

مقایسه دقت سرشکنی بلوکهای فتوگرامتری در حالت استفاده از

داده‌های GPS با روشهای مدل مستقل و باندل اجسمنت

اصغر میلان لک دانشجوی دکتری فتوگرامتری و سنجش از دور دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی milian@ncc.neda.net.ir

دکتر مجید همراهِ استاد دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی Hamrah@kntu.ac.ir

مهدی غلامعلی مجدآبادی کارشناس ارشد فتوگرامتری سازمان نقشه برداری کشور majdabad@ncc.neda.net.ir

چکیده

جمع آوری نقاط کنترل زمینی برای سرشکنی بلوکهای فتوگرامتری از قسمتهای پرهزینه و زمان بر تهیه نقشه به روش فتوگرامتری می‌باشد و فتوگرامتریست‌ها همواره به دنبال راهی بوده‌اند که تا حد ممکن از تعداد نقاط کنترل زمینی بکاهند. امروزه استفاده از داده‌های GPS^[1] در فعالیتهای نقشه برداری به طور وسیعی مورد توجه قرار گرفته است از بدست آوردن مختصات نقاط کنترل زمینی تا بدست آوردن مختصات مراکز تصویر و پارامترهای توجیه دوربین در لحظه عکسبرداری، در Mobile Mapping و در نقشه برداری کاداستر و ترکیب داده‌های GPS با داده‌های INS² امروزه تحقیقات وسیعی در این زمینه در حال انجام است چراکه کاهش تعداد نقاط کنترل می‌گردد. در این تحقیق دقت بلوکها سرشکن شده با داده‌های کمکی GPS در سرشکنی بلوکهای 1/۲۵۰۰۰ ایران با روشهای مدل مستقل و باندل اجسمنت مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج کار نشان می‌دهد که در مقیاس مورد نظر برای منطقه ایران به خوبی جواب گوی دقتهای خواسته شده خواهد بود.

۱- مقدمه

در فرایند تهیه نقشه به روش فتوگرامتری و با استفاده از عکسهای هوایی یا باید پارامترهای توجیه خارجی دوربین با دقت مورد قبول در دسترس باشد و یا اینکه به اندازه کافی نقشه کنترل زمینی در دسترس باشد تا بتوان مدلهای فتوگرامتری را نسبت به سیستم مختصات نقشه توجیه نمود. به همین منظور جمع آوری نقاط کنترل مورد نیاز برای این منظور از قسمتهای پرهزینه و زمانبر تهیه نقشه به روش فتوگرامتری بوده و فتوگرامتریست‌ها همیشه به دنبال راهی بودند تا هزینه‌ها و زمان مورد نیاز برای این کار را کاهش دهند استفاده از GPS این فرصت و مجال را به فتوگرامتریست‌ها داد تا هزینه‌های تولید نقشه به روش فتوگرامتری را کاهش دهند. تجربیات استفاده از GPS مزایای بسیاری را به همراه داشت که به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:^[1]

استفاده از تکنیک GPS در بدست آوردن مختصات نقاط کنترل زمینی باعث می‌شود که نتایج مثلث بندی هوایی نشانگر دقت بهتری برای نقاط کنترل باشد. در نتیجه عدم توجه زیاد عوامل نقشه برداری زمینی به موقعیت و کسروی نقاط فتوگرامتریست‌ها اغلب در محاسبات به این نتیجه می‌رسند که جای نقاط کنترل باید عوض شود. ولی در استفاده از گیرنده‌های GPS این مشکلات کمتر پیش خواهد آمد.

مناسب بودن نقاط کنترل از لحاظ موقعیت زمینی برای فتوگرامتریست‌ها بسیار مهم می‌باشد. به همین خاطر برای نقاط کنترل ارتفاعی بهترین موقعیت مناطق واضح و مسطح تعریف می‌شود ولی برای نقاط مسطحانی بهترین موقعیت گوشه‌ها و لبه‌های تیز می‌باشد که با استفاده از گیرنده‌های GPS و تعیین موقعیت این نقاط به خوبی مقدور است و سختی کار نقشه برداری کلاسیک را ندارد.

از GPS همچنین برای اندازه گیری موقعیت دوربین در لحظه عکسبرداری

استفاده می‌شود. ایده استفاده از یک گیرنده GPS بر روی هواپیما برای تعیین دقیق مراکز تصویر، نخستین بار توسط پژوهشگران سازمان نقشه برداری کشور آمریکا (NOS) به سال ۱۹۸۲ مطرح گردید. طبق پیش بینی‌های آنها که بر پایه شبیه سازی‌های کامپیوتری ارائه شد با روش مشاهدات کینماتیک دقت هایی در حد ۵ سانتیمتر تا ۱ متر قابل انتظار می‌بود. نخستین آزمایش‌های عملی در زمینه GPS فتوگرامتری توسط اداره بزرگراه‌ها و حمل و نقل همگانی تکزاس (TDHPT) انجام شد و پیش بینی‌های مزبور را تأیید کرد. همچنین از GPS می‌توان برای تعیین المانهای دورانی توجیه خارجی دوربین نیز استفاده کرد. اما متأسفانه دقت زوایایی که از این طریق محاسبه می‌شود در حدود ۱ دقیقه کمانی می‌باشد در صورتیکه در فتوگرامتری ضروری است زوایای دقتی در حدود ۱۰ ثانیه کمانی در اختیار باشند. برای محاسبه موقعیت دوربین در طول پرواز برای رسیدن به دقت‌های مورد نیاز برای تهیه نقشه‌های کوچک مقیاس از دو گیرنده دو فرکانسه استفاده می‌شود^[1].

البته امروزه با استفاده از INS به همراه GPS به دقت‌های بهتری نیز رسیده‌اند که امکان رسیدن به دقت‌های نقشه‌های بزرگ مقیاس را هموار می‌سازد^[2,3]. در ایران فعلاً از INS به صورت اجرایی استفاده نشده است لذا در این مقاله فقط به بررسی GPS Photogrammetry پرداخته شده است. در این روش یکی از گیرنده‌ها در روی نقطه‌ای با موقعیت معلوم و دیگری بر روی هواپیما قرار می‌گیرد و کد و فاز حامل در طول پرواز به وسیله هر دو گیرنده در فاصله‌های ۵/۱ و ۱ ثانیه جمع آوری می‌شوند و برای رفع ابهام فاز از روش OTF³ استفاده خواهد شد.

