



کاربرد روش کینماتیک GPS جهت مثلث‌بندی در کشور فنلاند

ترجمه: مهندس عباسعلی صالح‌آبادی

نوشته: آنتن هولن

گزارشی از انستیتو ژئودتیک فنلاند، شهر هلسینکی سال ۱۹۹۳ میلادی





خلاصه

جهت مشخص شدن نحوه عملکرد موقعیت‌کنیماتیکی دوربین هوایی که از طریق سیستم GPS تعیین گردیده است، دو نوع پرواز جداگانه در کشور فنلاند انجام پذیرفت. اولین پرواز آزمایشی برای یک بلوک کوچک تحت شرایط هوایی نامطلوب انجام پذیرفت که نتایج به دست آمده حکایت از وجود پتانسیل بالای GPS در تعدیل بلوک به روش تحلیلی (bundel block Adjustment) نموده است. دومین پرواز یک پرواز کاملاً کاربردی و توجیه شده بود که بر روی

یک بلوک پروازی در خُد متوسط انجام پذیرفت که با وجود مسائل معمول مطروحه در این بلوک نتایج به دست آمده بسیار رضایت بخش بود. مثلث‌بندی هوایی انجام گرفته توسط اطلاعات ماهواره‌ای، جهت تهیه نقشه‌های 1:5000 و مقیاسهای کوچکتر به روش کنیماتیکی GPS در کشور فنلاند بسیار خوب و رضایت بخش بوده است. از طرفی تعداد نقاط کنترل که می‌توان برای آن در نظر گرفت به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و این موضوع ما را به سمت صرفه‌جویی مالی و زمانی نسبت به روش معمول کلاسیک هدایت می‌نماید.



پیشگفتار

سیستم تعیین موقعیت جهانی ناواستار (GPS) چند سالی است که در زمینه‌های فتوگرامتری مورد آزمایش قرار گرفته به صورت عالی و کارآمد در کارهای ژئودتیکی و همچنین در عمل نیز موفق بوده است. تعیین موقعیت متحرک (کنیماتیک) دوربین عکسبرداری هوایی در فعالیتهای فتوگرامتری به مرحله‌ای رسیده است که می‌توان گفت کاربردهای عملی آن در حال حاضر شروع شده است. سیستم GPS بر طبق آخرین گزارشات رسیده از برنامه پرتاب ماهواره‌ها (GPS-Info-1993)، انتظار می‌رود که در بهار ۱۹۹۴ آن به

سیستمی فعال تبدیل گردد، و این بدان معنی است که در هر زمان از روز حداقل ۴ ماهواره در افق ناظر مشاهده می‌شود. این تعداد ماهواره‌ها، مینیمم تعداد مورد نیاز جهت تعیین موقعیت متحرک در کنیماتیک سه بعدی به وسیله GPS می‌باشند. تعیین موقعیت دوربین هواپیما در لحظه عکسبرداری توسط GPS از اهمیت بسیاری در فتوگرامتری برخوردار است. مختصات GPS ای آنتن هواپیما در زمان عکسبرداری به عنوان مشاهدات اضافی در یک سرشکنی مرکب بلوک (Combined block Adjustment) معرفی شده‌اند. مزیت اساسی این اطلاعات اضافی در کاهش قابل ملاحظه‌ای از نیاز به نقاط



۲- روش اندازه‌گیری و پردازش اطلاعات

۲-۱) اساس اندازه‌گیری ما و تجهیزات

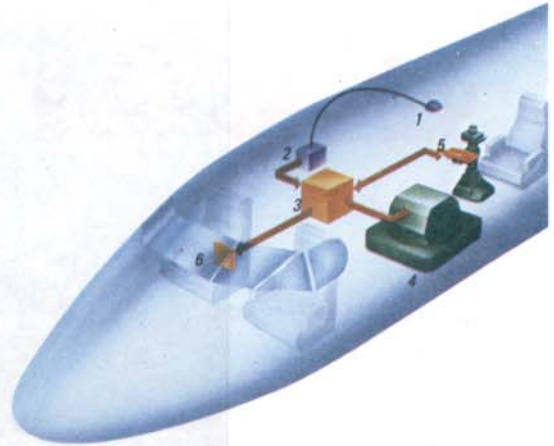
تجهیزات استفاده شده در دو حالت فوق مشابه بودند. هواپیمای مورد استفاده از نوع توربو کماندور مدل (Turbo commander 690 A) متعلق به سازمان NBS بود که این هواپیما مجهز به یک دوربین هوایی شرکت ویلد مدل RC 20 می‌باشد. از طرفی دوربین مزبور به یک گیرنده ماهواره‌ای اشتک مدل MD-XII متصل و آنتن گیرنده مزبور از نوع سیستم‌های سنجنده (سنسور) که به طرز مخصوصی برای هواپیما طراحی شده بود، به کار گرفته شد. این نوع آنتن بر روی بدنه هواپیما و تقریباً به طور قائم در امتداد بالای دوربین هوایی نصب شده است. (بخش ۲-۲ مشاهده شود). آنتن مزبور از نوع اطلاعات آن در حدود ۰/۵ ثانیه زمانی است همچنین یک گیرنده ساکن از نوع اشتک مدل MD-XII به عنوان گیرنده ثابت با مختصات معلوم بر روی ایستگاه کنترل زمینی مستقر در فرودگاه قرار دارد. تعیین موقعیت نسبی بر اساس استفاده از اختلاف مشاهدات فاز حامل دو گیرنده فوق انجام می‌پذیرد. ابهام اولیه فاز حامل (Ambiguity) بر اساس ثبت اطلاعات در حالت سکون هواپیما در مرحله قبل از پرواز تعیین و رفع می‌گردد. اگرچه گیرنده‌های فوق از نوع گیرنده‌های ماهواره‌ای دو فرکانسه می‌باشند ولی به علت این که آنتن مورد استفاده در هواپیما از نوع آنتنهای مخصوص گیرنده‌های یک فرکانسه می‌باشد لذا فقط اندازه‌گیری‌های فاز موج حامل L_1 مورد استفاده قرار گرفتند. اندازه‌گیری بر روی عکسهای هوایی توسط یک دستگاه آنالیتیک تحلیلی به نام DSR1 ساخت کارخانه کرون سویس در سازمان FGI انجام پذیرفت.

