بررسی کیفیت پارامترهای مشاهداتی IMU و تعیین مقدار دریفت آن

مهندس هادی باباپور　　مهندس احمد جواهری　　دکتر علی محمدپور

چکیده

با توجه به تحریم‌های موجود در خصوص بکارگیری تکنولوژی‌های جدید در زمینه فتوگرامتری و سنجش از دور و با عنایت به این که سازمان جغرافیایی دارای یکی از پیشرفته‌ترین دوربین‌های رقومی در عرصه جهانی می‌باشد، اهمیت بومی‌سازی در عرصه تولید و خودکفایی بیش از پیش احساس می‌شود.

نصب دوربین رقومی برروی هواپیما از جمله مشکلاتی بود که خوشبختانه توسط کارشناسان سازمان جغرافیایی محقق گردید. در مرحله بعد پارامترهای وضعیت (پارامترهای انتقال و دوران) دوربین عکسبرداری رقومی نسبت به دو سیستم GPS و INS بایستی تعیین می‌گردید. از این رو با طراحی نقاط کنترل و خطوط پروازی مناسب برروی یک منطقه آزمایشی، اولین تصاویر رقومی اخذ گردید.

در نهایت مقدار پارامتر دوران (Bore sight)، مقدار شیفت (GPS Drift) و نیز تأثیر معادلات (Self Calibration)[1] در نتایج نهایی و تعیین مقادیر پارامترهای اضافه، مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: دوربین رقومی،
Self Calibration - GPS Drift -Bore sight- Ultra CamD

۱ – مقدمه

تعیین پارامترهای توجیه خارجی در لحظه عکسبرداری هوایی از قدیم‌الایام یکی از تلاشهای دائمی طراحان و سازندگان وسائل عکسبرداری هوایی است [۳]. دو نمونه از این وسایل قدیمی عبارتنداز:

– پریسکوپ خورشیدی که در کارخانه‌های ایتالیایی به همراه دوربین عکسبرداری هوایی مورد استفاده قرار می‌گرفت. در این وسیله، دوربین دیگری دقیقاً بالای دوربین اصلی عکسبرداری هوایی در هواپیما نصب می‌گردید که از طریق سوراخی که در سقف هواپیما ایجاد شده بود در لحظه عکسبرداری هوایی از خورشید عکسبرداری می‌کرد. ثبت دقیق زمان و اندازه‌گیری موقعیت خورشید در عکس گرفته شده می‌توانست عناصر دورانی عکس هوایی را تعیین نماید [۳].

– عکسبرداری همزمان از افق در لحظه عکسبرداری هوایی، که بیشتر در کشورهای شمال اروپا بکار برده شده است. در حقیقت دو عکس همزمان از دو جهت عمود بر هم از افق اخذ می‌نمود. روشن است که اگر هواپیما در هر یک از جهات Y, X تیلت داشته باشد، افق موازی لبه‌های چارچوب عکس نبوده و مقدار دوران آن نسبت به خط لبه عکس تابعی از دوران خواهد بود [۳].

در مأموریتهای پرواز عکسبرداری هوایی مدرن دو هدف عمده مورد نظر است.

– ناوبری دقیق هواپیما در امتداد محور پرواز از قبل طراحی شده.

– ضبط پارامترهای پرواز از قبیل وضعیت هواپیما در لحظه عکسبرداری و ضبط مختصات لحظه‌ای هواپیما به منظور انجام محاسبات بعدی و تعیین دقیق‌تر پارامترها به منظور کاربرد آن به صورت اطلاعات کمکی در محاسبات بلوک اجسمنت.

در مورد دسترسی به هدف دوم لازم است کلیه اطلاعات مربوط به پارامترهای پرواز در هنگام اجرای مأموریت پروازی ضبط گردد تا بعداًبتوان در فرصت مناسب محاسبات دقیق‌تری برروی اطلاعات ضبط شده انجام داد.

هدف از این محاسبات این است که بتوان:

– مختصات هواپیما را در لحظه عکسبرداری دقیقاً تعیین نمود[۲].

– وضعیت هواپیما و در نتیجه دوربین عکسبرداری هوایی را از جهت دَوَرانها دقیقاً مشخص کرد.