۲- مزایای استفاده از GPS در تهیه نقشه به روش فتوگرامتری

بزرگترین محدودیت روش فتوگرامتری برای بدست آوردن اطلاعات

اگر دستگاه pug خوب کالیبره نشود در هنگام ترانسفر کردن نقاط عکسی (Tie-point and Pass - Point) در موقعیت نقاط خطا ایجاد خواهد شد.

۳) کالیبراسیون دوربین که برای تعیین پارامترهای اعوجاج در دوربینهای فتوگرامتری هوایی بکار می‌رود.

Bains دریافت که گواهی کالیبراسیون جاری USGS⁵ اطلاعات مورد نیاز برای ترکیب GPS با فتوگرامتری را دارا نیست^[5]. در حالی که Merchant گفته بود که سیستم کالیبراسیون برای ترکیب GPS با فتوگرامتری بسیار مهم است^[6].

۴) شاتر دوربین می‌تواند تغییرات تصادفی بزرگی در زمان باز و بسته شدن شاتر داشته باشد. در بسیاری از اوقات منبع این خطا مهم نیست ولی اگر تغییرات غیر منظم و بزرگ باشد کانتراست تصویر کم خواهد شد.

مشکل اصلی این تغییرات غیریکتوخت زمانی است که سعی شود زمان باز و بسته شدن شاتر یا زمان جمع آوری سیگنال GPS همزمان گردد.

۲-۳- منابع خطای GPS:

۱) مشکلات نرم افزاری سبب ایجاد مشکلاتی در کاربرد GPS مخصوصاً در روش کینماتیک خواهد شد. اغلب نرم افزارها نمی‌توانند لغزش فاز را با دقت خوب حل کنند، اگر چه روش جدید On-the-fly برای رفع ابهام در فاز کمک زیادی خواهد کرد. محدودیت دیگر دقت گیرنده‌های مختلف است که در نقشه برداری کینماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای پروژه‌های با دقت بالا باید از گیرنده‌هایی با کیفیت بالا و دقت نسبی ۱ تا ۲ سانتیمتر استفاده کرد.

۲) مشکلات مربوط به مبنای مختصات. GPS در سیستم مختصات WGS84 تعیین موقعیت خواهد کرد در حالی که مختصات نقشه‌ها یا در سیستم مختصات محلی است بادر سیستم مختصات UTM⁶ که بین آنها رابطه ریاضی دقیقی وجود ندارد.

۳) وقفه در سیگنال. این مسئله در پردازش سیگنال GPS بسیار خطرناک خواهد بود اگر برداشتها به صورت کینماتیک ضروری باشد. وقفه در سیگنال GPS ممکن است زمانی اتفاق بیفتد که در طول پرواز هواپیما بچرخد. برای جلوگیری از قطع شدن سیگنال GPS در هنگام دورزدن باید خلبانان از دورزدن سریع خودداری کنند و زاویه دورزدن نباید از حدود ۲۰ درجه فراتر رود.

۴) هندسه و نحوه قرار گرفتن ماهواره‌ها در فضا.

۵) چندگانگی مسیر (Multipath).

۶) خطاهای ساعت ماهواره، خطای مداری، خطای ساعت گیرنده و خطاهای جوی که بسیاری از این خطاها در روش تفاضلی حذف و یا کاهش می‌یابند.

۳-۳- خطای ترکیب دو فن آوری

بعد از بررسی خطاهای هر یک از منابع، خطاهایی که در ترکیب GPS با دوربین فتوگرامتری هوایی اتفاق می‌افتد بررسی خواهد شد. این خطاها توسط Bains در سال ۱۹۹۵ بدینگونه بیان شده‌اند:

۱) ساختار GPS فتوگرامتری به گونه‌ای است که از دو سری داده که از نظر موقعیت فیزیکی در یک موقعیت قرار ندارند استفاده می‌کند. یکی آنتن

توپوگرافی موقعیت نقاطی از سطح زمین، نیاز این روش به نقاط کنترل برای به دست آوردن شش المان توجیه خارجی است. بدست آوردن نقاط کنترل زمینی مورد نیاز به هزینه زیاد و صرف زمان زیادی نیاز دارد. به علاوه در بعضی از موارد امکان گردآوری این نقاط وجود ندارد. Short و Corbett در سال ۱۹۹۵ این موارد را بیان کرده‌اند^[4].

۱- زمان: با توجه به اینکه پدیده‌های سطح زمین با گذشت زمان تغییر می‌کنند، هنگام جمع آوری نقاط کنترل ممکن است عوارض مورد نظر برای نقشه برداری تغییر کرده باشند یا از بین رفته باشند پس گردآوری نقاط مشکل و در بعضی مواقع غیر ممکن می‌گردد و باید بعضی از نقاط طراحی شده حذف گردند در نتیجه حد کار تغییر خواهد کرد و از بعضی مناطق امکان تهیه نقشه وجود نخواهد داشت.

۲- موقعیت: در بعضی از موقعیتها امکان دسترسی و رساندن تدارکات مشکل بوده و این امر محدودتهایی را ایجاد خواهد کرد.

۳- ایمنی: بعضی از پدیده‌ها خطرناک می‌باشند و برای گروه‌های نقشه برداری خطرانی را ایجاد می‌کنند.

۴- هزینه: عامل هزینه حتی ممکن است از انجام پروژه جلوگیری کند و اثرات و مزایای اقتصادی روش فتوگرامتری را خنثی کند.