۲-۲) خروج از مرکزیت، مابین آنتن GPS هواپیما و دوربین هوایی

خروج از مرکزیت مابین آنتن GPS ای هواپیما و دوربین هوایی با استفاده از یک تاکومتر اندازه‌گیری شده و مشخص گردیده است که مؤلفه‌های افقی خروج از مرکزیت نسبتاً کوچک (در حدود متر $0.260 - 0.260$) هستند. تنظیم کج دوربین در طول یک زن پرواز هیچگونه تغییری نکرده و به عبارتی دوربین در بین زندهای پروازی منحرف نشده، بلکه فقط دوربین چرخیده بود. اما به علت بی اهمیت بودن تنظیم کج دوربین در این پروژه لذا ثبت این موضوع انجام نپذیرفت. همچنین مؤلفه قائم خروج از مرکزیت در حدود $1/425$ متر ثبت شد.

۲-۳) ثبت زمانهای عکسبرداری

امواج مربوط به زمانهای عکسبرداری دوربین هوایی در مقیاس زمان GPS ثبت شده و در داخل یک فایل مخصوص در حافظه داخلی گیرنده GPS ذخیره می‌شود. امواج خروجی از دوربین هوایی به پردازش کننده GPS نمی‌تواند زمان وسط لحظه عکسبرداری را نشان دهد یعنی ثبت کننده‌های گیرنده GPS لبه بر خاسته شده پالس‌های ارسال از دوربین را که با تأخیر حدود



کنترل زمینی می‌باشد. این موضوع به طور قطع مورد علاقه کشورهای توسعه نیافته‌ای می‌باشد که از ضعف وجود شبکه‌های نقشه برداری مستحکم و نقشه‌های پوششی برخوردار هستند. حتی مناطقی که از استقرار شبکه‌های کنترل ژئودتیکی مستحکم برخوردار هستند. به خصوص مناطقی با مساحت کوچک نیز، باید این روش را مورد توجه خاص قرار دهند. زیرا که تهیه نقشه به روش کلاسیک بسیار خسته کننده و پرهزینه می‌باشد. تعداد کاملی از پروازهای آزمایشی و مشابه‌سازیها در زمینه مثلث بندی هوایی به کمک GPS انجام پذیرفته است (اکرم ۱۹۹۲، آندرسن ۱۹۸۹ دوروشوارتز ۱۹۹۰ و فیری ۱۹۹۰، فیری و هیگل ۱۹۹۲، لی ۱۹۹۲) اما تا سال ۱۹۹۱ در کشور فنلاند هیچکدام اجراء نشده اند. اولین پرواز آزمایشی با ویژه گی تجری بود آن در ماه آگوست سال ۱۹۹۱ میلادی (به نام بلوک نیوملا - لاجا Nummela-lohja) و دومین پرواز آزمایشی در ماه می سال ۱۹۹۲ میلادی (به نام بلوک ایراء Eura) انجام پذیرفت که دومین پرواز آزمایشی جهت تهیه نقشه‌های مبنایی فنلاند اجراء گردید.

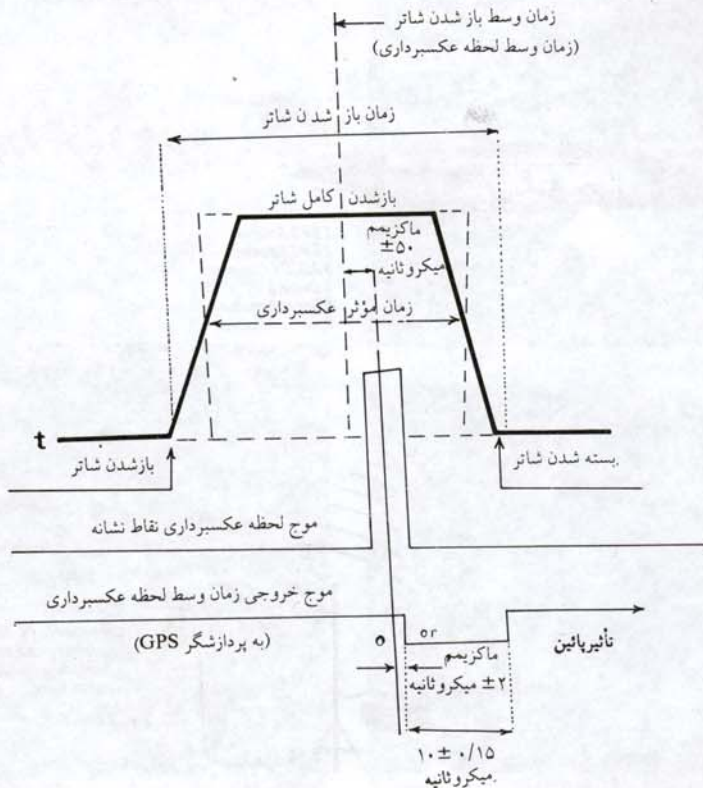
هدف از این پرواز، بررسی مسائل مربوطه، وجود یک فاصله طولانی بین گیرنده ثابت (مستقر در فرودگاه) و منطقه‌ای که بایستی در آن پرواز عکسبرداری انجام گیرد و همچنین مسائل مربوط به چگونگی تحت تأثیر قرار گرفتن نتایج به دست آمده در اثر یک پرواز طولانی نیز مورد هدف بوده است. این پرواز یک کار مشترک بین انستیتو ژئودتیکی فنلاند (FGI) و Finnish Geodetic Survey Institute (FGI) و هیئت ملی نقشه برداری (National Board of Survey (NBS) بوده است. این گزارش قصد بحث و بررسی بر روی تجربه و نتایج به دست آمده از دو پرواز را دارد.