به منظور استفاده از موقعیت و وضعیت تعیین شده توسط GPS & INS در سرشکنی بلوک، ابتدا باید وسایل جمع‌آوری داده و دوربینی که قادر به جمع‌آوری داده‌های مناسب است به طور دقیق ترکیب شده باشند. موقعیت آنتن GPS روی هواپیما، اولین مسئله قابل توجه در هنگام نصب برروی هواپیما می‌باشد. فاصلهٔ بین آنتن و نقطهٔ نودال خروجی دوربین که به عنوان آفست است باید در حل مسئله لحاظ گردد. یک روش استاندارد این است که آنتن به طور کامل روی دوربین نصب شود. این مسئله اگرچه باعث کم شدن فاصله می‌شود، ولی فاصله افق بین آنتن و دوربین را حذف

نـمی‌کند. فـاصلهٔ بـین آنـتن و دوربـین، مـعمولاً بـه عـنوان یک پـارامـتر در سرشکنی در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق نیز محاسبه این آفستها مورد نظر می‌باشد، که در ادامه مراحل اجرایی پروژه به صورت اجـمالی تـوضیح داده می‌شود [۴].

۲- طراحی نقاط کنترل و مسیر پروازی

در منطقه آزمایشی[۲] که دارای عوارض شهری، دشت و کـوهستان بـود، مسیر پرواز به صورت ۴ نوار پرواز طولی و ۳ نوار پرواز عرضی[۳] که هر نوار ۲۱ تصویر با پوشش طولی ۸۰٪ و پوشش عرضی ۶۰٪ بود، طراحی گردید. [۱]

مشخصات فنی پروژه	
نام منطقه	تهران - کرج
نوع دوربین	رقومی - Ultra CamD
فاصله کانونی دوربین	۱۰۱/۴ میلیمتر
اندازه پیکسل	۹ میکرون
ارتفاع پرواز از سطح منطقه	۸۰۰ متر
مقیاس عکسبرداری	۱/۸۰۰۰
میزان پوشش طولی	٪۸۰
میزان پوشش عرضی	٪۶۰
تعداد نوارهای پروازی	۴ نوار پرواز طولی و ۳ نوارپروازی‌عرضی

۳- طراحی نقاط کنترل و مسیر پروازی

در منطقه آزمایشی که دارای عوارض شهری، دشت و کـوهستانی بـود، مسیر پرواز به صورت ۴ نوار پرواز طولی و ۳ نوار پروازی عرضی کـه هـر نوار ۲۱ تصویر با پوشش طولی ۸۰٪ و پوشش عرضی ۶۰٪ بـود، طـراحـی گردید [۱]. با توجه به این که نقطه کنترل زمینی در منطقه مذکور بایستی بـا عـلائم خـاصی مشـخص مـی‌گردیدند، از ایـن رو ۱۳ نـقطه کـنترل زمـینی پنل‌گذاری شده در چهار گوشه بلوک عکسی طـراحـی و سـپس بـه مـنظور تعیین مختصات زمینی جهت انجام عملیات صحرایـی بـه بـخش ژئـودزی ارجاع داده شد.

پس از تعیین مختصات نقاط کـنترل زمـینی، ایـن اطـلاعات بـه هـمراه تصاویر و مختصات مراکز تصویر وارد سیستم مثلث‌بندی گردید. سپس ۹ نقطه کنترل زمینی برای انـجام مـرحـله مـثلث بـندی وارد مـعادلات بـاندل اجسمنت گردید و ۴ نقطه کنترل نیز به عنوان نقطه چک در نظر گرفته شد.

برای دستیابی به بالاترین و قابل اطمینان‌ترین نتایج، تستهای مختلفی به شرح زیر صورت پذیرفت:

۱- مـحاسبه مـقدار پـارامـتر دوران (Bore Sight) بـین INS و دوربـین عکسبرداری دیجیتال.

۲- محاسبه مقدار شیب (GPS Drift) بـین GPS و دوربـین عکسـبرداری دیجیتال.

۳- تعیین دقت نقاط کنترل زمینی، INS و GPS مراکز تصویر.

۴- تغییر در وزن نقاط کنترل زمینی به منظور دستیابی به وزن بهینه.

۵- تغییر در وزن مربوط به مراکز تصویر به منظور دستیابی به وزن بهینه.

۶- تغییر در وزن مربوط به زوایای اندازه‌گیری شده توسط INS به مـنظور دستیابی به وزن بهینه.

۷- تأثیر و نقش مـعادلات (Self Calibration) در نـتایج نـهایی و تـعیین مقادیر پارامترهای اضافه.

