بهره می گیرد . مقادیر نوسانی امواج و نیز اندازه گیری های علائم زمانی فواصل ، همگی به صورت اختلاف مضاعف در محاسبات وارد می شوند .

زمان سکون گیرنده متحرک در هر دو برنامه بصورت اطلاعات ورودی مورد نیاز می باشد و این زمان در برنامه Kinsrvy بطور اتوماتیک محاسبه می شود ولی در برنامه Semikin باید بطور دستی به برنامه معرفی شود .

هر مجموعه داده ها بصورت رفت و برگشت محاسبه شده ، نتیجه مقابله مختصات نقطه ثابت روی باند در قبل از شروع پرواز و اندازه گیری مجدد آن بعد از پایان پرواز ثبت می شود . اختلاف این دو سری مختصات نقطه ثابت بیشتر از چند سانتیمتر نمی باشد .

۱۲- تحلیل داده ها

اختلافات اندازه گیری بصورت سنجش نوسان و نیز بر اساس زمان سنجی در نرم افزار تولید شده بوسیله کنسرسیوم برای انجام محاسبات مورد استفاده قرار می گیرند .

با بررسی نتایج بدست آمده از این محاسبات در مورد کیفیت و ثبات جمع آوری داده ها اطلاعات لازم بدست می آید . با استفاده از نرم افزاری دیگر ، شماره پرواز و مشخصات آن به مختصات مرکز هر تصویر در لحظه عکسبرداری اضافه می شود . به کمک نرم افزار درونیابی ، مختصات به صورت رفت و برگشت محاسبه شده و نتیجه محاسبات شامل شماره مرکز تصویر عکس هوایی ، شماره نوار عکسبرداری ، مختصات نقاط و کیفیت اندازه گیری چاپ می شود .

مختصات بدست آمده برای نوارهای عکسبرداری به انضمام مدل خطاها و مختصات نقاط ثابت زمینی به نرم افزار تعدیل سه بعدی با کمترین مربعات به نام Geolab3 تحویل می شود . از این نرم افزار برای محاسبه همزمان مقادیر زیاد اطلاعات و تعیین میزان ناهماهنگی موجود میان نوارهای رفت و برگشت ، بر اساس خطاهای محاسبه شده ، استفاده می شود . ضمناً داده های حالت کینماتیک به روشهای مختلف و به طور مثال با استفاده از ترکیبهای مختلف ماهواره ای محاسبه می شوند .

در مواقعی که افت نوسان امواج پیش می آید ، می توان از داده های حالت رفت و برگشت برای ترمیم داده ها بهره گرفت .

بالاخره تغییرات ژئوئید در WGS 84 محاسبه شده و به سیستم محلی برده می شود . پس از انجام تصحیحات لازم در سیستم مختصات محلی ، محاسبات مختصات نقاط در سیستم محلی انجام می گیرد .

مختصات نهایی بصورت جغرافیایی و قائم الزاویه به انضمام ارتفاعات از سطح متوسط دریا در قالب دیسکت به کارکنان فتوگرامتری تحویل می شود . مثلث بندی عملاً در شرایط کاملاً متعارف تولید انجام گرفته ، دستگاهها و روشهای مورد استفاده برای مثلث بندی بطور معمول در حال بهره برداری می باشد از جمله :

- دستگاه PUG 4 ویلد برای انتقال نقاط
- دستگاه AMU ویلد برای مثلث بندی بصورت مدلهای مستقل
- سیستم نرم افزار SPACE-M که در حال حاضر برنامه استاندارد محاسبات و تعدیل مثلث بندی فتوگرامتری است .
- تعداد و موقعیت نقاط انتقالی منطبق بر روال کاری متعارف می باشد .

۱۳- مراحل و شرایط استفاده از SPACE – M

داده های ورودی به برنامه SPACE –M ، برای تشکیل مدل مختصات در آن برنامه باید قبلاً از نظر خطای سیستماتیک تصحیح شده باشد . این برنامه مختصات کارتزین مدل فتوگرامتری در سیستم راستگرد را به مختصات کارتزین زمینی در سیستم راستگرد بر می گرداند .

تحت شرایط خاص ، هر مدل سه بعدی نسبت به واقعیت زمینی خود ، دارای تشابه فضایی می باشد . این تشابه فضایی با هفت درجه آزادی مشخص می شود که شامل سه عنصر انتقالی ، سه عنصر دورانی و یک عنصر مقیاس است .