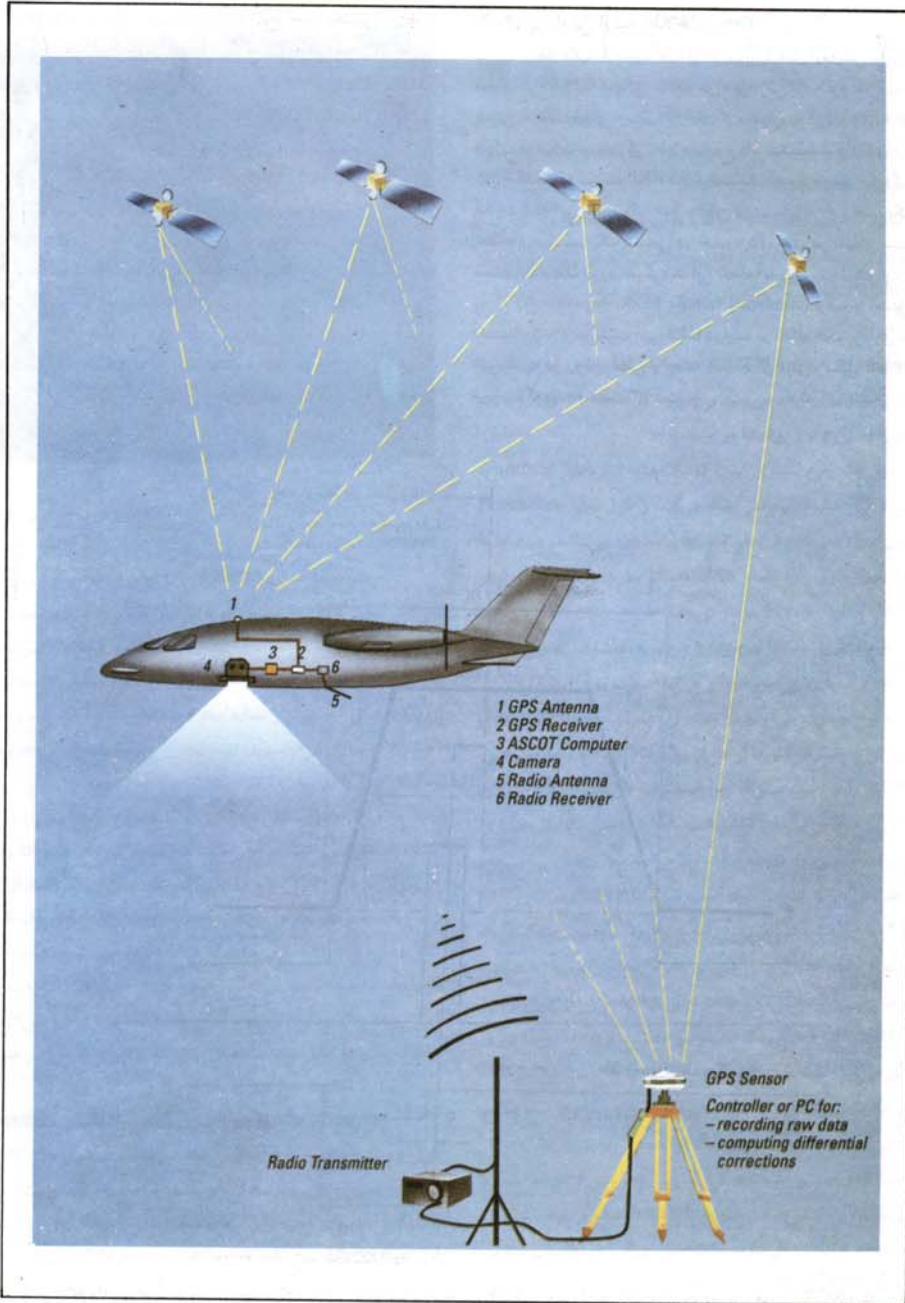
۴-۲) پردازش اولیه اطلاعات GPS

اطلاعات به دست آمده از طریق پروازهای آزمایشی بوسیله برنامه محاسباتی GPPS کمپانی اشتک مورد پردازش اولیه قرار گرفت. مسائل معینی به علت قطعی ارسال اطلاعات از ماهواره به گیرنده (cycle slips) در طول محاسبات و پردازش اطلاعات رخ داد. مختصات GPS از بیضوی ۸۴ - WGS به سیستم KKI فنلاند (سیستم تصویر گوس - کروگر) منتقل شدند، البته این انتقال یک عمل دقیقی نبود، بنابراین موجب یک سری خطاهای سیستماتیک طبیعی در حدود ۰/۵ متر در تمامی سه مؤلفه مختصات منطقه مورد نظر گردید. این خطاها به روش سرشکنی مدل مرکب به نام (combined bundle block Adjustment) ترمیم و تعدیل شدند (قسمت ۵-۲). موقعیت آنتن GPS هواپیما در لحظه عکسبرداری به وسیله انترپوله به دو روش خطی و چند جمله‌های (پلی‌نومایل Polynomial) محاسبه گردید (قسمت ۳).