۸- تغییر در تعداد تصاویر به‌کار برده شده و مقایسه از نظر دقت و زمان.

در ادامه نتایج هر یک از تستها به تفکیک آورده شده است.

۴- تعیین مقدار شیفت و دوران بین دوربین عکسبرداری و GPS & INS

تجارب متعددی در گذشته با به‌کار بردن سیستمهای ناوبری اینرشیال، برای کاربردهای فتوگرامتری حاصل شده، اما INS به طور گسترده بـه کـار برده نشده است. ترکیب اطلاعات INS و GPS از مزایای بیشتری نسبت به حالتی که از هر یک از این سیستم‌ها به طور جداگانه استفاده شود برخوردار است. چون INS موقعیت را به طور پیوسته نسبت به GPS که موقعیت را در فواصل گسسته می‌دهد، ارائه می‌کند. لذا INS می‌تواند برای کاهش خطاهای اتفاقی بزرگ به‌کار رود. INS به عنوان یک سیستم پشتیبان رفتار می‌کند در حالی که سیگنال ماهواره به علت حرکت هواپیما از دست داده می‌شود و این به دلیل این است که دریفت[۴] آن برای یک دورهٔ زمانی کـوتاه مـؤثر نـبوده است. INS می‌تواند داده‌های توجیه را همراه با موقعیت بدهد که به عـنوان اطلاعات اضافه می‌تواند در سرشکنی به‌کار برده شود. از این رو تعیین دقیق این پارامترها از اهمیت زیادی در سرشکنی بلوک برخوردار است [۴].

۴-۱- محاسبه مقدار پارامـتر دوران (Bore sight) بـین INS و دوربین عکسبرداری دیجیتال

برای تـعیین مـقدار پـارامـتر دوران بـین INS و دوربـین عکسـبرداری

چندین بار مثلث‌بندی صورت گرفت و از میانگین مقادیر به دست آمده مقدار پارامتر دوران Bore sight استخراج شد. از آنجایی که نرم‌افزار مثلث‌بندی قادر به اعمال اتوماتیک این تصحیح نمی‌باشد مقدار فوق بایستی در مرحله آماده‌سازی نقاط مراکز تصویر برای ورود به مثلث‌بندی وارد محاسبات گردد.

Determined bore sight angles INS in [deg]:
omega + 0.0055 phi -0.0050
kappa -0.9595

۴-۲- محاسبه مقدار شیفت (GPS Drift) بین GPS و دوربین عکسبرداری دیجیتال

بعد از علامتگذاری صحیح نقاط کنترل زمینی در گوشه‌های بلوک، چندین بار مثلث‌بندی به منظور تعیین مقدار شیفت موجود بین GPS ودوربین عکسبرداری انجام شد. در ابتدا انتظار بر این بود که نرم افزار مثلث‌بندی یک مقدار مشخص برای پارامتر GPS Drift ارائه دهد، در حالی که بعد از مطالعه Help نرم‌افزار معلوم شد که این نرم‌افزار برای هر خط پرواز[۵] به صورت جداگانه عددی را به عنوان شیفت GPS Drift معرفی می‌نماید [۵]. البته با توجه به مطالب موجود، اگر مقدار GPS Drift به صورت دقیق برای هر استریپ وجود نداشته باشد، این نرم‌افزار به صورت اتوماتیک قادر به اعمال این تصحیحات است.

از آنجایی که امکان محاسبه GPS Drift برای هر استریپ به صورت جداگانه و اعمال آن منطقی نیست، لذا پیشنهاد می‌شود اعمال این شیفت در قسمت مثلث‌بندی توسط نرم‌افزار مربوطه صورت پذیرد.

در نهایت می‌توان یک مقدار میانگین به عنوان GPS Drift در نظر گرفته شود که به صورت ۱۰۰٪ برای تمامی استریپها قابل اطمینان نمی‌باشد:

GPS drift parameter linear part in [meter]
X 0.228 Y 0.111 Z -0.164

۵- تعیین دقت نقاط کنترل زمینی، INS و GPS مراکز تصویر

دقت نقاط کنترل زمینی و مراکز تصویر بعد از سرشکنی به مقدار وزن ورودی اولیه این دو پارامتر وابسته است. در نهایت میانگین نتایج حاصل از مثلث‌بندی (بعداز سرشکنی) به قرار زیر است:

Mean standard deviations of terrain points
x 0.029 [meter]
y 0.030 [meter]
z 0.129 [meter]
RMS GPS Observations
x 0.189 [meter]
y 0.149 [meter]
z 0.166 [meter]
RMS INS observations
omega 0.255 [deg]
phi 0.035 [deg]
Kappa 1.174 [deg]

۶- تعیین وزن برای مشاهدات جهت مثلث‌بندی بهینه

با توجه به این که در انجام مرحله مثلث‌بندی از مشاهدات مختلفی استفاده می‌شود تعیین وزن برای داده‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به مطالعات انجام شده و پروژه‌های متنوع اجرایی جهت تعیین وزن صحیح ورودی، تستهای متفاوتی انجام شد، تا وزن صحیح و به دور از اغراق در محاسبات مثلث‌بندی وارد گردد.

۶-۱- تغییر در وزن نقاط کنترل زمینی به منظور دستیابی به وزن بهینه

به منظور دستیابی به وزن بهینه، تستهای مختلفی با تغییر در دقت نقاط کنترل زمینی (۱ سانتیمتر، ۵ سانتیمتر و ۱۰ سانتیمتر) انجام شد که بهترین نتایج، مربوط به حالتی بود که دقت نقاط کنترل مسطحاتی (X,Y) ۵ سانتی‌متر و ارتفاعی (Z) ۱۵ سانتی‌متر معرفی شده بود.

$$\delta_{X,Y} = 0.05m$$
$$\delta_{Z} = 0.15m$$

۶-۲- تغییر در وزن مربوط به مراکز تصویر به منظور دستیابی به وزن بهینه

به منظور دستیابی به وزن بهینه تستهای مختلفی با تغییر در دقت مختصات مراکز تصویر (۵ سانتی‌متر، ۱۰ سانتی‌متر و ۲۰ سانتی‌متر) انجام شد که بهترین نتایج مربوط به حالتی بود که دقت مراکز تصویر از نظر مسطحاتی (X,Y) ۲۰ سانتی‌متر و از نظر ارتفاعی (Z) ۳۰ سانتی‌متر معرفی شده بود.

$$\sigma_{x,y} = 0.20m$$
$$\sigma_{z} = 0.30m$$

۶-۳- تغییر در وزن مربوط به زوایای اندازه‌گیری شده توسط INS به منظور دستیابی به وزن بهینه

به منظور دستیابی به وزن بهینه تستهای مختلفی با ایجاد تغییر در دقت زوایای اندازه‌گیری شده توسط INS (۰/۰۱ درجه، ۰/۰۵ درجه و ۰/۱ درجه) انجام شد. که بهترین نتایج مربوط به حالتی بود که دقت زاویه‌ای ۰/۰۵ درجه معرفی شده بود.

$$\delta_{\omega,\varphi,\Omega} = 0.05deg$$

۷- تاثیر و نقش معادلات (Self Calibration) در نتایج نهایی و تعیین مقادیر پارامترهای اضافی

هر چند می‌توان در مرحله مثلث‌بندی مقادیر پارامترهای سلف کالیبراسیون را محاسبه نمود، ولی دوربین دیجیتال قادر است پارامترهای

اضافه را در یک حال خود کالیبراسیون به تصاویر اعمال کند، بنابراین نیازی به محاسبه این پارامترها در مرحله مثلث‌بندی وجود ندارد. البته محاسبه این مقادیر برروی دقت و زمان محاسبه تأثیر چشمگیری ندارد و می‌توان از این مرحله در هنگام مثلث‌بندی صرف‌نظر نمود.

۸- تغییر در تعداد تصاویر به کار برده شده و مقایسه از نظر دقت و زمان

با توجه به این که این تست در دو مرحله با تغییر در تعداد تصاویر انجام شد (تست اول ۴۲ تصویر و تست دوم ۸۴ تصویر)، نتایج به قرار زیر است:

۱- با افزایش تعداد تصاویر در دقت نهایی تغییرات جزئی ایجاد می‌شود، در حقیقت انتظار می‌رود با افزایش هر تعداد تصویر باز بتوان به دقتهای زیر ۱۰ سانتی‌متر رسید.