GPS این فرصت و مجال را به فتوگرامتریست‌ها داد تا با حفظ دقت‌های مورد نیاز تعداد نقاط کنترل مورد نیاز را به حداقل برسانند. Lapine در پروژه NOAA⁴ در تهیه نقشه به روش فتوگرامتری از داده‌های GPS استفاده کرد که این امر باعث شد تعداد نقاط کنترل مورد نیاز به شدت کاهش یابد. امروزه استفاده از داده‌های GPS بسیار متداول گشته است و در رفع بسیاری از مشکلات مفید بوده است. مثلاً دقت مورد نیاز برای ناوبری با استفاده از این تکنولوژی میسر گشته است و باعث کاهش خطرات ترافیکی شده است و همچنین باعث کاهش تعداد نقاط کنترل مورد نیاز برای پروژه‌های فتوگرامتری شده است.

۳- خطاهای موجود در استفاده از GPS در فتوگرامتری

خطاهای استفاده از GPS در فتوگرامتری شامل دو سری منابع خطا و همچنین خطاهایی که در ماهیت ترکیب این دو تکنولوژی وجود دارد خواهد بود. برای یک کار دقیق این خطاها باید بررسی و حذف گردند.

۱-۳- خطاهای فتوگرامتری

این خطاها شامل موارد زیر خواهد بود:

۱) خطاهایی که به نحوه قرار گرفتن تارگتها وابسته هستند. دپازتمان حمل و نقل نگراس مشخص کرده است که خطای ۱ سانتیمتر در قرار دادن مرکز تارگت بر روی نقطه قابل پیش بینی است^[5]. با این فرض که پهنای کراس (Cross) تارگت ۱۰ سانتیمتر باشد. مشکل اصلی این است که مرکز تارگت با دقت خوبی قابل تشخیص نیست.

۲) خطاهای ذاتی که در دستگاه pug (دستگاه مورد استفاده برای پریمک زنی) در هنگام مارک کردن نقاط کنترل روی دیابوزیو وجود دارد.

دوربین دارای این حسن است که می‌تواند مرکز فاز آنتن را دقیقاً در راستای محور نوری دوربین قرار داد که این کار موجب سهولت عمده در اندازه‌گیری و مدلسازی بردار جدایی آنتن - دوربین می‌گردد. اما نهادن آنتن پشت کابین ممکن است با خطراتی مواجه شود که به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- احتمال دریافت سیگنال‌های بازتابیده از بدنه هواپیما به همراه سیگنال اصلی که موجب افت دقت می‌شود.

- احتمال بروز قطع ارتباط (Cycle Slip) در اثر ایجاد سایه توسط بال هواپیما به ویژه در هنگام دور زدن و تغییر جهت که به این مشکل اصطلاحاً بلوکه شدن سیگنال‌های GPS.

$$t=t_1-t_3 \text{ and } i=1,2,\dots,5$$

می‌گویند.

- احتمال بروز تداخل (Interfere) و اغتشاش (Interrupt) در امواج توسط موتور و ملخ هواپیما.

با قرار دادن آنتن روی سکان عقب هواپیما خطر بروز اشکالات نامبرده رفع می‌شود. افزون بر این، در عمل نصب آنتن در محل یاد شده آسان‌تر است چرا که معمولاً در هواپیماها جایی برای یک چراغ چشمک زن در روی سکان عقب پیش بینی شده است که می‌توان از آن برای نصب آنتن استفاده کرد. تنها اشکال در این مورد این است که مسأله تعیین بردار جدایی آنتن - دوربین دشوارتر می‌شود. این بردار را پس از تثبیت مکان دوربین و آنتن باید پیش از پرواز اندازه‌گیری کرد. به علت احتمال تغییر بردار فوق در اثر تکان‌های ناشی از نشست و برخاست هواپیما، لازم است این اندازه‌گیری هر از گاهی تکرار شود.

۲-۴- اتصال دوربین و گیرنده

گیرنده GPS و دوربین هوایی باید به نحوی به هم متصل شوند تا بتوان برخی رویدادها همچون لحظه گشایش درجه دوربین را ثبت و همزمان با داده‌های GPS پردازش کرد. دوربین‌های هوایی جدید مانند Zeiss RMK TOP, LMK2000 و Wild RC30 دارای امکاناتی برای ایجاد پالس خروجی از مرکز تصویر به گیرنده می‌باشند.

این پالس‌ها معمولاً در هر ده نانو ثانیه قابل تکرارند. دوربین‌های قدیمی‌تر را نیز می‌توان با نهادن یک دیود در صفحه تصویر اصلاح کرد تا امکان ارسال چنین پالس‌هایی را پیدا کنند اما باید توجه داشت که قابلیت تکرار آنها به خوبی دوربین‌های مدرن نخواهد بود. در این مورد خطایی به نام تأخیر پالس (Pulse Lag) رخ می‌دهد که باید به عنوان تابعی بر حسب زمان نوردهی در ضمن کالیبراسیون رفع گردد.

گیرنده‌های GPS داده‌ها را در نمونه برداری خود به فرض در فاصله ۱ ثانیه جمع‌آوری می‌کنند ولی زمان عکسبرداری با این فاصله جمع‌آوری برابر نیست لذا برای تعیین مختصات لحظه عکسبرداری باید از الگوریتم انترپولاسیون در مشاهدات GPS طبق معادلات زیر استفاده کرد:

$$X = a_x + b_x t + c_x t^2$$

دوربین که در بیرون و در بالای هواپیما قرار دارد و سیگنال‌های ماهواره‌ها را دریافت می‌کند و دیگری دوربین فتوگرامتری هوایی است که در داخل هواپیما و در کف آن محکم قرار گرفته است. این بردار جدایی آنتن GPS و دوربین (nodal point) باید با دقت خوبی تعیین شود این فاصله قبل از پرواز باید کالیبره شود. این مقادیر در سرشکنی به عنوان مقادیر ثابت معرفی می‌شوند و یاد هر حین سرشکنی سرشکن می‌شوند.

۲) قبل از شروع GPS فتوگرامتری از ارتفاع بین نقطه کنترل زمینی و آنتن باید اندازه‌گیری شود.