$15 \text{ ms} \pm 10 \text{ ms}$ (میلی ثانیه) در قیاس با زمان وسط لحظه عکسبرداری ثبت می‌نماید. (نگاره یک) بی‌دقتیهای معمول دیگری در ارتباط با ثبت زمان لحظه عکسبرداری وجود دارد که مقدار آنها حدود $0.5 \pm$ میلی ثانیه است. موج زمانی ثبت شده در قیاس با زمان وسط لحظه عکسبرداری با تأخیر $16 \text{ ms} \pm 10 \text{ ms}$ (میلی ثانیه) مواجه بوده است. بنابراین بی‌دقتیها در ثبت زمانهای لحظه عکسبرداری تأثیری حدود $1/6 \pm$ سانتیمتر بر روی مختصات مرکز تصویر دارد. البته هنگامی که سرعت هواپیما حدود ۱۰۰ متر بر ثانیه (۳۶۰ کیلومتر بر ساعت) باشد، تأثیر در پروژه مزبور به قدری ناچیز است که چندان قابل ملاحظه نمی‌باشد. جهت امواج را می‌توان به گونه‌ای تغییر داد که زمان وسط لحظه عکسبرداری را ثبت نماید. این موضوع در پرواز آزمایشی ایرا Eura انجام پذیرفته است. موضوع مورد نظر دقت حدود $0.5 \pm$ میلی ثانیه را برای امواج زمان لحظه عکسبرداری ارائه می‌دهد. در جدیدترین نرم‌افزار گیرنده اشتک موج زمانی توسط یک پارامتر قابل تغییر انجام می‌پذیرد.



(نگاره ۱) موج زمان وسط لحظه عکسبرداری برای تعیین موقعیت GPS به روش کینماتیک با کاربرد دوربین هوایی RC20 و پلد





در فضا مورد تعقیب قرار می‌داند، به نحوی که آنها بتوانند ارتباط خودشان را حداقل با ۴ الی ۵ ماهواره در طول پرواز عکسبرداری حفظ نمایند. ترکیب هندسی موقعیت ماهواره‌ها یک وضعیت هندسی نسبتاً مناسبی را از طریق (PDOP) پائینتر از عدد ۶ برای تعیین موقعیت فراهم ساخت. بعد از آنها سرشکنی قراردادی معمول برای حدود ۱۷ نقطه کنترل (xyz) و ۲ نقطه (xy) و ۳۴ نقطه ارتفاعی (z) انجام پذیرفت.

اطلاعات فنی پرواز

تاریخ پرواز	۲۹م آگوست سال ۱۹۹۱ میلادی
ابعاد منطقه	۱۰×۲۰ کیلومتر
نوع هواپیما	توربوکماندور مدل A 690
نوع دوربین هوایی	RC 20 ویلد
فاصله کانونی	۲۱۴/۱۰ میلی‌متر
سرعت متوسط در طول پرواز	۳۶۰ کیلومتر بر ساعت
زمان مأموریت	۶۰ دقیقه
ارتفاع پرواز	۳۴۰۰ متر
مقیاس عکس	1:16000
پوشش (طولی و عرضی) عکسها	$P=6\%$, $q=30\%$
تعداد عکسها	۴۳ عدد (در چهار رن)
گیرنده‌های GPS	دو گیرنده اشتک از نوع MD-XII
آنتن‌های GPS هواپیما	سیستم سنسوریک فرانسه موج‌حامل L_1
میزان نرخ ثبت اطلاعات	۰/۵ ثانیه
انحراف دوربین - آنتن	متر $e_x = -0/055$ متر $e_y = -0/260$ متر $e_z = 1/425$

۲-۵) بسط برنامه پاندل بلوک اجسمنت ESPA

برنامه سرشکنی تحلیلی بلوک به نام پاندل بلوک اجسمنت ESPA یک سیستم ویژه جهت آنالیزهای فتوگرامتری (سارجاکوسکی ۱۹۸۸ (Sarjakoski) و یک برنامه کامپیوتری بسط داده شده جهت ترمیم و تعدیل مختصات آنتن GPS (به عنوان مشاهدات اضافی در یک بلوک اجسمنت مرکب) می‌باشد. در دیگر گزارشات در مورد روش تعیین موقعیت متحرک (کینماتیک) GPS تصدیق شده است که موقعیتهای GPS هواپیما به طور معمول تحت تأثیر زمان قرار دارد که آن نیز خود وابسته به خطاهای دریافت می‌باشد، (آکرمن ۱۹۹۲، آندرسن ۱۹۸۹، بلوکاس ۱۹۹۲، فری ۱۹۹۰، لی ۱۹۹۲).

حل ناقص ابهامات فاز حامل احتمالاً یک منبع دیگر برای خطای دریافت می‌باشد.