ترانسفورماسیون خطی از مختصات مدل به مختصات زمینی را می توان بصورت زیر نوشت :

$$X = ax + by - cz + e$$
$$Y = ay - bx - dz + f$$
$$Z = az + cx + dy + g$$

و ضریب مقیاس مسطحاتی را به صورت : $K = (a^2 + b^2)^{1/2}$

دورانهای مورد نیاز ω و φو κ می باشند که حول محورهای X و Y و Z صورت می گیرند . در صورتی که مدل تراز باشد ، دوران κ را می توان به صورت زیر محاسبه کرد :

$$\kappa = arctg(-b/a)$$

در صورتیکه ترتیب ریاضی دورانها را ω و φو κ در نظر بگیریم برای هر مدل ۷ پارامتر و برای تعداد n مدل ، $n \times ۷$ مجهول وجود خواهد داشت .

در حالت کلی مولفه های مختصات نقاط مشترک مدلها ، دارای وزن ۱ و ۱و ۱ و نقطه مرکز پرسپکتیو دارای وزن ۲ و۲ و۱ است و وزن نقاط کنترل ۰/۱ تا ۹/۹ تغییر می کند . در دستور العمل برنامه SPACE – M جزئیات بیشتری در این مورد وجود دارد .

فهرست اطلاعات خروجی برنامه SPACE – M به ترتیب زیر است :

۱– الف : نقاط مشترک بین مدلها و شماره مدلها .

۱– ب : لیست مختصات زمینی تمام نقاط مدل به انضمام خطاهای باقیمانده نقاط مشترک بین مدلها و نیز خطاهای باقیمانده روی نقاط کنترل .

۲– الف : یک جدول آماری که اوزان نقاط کنترل و نقاط چک را نشان می دهد .

۲ – ب : یک جدول که تعداد نقاط کنترل و نقاط مشترک بین مدلها و نقاط چک و فواصل آنها را با یکدیگر نشان می دهد .

۳– یک لیست خروجی و فایل آن که شامل مختصات تعدیل شده تمام نقاط بلوک فتوگرامتری است .

۱٤– تعدیل مثلث بندی فتوگرامتری

هدف از این محاسبات این بود که ثابت شود ، بدون اندازه گیری نقاط کنترل زمینی ، از مختصات نقاط مراکز تصویر ، که بوسیله GPS اندازه گیری می شوند ، می توان نقشه تهیه کرد .

برای مناطق تست ، ابتدا بلوکهای فتوگرامتری به کمک نقاط کنترل زمینی محاسبه و تعدیل شد . در مرحله بعدی محاسبات تعدیل بلوکها ، فقط از مختصات مراکز تصویر استفاده شد و نقاط کنترل زمینی به عنوان چک وارد محاسبات شدند .

در مرحله دیگر از محاسبات به منظور ایجاد وجه تشابه بیشتر با حالت معمولی ، فقط از ۵ نقطه کنترل زمینی در تعدیل استفاده شد و بقیه نقاط زمینی به عنوان نقاط چک منظور شدند .

نتایج بدست آمده از تعداد زیادی پروازهای تست نشان می دهد که به راحتی می توان دقتی برابر ۲۰ تا ۵۰ سانتیمتر در مولفه های X و Y و Z به دست آورد . با توجه به تجارب بدست آمده و توسعه و تکمیل سیستم امروزه جمع آوری داده های GPS با چندین برابر دقت زمان انجام تست صورت می گیرد و می توان اندازه گیریهای لازم را با دقت ۵ تا ۲۵ سانتیمتر انجام داد .

۱۵- تجربه دیگر

Photo science ، چندین سال است که در جمع آوری داده های کنترلی بوسیله GPS فعالیت داشته است .

۱۵-۱- سخت افزار مورد استفاده ، Post processing و مثلث بندی هوایی

داده های GPS ، با استفاده از فازهای حامل P12 (در حال حاضر Z12 جهت بی اثر کردن اثرات ناشی از AS) ،با فرکانس دوگانه وگیرنده های با طول موج کامل L1 و L2 (P-code) جمع آوری می شوند .

پردازش بعدی (Post processing) با استفاده از نرم افزار پردازشگرتفاضلی صورت می گیرد . PNAV (Precise differential GPS Navigation & Surveying) ، یک تکنیک تخمینی بازگشتی پارامترهای کالمن فیلترینگ را بکار می برد که توانایی حل مجدد ابهامات را هنگامیکه گیرنده سیار در حرکت است را دارد . بر خلاف پردازش استاندارد کینماتیک ، PNAV ، احتیاج به initialization استاتیک و یا یک تبادل آنتن جهت حل ابهامات ندارد و بنابراین احتیاج به برگشت هواپیما به یک نقطه اولیه ، در صورت مفقود شدن ارتباط ماهواره ندارد .