۳) شاتر دوربین همانگونه که در بالا اشاره شد ممکن است مشکلاتی را بوجود آورد. این عامل سبب ایجاد خطای bias زمانی شود. البته این مسئله بستگی به قدرت لنتزش شاتر دارد. در بدترین حالت Merchant اشاره می‌کند که این تأخیر زمانی بین Midpoint نوردهی و زمان واقعی نوردهی به ثابته می‌رسد که این مسئله برای مقیاس‌های بزرگ پرواز مشکل جدی محسوب می‌شود [6].

این مسئله با دوربین Wild RC 10 آزمایش شد. با یک مولد بیرونی ضربه‌ای تولید شد که تغییرات زمانی بین ماکزیمم روزنه گشایش و زمان رها شدن شاتر را مشخص کند. دامنه تغییرات بین ۱۰ تا ۱۰۰ میلی ثانیه بود که در طول ۱۰۰ میلی ثانیه حرکت خطایی در حدود ۱ تا ۱۰ متر در موقعیت نقاط ایجاد می‌شود [7].

۴) برای محاسبه مرکز فاز آنتن از یک الگوریتم انترپولاسیون استفاده می‌شود. چون لحظه نوردهی با زمان نمونه برداری گیرنده GPS همزمان نیست باید با یک عمل انترپولاسیون از موقعیت آنتن موقعیت لحظه نوردهی را محاسبه نمود. اختلاف بین خصوصیات این الگوریتمها باعث ایجاد خطا در موقعیت نقاط خواهد شد. با توجه به این مسئله اگر زمان نمونه برداری را زمان کوچکی در نظر بگیریم حجم محاسبات افزایش خواهد یافت و اگر زمان نمونه برداری را افزایش دهیم دقت مدل انترپولاسیون کاهش خواهد یافت.

۵) تداخل امواج رادیویی می‌تواند مشکلاتی را ایجاد کند مخصوصاً برای onboard هواپیما. یک گیرنده می‌تواند از یک فیلتر برای حذف این نویز استفاده کند. یک مثال از این نمونه گیرنده‌ها، گیرنده Trimble 4000SSI می‌باشد که با موفقیت در GPS فتوگرامتری بکار رفته است.

۴- آنتن GPS

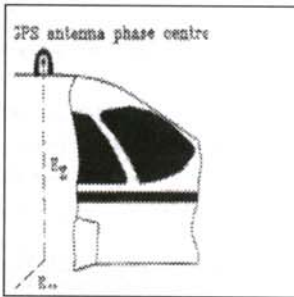
در نصب آنتن GPS روی هواپیما موارد زیر را باید در نظر گرفت تا در ترکیب دو فن آوری به نتایج مطلوب برسیم.

۱-۴- محل نصب آنتن GPS بر روی هواپیما

آنتن GPS باید در جایی از هواپیما نصب گردد که کمترین مانع در سر راه امواج ارسالی از ماهواره وجود داشته باشد. برای این منظور معمولاً دو جا پیشنهاد می‌شود. یکی پشت کابین و دقیقاً بالای دوربین عکسبرداری و دیگری روی سکان عقب، بر دم هواپیما، قرار دادن آنتن درست بالای

به حل ابهام فاز حساس است و عدم دقت در آن منجر به بروز انحراف نتایج می شود از قطع ارتباط های کوتاه مدت می توان گذر کرد و اثر آنها را توسط نرم افزار جبران نمود. اما قطع ارتباط های طولانی که مثلاً توسط بال های هواپیما ایجاد می شود و ممکن است بیش از ده ثانیه طول بکشد غیر قابل اصلاح است. در این مورد چند راهکار مطرح است:

راه حل اصلی این است که با چاره اندیشی و دقت در طراحی پرواز به ویژه نحوه دور زدن هواپیما، احتمال بروز قطع ارتباط به حداقل رسانده شود. به کارگیری گیرنده هائی با بیش از چهار کانال برای انجام مشاهدات اضافی و استفاده از گیرنده های دو فرکانسه و تکنیک on-the-fly از دیگر راه های مطرح می باشد [9].



نگاره (۱) موقعیت آنتن

۴-۵ - محاسبه مختصات موقعیت نقطه نودال (نقطه اصلی)

برای این منظور مدل های مختلفی ارائه شده است که در زیر به دو نمونه اشاره شده است.

۱) در سال ۱۹۹۳ Achermann یک سری معادلات جدید برای معادلات اضافی پیشنهاد کرد که عبارتند از [10]:

$$\begin{bmatrix} X_{AGPS} \\ Y_{AGPS} \\ Z_{AGPS} \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{bmatrix}_i + R_{(p, \omega, \kappa)} \begin{bmatrix} X_{PC}^A \\ Y_{PC}^A \\ Z_{PC}^A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}_i + d_t + \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix}_i$$

که در معادلات بالا

$$(X_A, Y_A, Z_A)_{GPS}$$

مختصات زمینی آنتن GPS برای عکس شماره ۱ می باشد.

$$X_L, Y_L, Z_L$$

مختصات مرکز تصویر برای عکس شماره ۱ می باشد.

$$X_{PC}^A, Y_{PC}^A, Z_{PC}^A$$

مقدار افست آنتن نسبت به دوربین می باشد.

$$a_x, a_y, a_z$$

$$Y = a_y + b_y t + c_y t^2$$

$$Z = a_z + b_z t + c_z t^2$$

در معادلات بالا a : عرض از مبدا و b : سرعت و c : دو برابر شتاب خواهد بود و البته باید به این مسئله توجه کرد که خطای موجود در زمان عکسبرداری باعث تغییر در موقعیت درست لحظه عکسبرداری خواهد شد.