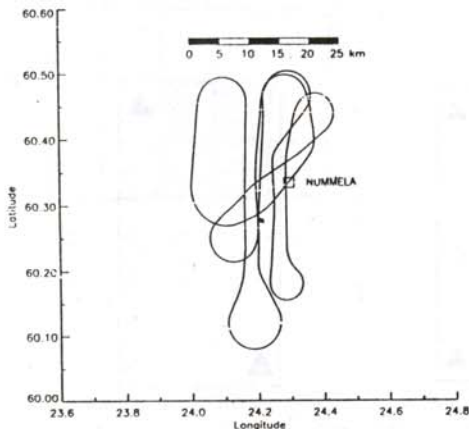
تغییرات لایه یونسفریک در طول مأموریت پروازهای طولانی و یا اینکه فاصله طولانی بین گیرنده ساکن در فرودگاه و منطقه پروازی مورد مأموریت نیز دیگر منابع از این نوع خطاها هستند. این نوع خطاها به وسیله دخالت دادن پارامترهای دریافت به عنوان پارامترهای مجهول در یک بلوک اجسمنت مرکب تصحیح می‌شوند. علاوه بر دریافت یک انحراف (شیفت) نیز برای هر مختصات وجود دارد. دریافتها و شیفتها می‌توانند با همدیگر ترمیم گردند. دریافت تقریباً به صورت خطی نمایش داده می‌شود. لذا معرفی ترمیم مرتبه دوم ثابت نموده است که نتایج نامطلوبی را می‌تواند ارائه دهد (بلوکاس ۱۹۹۲). پارامترهای دریافت را می‌توان برای کل بلوک به طور مشترک ترمیم نمود، به گونه‌ای که مسیر پرواز پیوسته‌ای برای GPS هواپیما فراهم باشد. در بسیاری از حالتها به مجموعه‌های مجزایی از پارامترهای دریافت برای هر رن پروازی یا بخشی از بلوک پروازی نیازمندیم. حلهای ریاضی مختلفی جهت پارامترهای دریافت در برنامه کامپیوتری ESPA ارائه شده است.

۳- تجزیه و تحلیل بلوک‌های آزمایشی

۳-۱) بلوک نیوملا - لاجا Nummela - Lohja

۳-۱-۱) شرح بلوک

پرواز آزمایشی روز بیست و نهم آگوست سال ۱۹۹۱ میلادی در منطقه نیوملا - لاجا در حدود ۵۰ کیلومتری غرب هلسینکی (نگاره ۲) به اجراء درآمد که بلوک مزبور بخش وسیعی از منطقه را که در بهار جهت تهیه نقشه‌های مبنایی 1:5000 فتوگرامتری شده بود، پوشش داد. منطقه هوایی نیوملا که در شرقی‌ترین قسمت بلوک واقع و به عنوان یک پایه اجرائی مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل وضعیت هندسی ماهواره‌ها (وجود حداقل چهار ماهواره در افق ناظر) پرواز هوایی مورد نظر لازم شده که در بعد از ظهر انجام پذیرد. سایه‌هایی که بعضاً دارای وسعت بود اندازه‌گیریهای انجام شده بر روی عکسها در دستگاه تحلیلی استرئوپلاتر را دچار آشفتگی نمود. از طرفی بعضی از ابرهای ظاهر شده در طول پرواز تولید یک سری مسائل معدودی را در اندازه‌گیریهای نمود. از جمله تعدادی از نقاط کنترل بویژه نقاط کنترل ارتفاعی را نمی‌توان پیدا نمود با این حال گیرنده‌ها به طور پیوسته ماهواره‌ها را



نگاره ۲) مسیر پرواز بلوک نیوملا - لاجا



ثبت لبه برخاسته شده موج زمانی، در لحظه عکسبرداری که از دوربین هوایی ارسال می شود نمی تواند زمان وسط لحظه عکسبرداری (mid-exposure) را نشان دهد. لذا مختصات GPS با به کارگیری دناهای خاص از یک بلوک اجستمنت قراردادی معمول و سرعت هواپیما جهت تأخیر زمانی مزبور تصحیح می شوند. سرعت متوسطی که برای هر زن به کار برده شده است یک مقدار تقریبی بوده، اما تأثیر آن بر روی مختصات مرکز تصویر مقدار مینیمم می باشد. سپس مختصات تصحیح شده GPS به داخل بلوک اجستمنت قراردادی معرفی می گردد، و محاسبه موقعیتهای آنتن هواپیما در لحظه عکسبرداری براساس کاربرد یک انترپوله چندجمله‌ای



● - Z △ - XY ▲ - XYZ

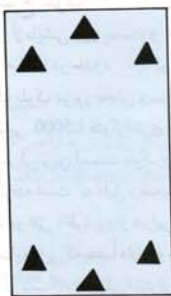
(نگاره ۳) ترکیب نقاط کنترل بلوک نیوملا - لاجا

(Polynomial) توسط یک ترجمه (ورژن) پیشرفته از الگوریتم نویل (Neville) انجام می پذیرد.