یک ترکیب خطی از طول موجهای کامل L1 و L2 جهت ایجاد یک (Wide Lane) با طول موج 86.2 سانتیمتر، برای تثبیت سریع ابهامات و تنظیم نقاط اولیه برای کالمن فیلترینگ بکار می رود . عوامل زیر بر سرعت و قابلیت اعتماد در این روش تاثیر می گذارد .

- بایاس و نویز شبه فاصله
- بایاس و نویز فاز حامل
- چند مسیره شدن
- جدایی خطوط مبنا
- هندسه ماهواره

در حالت کلی Z12 بکار می رود ، اگر :

- PDOP < 4
- بیش از ۵ ماهواره را مشاهده کنیم
- خطوط مبنا < 15 km
- Cycle Slip های کمی در اثر موانع داشته باشیم

PNAV ابهامات صحیح را در کمتر از ۵ دقیقه مجدداً حل خواهد نمود . اگر خطوط مبنا بیش از 10 km بوده و سایر معیارها ، مطابق فرمول زیر باشند ، نتایج خوبی حاصل خواهد شد .

دقایق زمان مشاهدات = 2 / ((s) فاصله زمانی قرائتها + (km) خط مبنا)

شکل دیگر PNAV که بسیار مفید است . الگوریتم های پردازش back ward و forward است . این شکل ، دامنه حل بوسیله داده های پردازش در هر دو جهت را توسعه می دهد . بدون این پردازشها ، هواپیما احتیاج خواهد داشت که در روی باند برای مدت ۵۰ دقیقه ، پیش از پرواز جهت حل خطوط مبنایی اولیه باقی بماند . با استفاده از الگوریتم bi – directional ، هواپیما احتیاج دارد که تنها ، ۱۰ دقیقه قبل و ۱۰ دقیقه بعد از ماموریت بی حرکت و ساکن بماند .

جهت مثلث بندی هوایی ، یک تعداد روابط تحلیلی (همان بلوک اجستمنت) اقتباس شده اند تا داده های GPS هواپیما پذیرفته شوند . مدل بکار رفته ISBBA است که بر پایه روشهای پیشرفته ریاضی روش باندل اجستمنت را برای حل مساله مثلث بندی هوایی بکار می رود . نرم افزار ISBBA (Interactive Simultaneous Bundle Block Adjustment) همه داده های هواپیما را ، از مختصات ژئودتیک به مختصاتی با مرکز زمین و متصل به زمین (ECEF) ، مماس بر مرکز منطقه پروژه تبدیل می کند . این مختصاتها ، ضرورتا" بوسیله پروسه اجستمنت ، یک سیستم محلی شده و پس از سرشکنی به مختصات ژئودتیک برگشت داده می شوند . خروج از مرکز آنتن نیز یک پارامتر ورودی بوده و بوسیله نرم افزار مدله می شود .

۱۶- نتیجه گیری

نتایج اولیه بدست آمده از پروژه های اولیه دقتهای خوبی را ارائه داده اند . برای آینده نیز این باور وجود دارد که با انجام دقیقتر مثلث بندی فتوگرامتری ، دقت های بدست آمده تا دو برابر بهتر شوند . از جمله در انجام مثلث بندی باید به این نکات توجه داشت :

- انتقال و علامتگذاری نقاط مشترک بین نوارهای عکسبرداری با روشهای بهتری انجام گیرد .
- قرائت مختصات در مثلث بندی فتوگرامتری بوسیله دستگاههای تحلیلی دارای دقت یک میکرون نتایج بهتری خواهد داشت .
- تعدیل با نرم افزاری که اختصاصا" برای استفاده از مراکز تصویر در محاسبات تهیه شده ، در دقت محاسبات موثر خواهد بود .

فهرست منابع مورد استفاده

۱-ترجمه دکتر بهمن پور ناصح ، سیستم فتوگرامتری GPS

۲-ترجمه مهندس حمید رضا نانکلی ،تعیین موقعیت ماهواره ای به روش کینماتیک

۳-حمید رضا نانکلی ، تعیین موقعیت آنی با GPS

۴-مهندس رجبی فرد ،درس فتوگرامتری IV

5-Robert Ketzli , GPS Adid Photogrammetry

6-Friedrich Ackermann ,The Status & Accuracy Performance of Photogrammetry