۲- مدت پردازش داده‌ها به دلیل استفاده کردن از مراکز تصویر و تعداد نقاط کنترل زمینی محدود بسیار زیاد است. به عنوان مثال برای یک بلوک ۴۲ عکسی با سیستم رایانه‌ایی (Dell Workstation, CPU 3.6GHZ, RAM 2 Gb) حدود ۳ ساعت و برای یک بلوک ۸۴ عکسی حدود ۷ ساعت وقت لازم است تا مثلث‌بندی انجام شود (در صورت درست بودن مکان نقاط کنترل). پیشنهاد می‌گردد، با افزایش تعداد سیستم کامپیوتر و ارتقاء سطح آنها در جهت کاهش زمان پردازش و تسریع کلیه مراحل مثلث‌بندی مبادرت ورزیم.

۹- نتیجه گیری

۹-۱- اولین نکته‌ایی که به صورت محسوس در تمامی مراحل تست تأثیرگذار بود نحوه انتخاب مکان نقاط کنترل زمینی و چگونگی تعیین آن است. در این تحقیق معلوم شد که بدون نقاط کنترل زمینی یعنی تنها با استفاده از مراکز تصویر نمی‌توان کار مثلث‌بندی را انجام داد. این امر مبین این نیست که این کار غیرقابل اجرا است بلکه نرم‌افزار مربوطه برای انجام مراحل مثلث‌بندی نیاز به نقاط کنترل زمینی دارد ولی به صورت تئوری می‌بایست بدون نقاط کنترل زمینی این امر با داشتن مراکز تصویر محقق گردد. البته بایستی خاطر نشان نمود که تعداد نقاط کنترل مورد استفاده در این حالت (پارامترهای ترفیع فضایی معلوم) نسبت به حالت سنتی ۸۰٪ کاهش می‌یابد.

۹-۲- با توجه به مقیاس عکسبرداری ومقیاس نقشه نهایی، می‌بایست دقت حاصل از مثلث‌بندی در حد زیر ۱۰ سانتیمتر باشد. از این رو نیاز به داشتن نقاط کنترل در حد سانتی‌متر است که این امر به کمک GPSهای موجود امکان‌پذیر می‌باشد ولی می‌بایست این نقاط حتماً بر روی زمین نشانه گذاری (پنل[۶]) شوند، تا خطای قرائت نقاط کنترل برروی تصاویر (Pointing) به حداقل مقدار ممکن برسد.

۹-۳- با بکار بردن پارامترهای اضافه در بلوک اجسمنت به کمک روش خود کالیبراسیون در مرحله مثلث‌بندی، افزایش دقت به صورت چشمگیر احساس نگردید، البته بایستی اقرار نمود که این امر باعث افزایش دقت به صورت جزئی می‌گردد، ولی مدت زمان انجام پردازش را نیز افزایش می‌دهد.

۹-۴- با افزایش تعداد تصاویر (افزایش پوشش طولی وعرضی) در دقت نهایی مثلث‌بندی مسطحاتی تغییر چندانی ایجاد نمی‌شود، ولی دقت ارتفاعی بهبود می‌یابد.

۱۰- پیشنهادات

۱۰-۱- با افزایش تعداد نوارهای طولی پروازی از ۴ نوار به ۶ یا ۸ نوار پروازی امکان انجام تستهای بیشتر و یا حتی حذف تعدادی از نوارها وجود خواهد داشت.

۱۰-۲- در هنگام عکسبرداری از منطقه مورد نظر طراحی پرواز به گونه‌ایی باشد که در دو مقیاس مختلف تصویربرداری صورت پذیرد.

به عنوان پیشنهاد در مورد دوربین رقومی Ultra Cam-D در دو ارتفاع ۸۰۰ و ۴۰۰ متری عکسبرداری انجام شود.

۱۱- منابع

1- Moniwa, 1977, "advanced photogrammetric system with self-calibration and its application". Ph.D.Dissertation Department of surveying Engineering, U.N.B.Fredericton.

۲- منتظری - تحریری ۱۳۸۶ «تحلیل داده‌های GPS به کمک نرم‌افزار» انتشارات فرهمند.

۳- حسین علیمرادی ۱۳۷۱ «فتوگرامتری رقومی» انتشارات دانشگاه تهران.

۴- جلال امینی ۱۳۸۶ «فتوگرامتری تحلیلی» انتشارات دانشگاه تهران.

5- INPHO, 2003 "MATCH - AT Reference Manual for Version 3.4.0,, INPHO GmbH.

6- Vexcel, 2005 "UltracamD Technical information" Vexcel imaging GmbH.

پی‌نوشت

۱- خودکالیبراسیون

2- Test Field

3- Cross strip

4- Drift

5- Strip

6- Panel