به فرض اگر سرعت هواپیما در حدود ۲۰۰ کیلومتر در ساعت باشد (۵۶ متر در ثانیه) خطایی در حدود یک میلی ثانیه باعث ایجاد خطایی در حدود ۶ سانتیمتر در نتایج خواهد شد. از آنجا که گیرنده هادارای مبنای زمانی بسیار دقیقی است می باشد و بیشتر گیرنده ها امکان برقراری یک اتصال کابلی ساده با دوربین را دارند، بهتر است که زمان رویدادها به جای آنکه در دوربین ثبت شود در گیرنده ذخیره گردد. در زمان عکسبرداری پالس از دوربین به گیرنده فرستاده می شود و زمان رویداد به همراه شناسه (Identifier) در فایل داده های گیرنده ثبت می گردد. همچنین گیرنده GPS می تواند یک سیگنال پالس در ثانیه PPS تولید کند که با آن دوربین عکسبرداری را در زمان فعالیت گیرنده و نزدیکترین زمان به لحظه عکسبرداری به کار اندازد. استفاده از پالس لحظه عکسبرداری برای نشانه گذاری و وقوع یک رویداد، این پرسش را ایجاد می کند که لحظه دقیق عکسبرداری چگونه مشخص می شود. در دوربین های مجهز به سیستم جبران خطای حرکت به جلو FMC^8 ، پالس عکسبرداری زمانی فرستاده می شود که علائم کناری (Fiducial Marks) بر روی تصویر شوند.

۳-۴ - جدایی آنتن - دوربین

در طی پرواز، گیرنده GPS اطلاعات موقعیتی مربوط به آنتن را در لحظه عکسبرداری ثبت می کند. اما مختصات لازم برای سرشکنی دسته پرتو، مختصات مرکز عدسی دوربین است. بنابراین باید بردار جدایی این دو نقطه تعیین شود. اگر آنتن دقیقاً بر فراز دوربین نصب شده باشد بردار جدایی تقریباً تنها شامل یک مولفه قائم می شود. در غیر این صورت، اندازه گیری های پیچیده تری لازم است. جدایی آنتن - دوربین به روش فتوگرامتری برد کوتاه (Close Range) یا میکروژئودزی قابل محاسبه است. با توجه به نگاره (۱) در سازمان نقشه برداری کشور نیز سعی شده که گیرنده بر فراز دوربین نصب گردد. البته با یک اختلاف جزئی که با یک شبکه میکروژئودزی این اختلاف محاسبه شده است در نگاره (۱) این اختلاف جزئی به صورت اغراق شده نشان داده شده است. که نتایج آن بر حسب متر به صورت زیر است:

$$X = -0.010 \pm 0.0005$$

$$Y = 0.0096 \pm 0.0003$$

$$Z = 1.485 \pm 0.0008$$

لازم به توضیح می باشد که دقت مشاهدات طولی ۲ میلی متر، دقت مشاهدات زاویه ای ۷ ثانیه و دقت مشاهدات ارتفاعی ۱ میلی متر بوده است.

۴-۴ - رفع ابهام فاز

روش تعیین موقعیت کینماتیک که در این جا از آن استفاده می شود به شدت

پارامترهای دریفت GPS برای باند شماره ۱ که مقدار ثابتی هستند.

Δt : اختلاف زمانی بین لحظه نوردی برای عکس شماره ۱ از زمان شروع باند t خواهد بود.

پارامترهای دریفت GPS برای باند ۲ که خطی بوده و وابسته به زمان هستند.

$$R(p, \omega, \kappa)$$

ماتریس دوران خواهد بود.

۲) مدل Ebad and Chapman این مدل به صورت زیر خواهد بود [11].

$$\begin{bmatrix} V_{xi} \\ V_{yi} \\ V_{zi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}^{GPS} - \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}^{PC} + M_{\kappa} \Phi_{\omega} \alpha$$

که در معادله بالا $(X_i, Y_i, Z_i)^{PC}$

مختصات لحظه نوردی مرکز تصویر می باشد.

$$(X_i, Y_i, Z_i)^{GPS}$$

مختصات مرکز فاز آنتن GPS می باشد.

α : بردار جدایی مرکز فاز از مرکز تصویر می باشد.

M: ماتریس دوران خواهد بود.

و نهایتاً فرمولی که برای مثلث بندی مورد استفاده قرار خواهد گرفت عبارت خواهد بود از:

$$X_{ij} + V_{xij} = X_0 \cdot C \frac{m_{11}(X_i - X_j) + m_{12}(Y_i - Y_j) + m_{13}(Z_i - Z_j)}{m_{31}(X_i - X_j) + m_{32}(Y_i - Y_j) + m_{33}(Z_i - Z_j)}$$

$$Y_{ij} + V_{yij} = Y_0 \cdot C \frac{m_{21}(X_i - X_j) + m_{22}(Y_i - Y_j) + m_{23}(Z_i - Z_j)}{m_{31}(X_i - X_j) + m_{32}(Y_i - Y_j) + m_{33}(Z_i - Z_j)}$$

که در فرمول بالا

X, Y, Z : مختصات زمینی نقطه ۱ خواهد بود.

$$(X_1, Y_1, Z_1)$$

مختصات مرکز تصویر در لحظه نوردی برای عکس t خواهد بود.

$$m_{11} \dots m_{33}$$

آرایه های ماتریس دوران خواهد بود.

۵- طراحی پرواز برای عکسبرداری

کلید موفقیت در عملیات فتوگرامتری دقت در طراحی است. طراحی پرواز باید به گونه ای باشد که در زمان پرواز حداقل پنج یا شش ماهواره در دید باشند. اندازه گیری فاز موج حامل از یک ماهواره GPS امکان ردیابی تغییرات رخ داده میان ماهواره و آنتن گیرنده را فراهم می سازد. دقت این کار به پهنای باند چرخه ردیابی فاز (Phase Tracking Loop) گیرنده بستگی دارد. البته برای افزایش تسهیلات و قابلیت های GPS برای تعیین موقعیت و حل سریعتر ابهام در فاز، سیگنال جدید L5 برای نسل بعدی ماهواره های GPS پیش بینی شده است که از سال ۲۰۰۶ قابل دریافت خواهد بود. پارامترهای فرکانس، پهنای باند، ساختار کد، نرخ ارسال، نحوه مدولاسیون و قدرت دریافت شونده L5 نسبت به L1 و L2 بهبود خواهد یافت. برخی از

ویژگی های سیگنال L5 عبارت است از:

● حفاظت شده و ایمن در برابر اغتشاشات.