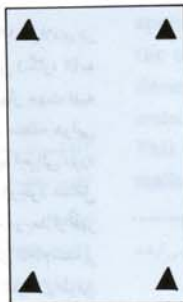
۲-۱-۳) تجزیه و تحلیل نتایج

ترکیب نقاط کنترل بلوک در نگاره ۳ نشان داده شده است، نصف نقاط کنترل ارتفاعی (Z) بوده و ترجیحاً دارای کیفیت ضعیف می باشند. (۱۷ نقطه از ۳۴ نقطه مردود است). این نقاط قسمتهای ضعیف بلوک را معرفی می نمایند. این گونه نقاط کنترل از طریق تاکومتری به دست آمده اند، و در اجستمنت با وزن کمتری معرفی شده اند. نقاط کنترل تاکومتری زمانی کاربرد دارند که تمامی نقاط مختصات دار کنترل زمینی در بلوک مورد استفاده واقع شوند. به غیر از ۱۷ نقطه کنترل (Z) تعداد سه نقطه کلاسیک نشانه روی شده و تعداد ۱۴ نقطه روی سطح آب مورد استفاده واقع شده اند. نقاط گرهی وضعیت طبیعی خوشی را دارند. دقت مختصات نقاط کنترل زمینی در حدود ± 10 سانتیمتر می باشد. البته این دقت نیمه ضعیفتر بلوک که دارای مختصات نقاط کنترل (Z) به دقت (± 50) سانتیمتر هستند را شامل نمی شود و از طرفی دقت مختصات تصویر در حدود ± 5 میکرومتر می باشد. مختصات GPS ای موقعیت دوربین با دقت حدود ± 10 سانتیمتر می باشد.

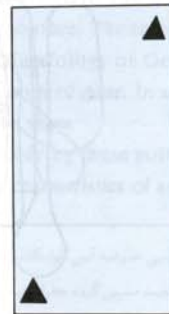
پارامترهای دریافت مستقل برای هر زن و هم پارامترهای دریافت مشترک جهت تمامی بلوک مورد آزمایش قرار گرفتند. در آنالیز و تجزیه و تحلیل پاتین، نقاط کنترل استفاده نشده در بلوک اجستمنت، مشابه نقاط کنترل هستند. و از طرفی نقاط کنترل (Z) که ضعیفتر هستند را بعنوان نقاط کنترل در بلوک مورد استفاده قرار نداده ایم، حال اجازه بدهید دو نوع حل ریاضی از پارامترهای دریافت جهت ترکیبهای مختلفی از نقاط کنترل زمینی بلوک را مورد توجه خاص قرار دهیم، (جدول ۱). نتایج نشان می دهد که دقت تجربی مختصات نقاط کنترل سرشکن شده، به عنوان مقادیر R.M.S (جذر خطای مرعی متوسط) اختلاف مابین مختصات سرشکن شده و مختصات داده شده، محاسبه گردیده اند. حالتی که همراه با ۶ نقطه کنترل زمینی (X,Y,Z)



a)



b)



c)

(نگاره ۴) ترکیب نقاط کنترل مختلف استفاده شده در بلوک اجستمنت نیوملا - لاجا



می باشد در نگاره شماره ۴a نشان داده شده است. این نگاره نشان می دهد که هر دو حل ریاضی به طور مساوی می باشند. حالتی که چهار نقطه کنترل زمینی (X,Y,Z) را در گوشه های بلوک به کار گرفته است (نگاره ۴b) نشان می دهد که با استفاده از پارامترهای دریف مشترک درکل بلوک می توان به نتایج بهتری برای مؤلفه (Z) رسید، اما نتایج به دست آمده به خوبی حالتی که همراه با ۶ نقطه کنترل زمینی (X,Y,Z) است نمی باشد.

واضح است زمانی که پارامترهای دریف مشترک در کل بلوک برای حالتی که نقطه کنترل (XYZ) واقع در گوشه ها متضاد باشند (بویژه در مؤلفه Z) بهتر عمل خواهند کرد. (نگاره ۴c) و به نتایج بهتری خواهیم رسید. این برداشته همه بر طبق این تئوری به دست آمده اند که مسیر حرکت گیرنده GPS مستقر در هواپیما به طور پیوسته می باشد. اگرچه وجود دو نقطه کنترل (XYZ) در گوشه های بلوک بیشتر حالت تئوری دارد، ولی ذکر آن به عنوان مثال در اینجا جهت نشان دادن پتانسیل بالای مثلث بندی به کمک GPS می باشد. جدول ۲- پارامترهای دریف را زمانیکه تمامی نقاط کنترل زمینی در باندل بلوک اجستمنت ترکیبی مورد استفاده واقع شده اند را نشان می دهد.

در حالت پارامترهای دریف به طریقه رن (Stripwise) به وضوح ناسازگاری در دریفتها و انحرافات بین رنها را به نمایش می گذارد و حداکثر دریفت بالاتر از ۳۷ سانتیمتر در دقیقه می باشد. زمانی که پارامترهای دریفت مشترک برای کل بلوک انتخاب شده باشند، هر سه دریفت در دامنه تغییرات ۰/۷ الی ۴/۲ سانتیمتر در دقیقه می باشد. یک مدل ریاضی مجهز به پارامترهای دریفت مشترک در تمامی بلوک جهت منطبقه بلوک نیوملا - لاجا نیز با وجود تمامی ناسازگارهای ذکر شده در فوق کاملاً خوب عمل می نماید اما آن بلوک حداقل محتاج به یک زوج نقطه کنترل (Z) به علاوه چهار نقطه کنترل (XYZ) استاندارد می باشد. بزرگترین مزیت یک اجستمنت ترکیبی در مقایسه با اجستمنت یا سرشکنی معمولی بهبود آشکار (Z) می باشد در صورتی که با چهار نقطه کنترل (XYZ) مقادیر (X,Y) کمی بهتر خواهند شد. (جدول ۱) همانطوری که در جدول یک مشاهده می شود مقادیر (X,Y) با به کارگیری ۴ یا ۶ نقطه کنترل (XYZ) و کاربرد روش بلوک اجستمنت قراردادی معمول کاملاً خوب حل می شوند زیرا که اندازه بلوک مزبور بسیار کوچک می باشد. همچنین روش اجستمنت ترکیبی با به کارگیری فقط ۲ نقطه کنترل (XYZ) نیز به طور قابل