● مستقل از L1 و L2

● باعث ایجاد افزونگی و در نتیجه اعتماد پذیری بهتر

● پهنای باند ۲۰ مگاهرتز برای دستیابی به دقت مطلوب در حضور نویز و

با وجود پدیده چند مسیری

● قدرت بیشتر برای غلبه بر موضوع تداخل امواج

به طور خلاصه می توان گفت که با ارائه L5 که دوره تناوب طولانی تری دارد

امکانات بیشتر و دقیق تری برای تعیین موقعیت فراهم خواهد شد. موقعیت

گیرنده مینا را باید با دقت طراحی کرد تا کمترین احتمال رخ دادن قطع

ارتباط و چند مسیری وجود داشته باشد. برای کاهش اثر نویز ناشی از جو،

لازم است تنها موقعی از ماهواره اطلاعات گرفته شود که ارتفاع آن نسبت به

افق بیش از ۱۵ درجه باشد. برای این منظور می توان حداقل زاویه ارتفاعی

ماهواره ها را به صورت سخت افزاری یا نرم افزاری تغییر داد. استفاده از

ماهواره های با زاویه ارتفاعی کمتر از ۱۵ درجه تنها برای پرهیز از وقوع قطع

ارتباط توصیه می شود. داده های GPS را باید با نرخ متناسب با دقت

عملیات فتوگرامتری ثبت نمود. معمولاً نرخ نیم ثانیه یا یک ثانیه کافی است.

گیرنده هایی که در کارهای فتوگرامتری به کار می روند معمولاً دارای

کارکردی بیشتر از ۱ Hz می باشند. گیرنده مینا و گیرنده هواپیما باید به طور

همزمان آغاز به کار کنند زیرا اگر داده های موج حامل به طور پیوسته در حال

جمع آوری باشند تنها آن داده هایی که به طور همزمان ثبت شده اند را

می توان به دو صورت تفاضلی تصحیح کرد. برای پرهیز از قطع ارتباط در

هنگام دور زدن در انتهای هر نوار پروازی، زاویه میل هواپیما نباید از ۲۵

درجه در گذرد. از ایسترو، شایسته است در مرحله طراحی پرواز،

چرخش های آرام و ملایمی برای هواپیما در نظر گرفته شود.

تجربه های انجام شده نشان داده اند که به صلاح است در مرحله گردآوری

داده های پروازی، همواره نگرانی از گروه کاری بر روی زمین منظم حضور

داشته باشند. چرا که ممکن است در حین عملیات تصمیم های فوری گرفته

شود که تنها با حضور در محل قابل اجرا باشند. لازم است داده ها بلافاصله

وارد یک کامپیوتر شود و از نظر بروز قطع ارتباط با ماهواره بررسی گردد تا

موفقیت آمیز بودن عملیات مشخص شود. نرم افزار پس پردازش (Post

Processing) لازم است دارای امکاناتی باشد تا داده های GPS را از حیث

وجود قطع ارتباط جستجو کند. استفاده از سیستم مدیریت پرواز مبتنی بر

GPS به کادر پرواز این امکان را می دهد که بلافاصله پس از عملیات

پوشش های عکس را ارزیابی نمایند.

۶- نحوه طراحی بلوکهای فتوگرامتری در حالت استفاده از GPS:

با توجه به این مسئله که اغلب بلوکهای فتوگرامتری به صورت مستطیل

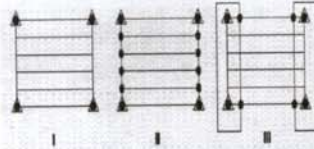
می باشند سه حالت زیر برای ساختار این بلوکها می توان در نظر گرفت. در

حالت اول در هر گوشه یک نقطه کنترل ارتفاعی - مسطحاتی طراحی می شود.

حالت دوم در گوشه ها نقطه کنترل ارتفاعی - منطحاتی و در هر طرف بلوک

زنجیره از ارتفاعی طراحی می شود. حالت سوم در گوشه ها نقطه کنترل ارتفاعی -

مسطحاتی به همراه یک نقطه ارتفاعی طراحی می شود و در هر طرف بلوک یک نوار متقاطع (cross) پرواز می شود. نگاره (۲) این حالت را نشان می دهد.



نگاره (۲) ساختار بلوک فتوگرامتری در سه حالت گفته شده

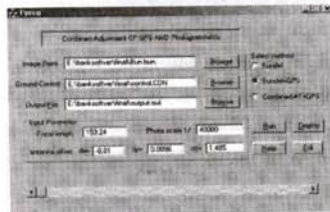
۷- نتایج
۷-۱- نتایج مدل مستقل
نتایج سرشکنی بلوک فوق به روش مدل مستقل و باندل GPS در حالت دوم و سوم در جدول شماره (۱) آمده است:

جدول (۱) مقدار خطاهای روی نقاط کنترل ارتفاعی - مسطحاتی و نقاط گرهی در روشهای مختلف

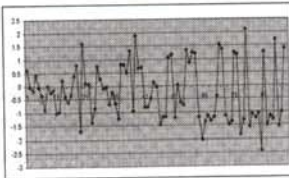
ماکزیم خطای نقاط سرشکنی			ماکزیم خطای نقاط چک مسطحاتی و ارتفاعی (متر)			نوع سرشکنی
X	Y	Z	X	Y	Z	
۲/۶۹	۱/۰۷	۲/۴۰	۲	۲	۲/۴۳	مدل مستقل
۴/۸	۴/۰۷	۵/۳	۴	۴	۵	باندل GPS حالت ۲
۳/۰۹	۳/۰۷	۳/۳	۳	۳	۲/۸	باندل GPS حالت ۳

مبنای بررسی سرشکنی بلوک فوق به روش باندل و باندل GPS مدل مستقل خواهد بود که برای حالت مدل مستقل در شکل چهار و پنج نتایج سرشکنی برای نقاط کنترل ارتفاعی و مسطحاتی آمده است و نتایج نشان می دهد که برای مقیاس مورد نظر با دقت مورد قبول بلوک سرشکن شده است.

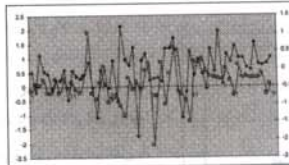
برای تست حالتهای فوق، برنامه ای به زبان Visual C++ تهیه گردید و نتایج آن با خروجی مدل مستقل که به اندازه کافی نقطه کنترل داشت تست گردید که در ادامه نتایج خواهد آمد. نگاره (۳) نمای کلی برنامه را نشان می دهد.



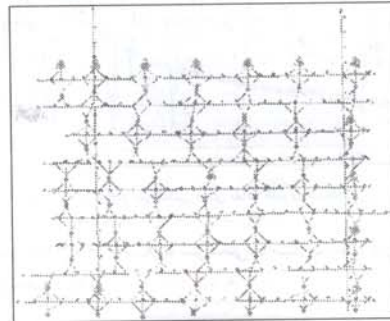
نگاره (۳) نمای کلی برنامه



نگاره (۵): نتایج سرشکنی برای نقاط کنترل ارتفاعی



نگاره (۶): نتایج سرشکنی برای نقاط کنترل مسطحاتی

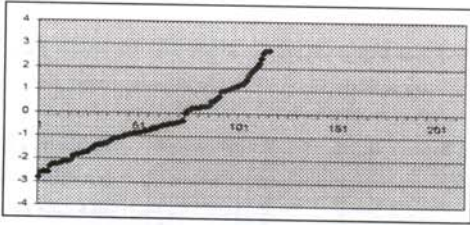


نگاره (۴) نمای بلوک ۲۲

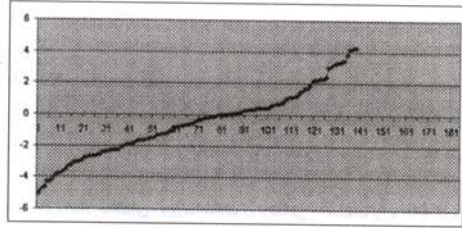
۷-۲- نتایج باندل GPS در حالت دوم
برای حالت اول چون داده ای در اختیار نبود امکان تست مورد نظر مقدور نگردید. نتایج حالت دوم (در گوشه ها نقطه کنترل ارتفاعی - مسطحاتی و در هر طرف بلوک زنجیره ارتفاعی طراحی می شود) در شکل شش و هفت نتایج سرشکنی برای این حالت برای نقاط کنترل ارتفاعی و مسطحاتی آمده است و شکل های هشت، نه و ده اختلاف سرشکنی با مدل مستقل روی نقاط عکسی را نشان می دهد. ذکر این نکته ضروری است که بیشترین خطا در نقاط ارتفاعی در حدود ۵ متر و برای نقاط مسطحاتی در حدود ۴ متر برای X و ۴ متر برای Y می باشد.

منطقه تست قسمتی از بلوک ۱/۲۵۰۰۰ صائین دژ (بلوک ۲۲) در نظر گرفته شد که پرواز آن با دوربین به فاصله کانونی ۱۵۳.۲۴ میلیمتر بود و قبلاً به صورت مدل مستقل محاسبه شده بود و نتایج آن در دسترس بود. نگاره (۴) نمای بلوک ۲۲ را نشان می دهد.

لازم به یادآوری است که نقاط کنترل عکسی با دقت ۱۰ میکرون با سیستم تبدیل تحلیلی DSR14 قرائت شده و وارد محاسبات شده است همچنین دقت نقاط کنترل زمینی در حدود ۱۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. این نقاط به طریق استاتیکی و با گیرنده های GPS مشاهده شده اند. دقت مشاهدات GPS ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است.

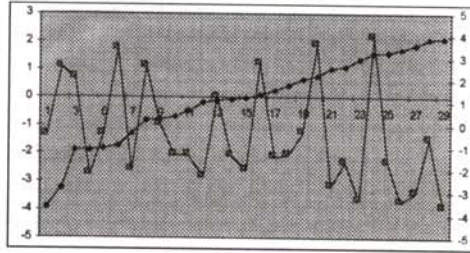


نگاره (۱۲): نتایج سرشکنی برای نقاط کنترل ارتفاعی

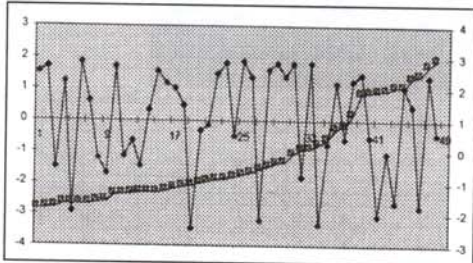


نگاره (۷): نتایج سرشکنی برای نقاط کنترل ارتفاعی

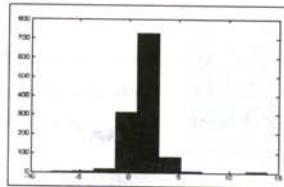
۳-۷- نتایج باندل GPS در حالت سوم
 نتایج حالت سوم (در گوشه‌ها نقطه کنترل ارتفاعی - مسطحاتی به همراه یک نقطه ارتفاعی طراحی می‌شود و در هر طرف بلوک یک نوار متقاطع (cross) پرواز می‌شود) در نگاره‌های (۱۲) و (۱۳) نتایج سرشکنی برای این حالت برای نقاط کنترل ارتفاعی و مسطحاتی آمده است. ذکر این نکته ضروری است که بیشترین خطا در نقاط ارتفاعی در حدود ۲/۸ متر و برای نقاط مسطحاتی در حدود ۳ برابری x و ۳ متر برای y می‌باشد.