جدول ۱: دقت مختصات نقاط چک سرشکن شده نیوملا-لوحجا

نقاط کنترل	بلوک اجستنت		تعداد نقاط چک		دقت Rms نقاط کنترل		
	Method	Drift	XY	Z	X	Y	Z
6XYZ	STD	-	13	28	±0.105	±0.131	±0.500
	GPS	strip			±0.100	±0.129	±0.226
	GPS	block			±0.111	±0.126	±0.247
4XYZ	STD	-	15	30	±0.214	±0.193	±0.523
	GPS	strip			±0.145	±0.165	±0.551
	GPS	block			±0.159	±0.147	±0.336
2XYZ	GPS	strip	17	32	±0.394	±0.189	±3.436
	GPS	block			±0.284	±0.124	±0.382

جدول ۲: پارامترهای دریفت با کاربرد تمامی نقاط کنترل زمینی در باندل بلوک اجستمنت، نیوملا - لوحجا

مجموعه پارامترهای دریفت	پارامترهای دریفت		
	X	Y	Z
Block	-0.071m-0.0001m/s	-1.239m-0.00061m/s	2.345m+0.00070m/s
Strip 1	-0.343m+0.00553m/s	-1.424m+0.00465m/s	2.408m+0.00038m/s
Strip 2	-0.081m+0.00267m/s	-1.460m+0.00569m/s	2.820m-0.00181m/s
Strip 3	-0.479m+0.00085m/s	-2.046m-0.00374m/s	3.032m+0.00018m/s
Strip 4	-0.519m+0.00622m/s	-1.498m-0.00093m/s	3.339m+0.00191m/s

پارامترهای دریفت در طریقه رن - strip
پارامترهای دریفت در طریقه بلوک - block

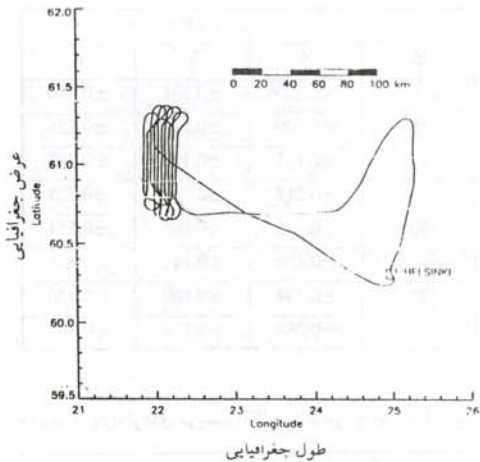
باندل بلوک اجستمنت قراردادی معمول - STD
باندل بلوک اجستمنت مرکب بوسیله GPS سیستم - GPS



سرعت متوسط در طول پرواز
مدت پرواز
ارتفاع پرواز
مقیاس عکس
پوشش طولی و عرضی
تعداد عکسها
نوع گیرنده های GPS
آنتن GPS هواپیما

۴۰۰ کیلومتر در ساعت
۳ ساعت و ۴۵ دقیقه
۳۴۰۰ متر
1:16000
% ۳۰ q و % ۶۰ p
۲۶۴ (در دهرن)
دو گیرنده اشک از نوع MD=XII
از نوع سیستم سنجنده واز نوع آنتن
یک فرکانسه موج L₁
۰/۵ ثانیه
متر ۰۰/۰۵۵ e_x
متر ۰۰/۲۶۰ e_y
متر ۱/۴۲۵ e_z

نرخ ثبت اطلاعات
انحراف دوربین - آنتن



نگاره ۵: مسیر پرواز بلوک ایراء

بلوک ایراء از ویژگیهایی برخوردار است. این موضوع به علت فاصله طولانی بین هلسینکی و ایراء و در واقع مدت طولانی پرواز می باشد. منطقه مأموریت در فاصله ۱۶۰ الی ۲۰۰ کیلومتری از فرودگاه قرار دارد، که در حقیقت در کشور فنلاند حالت فوق، یک وضعیت نرمال از لحاظ طول مسیر پرواز به حساب می آید. البته این موضوع هنوز به طور قطع مشخص نشده است (آکرمن ۱۹۹۲). هر دو گیرنده ماهواره ای با تعدادی مسئله در هنگام ثبت اطلاعات مواجه بودند (بلوکهای خطا). این مسائل احتمالاً از برنامه ذخیره سازی داتاها (Data Logging) در کامپیوترهای قابل حمل پرتابل ناشی