نگاره (۸): نتایج سرشکنی برای نقاط کنترل مسطحاتی

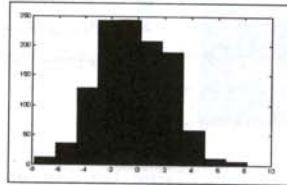


نگاره (۱۳): نتایج سرشکنی برای نقاط کنترل مسطحاتی

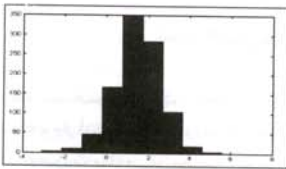


نگاره (۹): اختلاف سرشکنی مدل مستقل با حالت دوم روی مقادیر خطای X

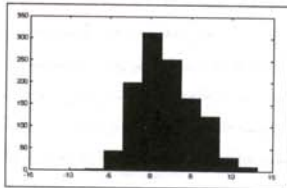
و نگاره‌های (۱۴) تا (۱۶) اختلاف سرشکنی با مدل مستقل روی نقاط عکسی را نشان می‌دهد.



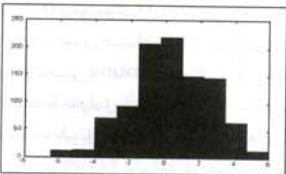
نگاره (۱۰): اختلاف سرشکنی مدل مستقل با حالت دوم روی مقادیر خطای Y



نگاره (۱۴): اختلاف سرشکنی مدل مستقل با حالت سوم روی مقادیر خطای Z



نگاره (۱۱): اختلاف سرشکنی مدل مستقل با حالت دوم روی مقادیر خطای Z



نگاره (۱۵): اختلاف سرشکنی مدل مستقل با حالت سوم روی مقادیر خطای Z

ACSM / ASPRS Annual Convention and Exposition Technical Papers, Vol. 2, February 27-March 2, pp 31-42.

6- Merchant, D.C. 1992. "GPS-Controlled Aerial Photogrammetry", ASPRS/ACSM/RT92 Technical Papers, Col.2, Washington, D.C., August 3-8, pp 76-85.

7- Van der Vegt, 1989. "Differential GPS: Efficient Tool in Photogrammetry", Surveying Engineering 115(3):285-296.

8- Lapine, L.A., 1991. "Analytical Calibration of the Airborne Photogrammetric System Using A Priori Knowledge of the Exposure Station Obtained from Kinematic Global Positioning System Techniques", Department of Geodetic Science and Survey Report No 411, The Ohio State University, Columbus, OH, 188p.

9- Habib A. and K. Novak, 1994. "GPS Controlled Aerial Triangulation of Single Flight Lines", Proceedings of ASPRS/ACSM Annual Convention and Exposition, Vol 1, Reno, NV, April 25-28, pp 225-235; also, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 30, Part 2, Ottawa, Canada, June 6-10, pp 203-210.

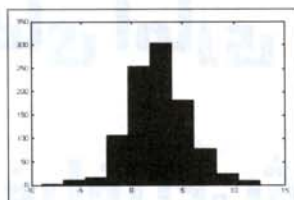
10- Ackermann, F., 1993. "GPS for Photogrammetry", The Photogrammetric Journal of Finland, 13(20) : 7-15.

11- Ebadi, H. and M.A. Chapman, 1995, "An Experience on GPS Assisted Aerotriangulation, Proceedings of the 7th International Conference on Geomatics, June 13-15, Ottawa.

۱۲- مجموعه دستورالعمل‌های تهیه و مثلث بندی و محاسبات، نگارش ا. مدیریت نقشه برداری هوایی مرداد ۱۳۷۶

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Global Positioning System
- 2- Inertial Navigation System
- 3- On The Fly
- 4- National Oceanic and Atmospheric Administration
- 5- US Geological Survey
- 6- Universal Transverse Mercator
- 7- Puls Per Second
- 8- Forward Motion Compensation



نگاره (۱۶): اختلاف سرشکنی مدل مستقل با حالت سوم روی مفادیر خطای z

۸- ارزیابی نتایج به دست آمده

اولاً در حالتی که از دو نوار متقاطع یکی در ابتدا و دیگری در انتها استفاده می‌کنیم، به دقت‌های بهتری خواهیم رسید در مقایسه با حالتی که فقط چهار نقطه در گوشه‌ها داریم و این اختلاف در ارتفاع بیشتر خود را نشان می‌دهد و این به خاطر این است که دو نوار متقاطع در واقع باعث می‌شوند که نوارها به هم و به زمین بهتر منطبق شوند.

- به نظر می‌رسد که به جای اینکه از یک نقطه در هر گوشه استفاده شود بهتر است در هر گوشه چهار نقطه کنترل مسطحانی - ارتفاعی در نظر گرفته شود و در هنگام محاسبات بهترین ترکیب این نقاط در محاسبات وارد شود.

- سرشکنی دسته اشعه به شدت به ورودی مختصات دستگاهی و در نتیجه به دقت قرائت دستگاهی حساس است و در این زمینه بهتر است از دستگاه‌های دقیق برای علامت‌گذاری و همچنین برای قرائت استفاده کرد.

- وقتی صحبت از مزایای اقتصادی طرح می‌شود استفاده از GPS بسیار مطلوب خواهد بود و همچنین باید این مسئله را در نظر گرفت که حذف عملیات زمینی بخصوص در مناطقی که امکان عملیات زمینی مشکل می‌باشد از مزایای دیگر استفاده از GPS در محاسبات فتوگرامتری خواهد بود.

منابع

- 1- Salsig, G. and T. Grissim, 1995. "GPS in Aerial Mapping", Proceedings of Trimble Surveying and Mapping Users Conference, Santa Clara, CA, August 9-11, pp 48-53.
- 2- Eij Honkavaara, Calibration in Direct Georeferencing, Theoretical Consideration and Practical Results, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, November 2004.
- 3- Dorota Grejner - Brzezinska, Charles Toth, and Yudan Yi, On Improving Navigation Accuracy of GPS/INS Systems, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 71, No. 4, April 2005, pp.337-389.
- 4- Corbett, S.J. and T.M. Short, 1995. "Development of an Airborne Positioning System," Photogrammetric Record. 15 (85): 3-15.
- 5- Bain H.S., 1995. "Airborne GPS Performance on a Texas Project",