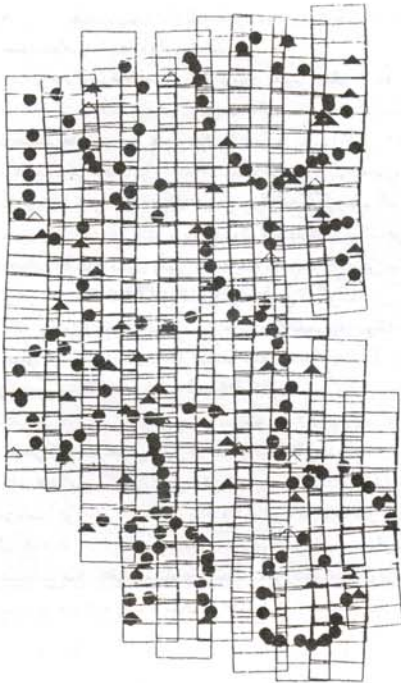
ملاحظه ای جواب خوبی را از خود نشان می دهد. روش بلوک اجستمنت مرکب با دو نقطه کنترل (xyz) نسبت به بلوک اجستمنت معمولی با به کارگیری ۶ نقطه کنترل (xyz) که پارامترهای دریفتم مشترک را جهت کل بلوک انتخاب نموده است، نیز به استثناء مختصات مؤلفه (x) از خود نتایج بهتری را نمایان می نماید.

۳-۲) بلوک ایراء Eura ۱-۲-۳) شرحی از بلوک

دومین پرواز آزمایشی روز چهاردهم می سال ۱۹۹۲ میلادی در منطقه ایراء در حدود ۲۰۰ کیلومتری شمالغربی هلسینکی (نگاره ۵) انجام گرفت. فرودگاه «واتار» هلسینکی به عنوان یک پایه اجرایی در حال کار قرار داشت. به همان خوبی که پرواز فوق به عنوان یک پرواز آزمایشی جهت پروژه مورد بحث مطرح بود به همان اهمیت نیز آن به عنوان یک مأموریت پروازی جهت تهیه نقشه های مبنایی 1:5000 مورد توجه قرار گرفته بود. وظیفه عمده عکسبرداری هوایی، اندازه گیری علامت مرزی مشخص شده جهت تهیه نقشه های رقومی مرزی بود، از این عکسها همچنین جهت تهیه نقشه های عکسی ارتوفتو در مقیاس 1:5000 نیز استفاده شد. قبل از آغاز مأموریت، منطقه ای که بایستی عکسبرداری هوایی گردد به طور وضوح مشخص نبود، زیرا که انواع روشهای دسترسی جهت انجام پرواز فوق امکان پذیر بود. لذا تصمیم بر آن شد که ابتدا پرواز در منطقه شمالغرب هلسینکی انجام پذیرد، اما به علت نامساعد بودن شرایط آب و هوایی جهت عکسبرداری، خلبان ناچار به چرخش به سمت غرب شد. این موضوع عجیب بودن مسیر پرواز را در نگاره ۵ بیان می کند. هوا در قسمت غرب فنلاند جهت عکسبرداری بسیار عالی بود. در واقع آنجا خبر از وجود یک بهار زودرس یا درختان بدون برگ می داد. گیرنده های ماهواره ای در طول پرواز ارتباط خودشان را با امواج ارسالی از ۴ الی ۸ ماهواره حفظ نموده بودند. ولی وضعیت هندسی ماهواره ها در بعضی اوقات ضعیف (عدد PDOP بالای ۶۰ در طول چرخش هواپیما) بود. نقاط کنترل زمینی از ۸۰ نقطه (xyz)، ۷ نقطه (xy) و ۱۶۶ نقطه (z) نشانه روی شده تشکیل شده بود. بعضی از نقاط کنترل پیدا نشده بودند و بعضی دیگر از آنها مجبور بودند که در اجستمنت و سرشکنی حذف گردند. جریان طوفان ماه آوریل سال ۱۹۹۲ در منطقه مورد نظر موجب خساراتی چند پویزه در مورد نقاط کنترل (z) گردید. در نهایت تعداد ۶۷ نقطه (xyz)، ۱۱ نقطه (xy) و ۱۴۲ نقطه (z) جهت سرشکنی و اجستمنت نهایی به کار گرفته شد. به علاوه تعدادی از نقاط تاکثومتری و نقاط روی سطح آب (در حدود ۲۲۰ نقطه) در طول اندازه گیری بلوک جهت حفظ کنترل ارتفاعی انتخاب شد. نقاط گرهی بلوک، عارضه های طبیعی بودند.

دناهای تکنیکی پرواز به شرح ذیل بودند:

تاریخ پرواز	چهاردهم می سال ۱۹۹۲ میلادی
ابعاد منطقه	۲۵×۴۵ کیلومتر
نوع هواپیما	توربوکماندور مدل 690 A
دوربین	RC 20 ساخت کارخانه ویلد
فاصله کانونی	۲۱۴/۱۰ میلیمتر



نگاره ۶: ترکیب نقاط کنترل زمینی بلوک ابراه

نرم افزار GPPS کشف نشده‌اند. یک چنین حالتی که در اطلاعات پیدا می‌شود باعث شیفت موقعیت در حدود ۱۰ الی ۱۵ سانتیمتر می‌گردد، و در اطلاعات یک حرکت و رفتار زیگزاگی از مختصات مشاهده می‌شود. یکی از علتهای آن امرامی توان ناشی از اثر مولتی پت (multipath) دانست. (نگاره ۶) ترکیب نقاط کنترل البته فقط نقاط کنترل نشانه‌روی شده را نمایش می‌دهد. به علاوه تعداد کاملی از نقاط کنترل (۲) اضافی (۲۲۰ نقطه) نیز اندازه‌گیری شده‌اند. این نوع شامل نقاط تاکومتر و نقاط واقع در بر روی سطح آب می‌باشند که دارای دقت کمی (در حدود ± 10 الی ± 50 سانتیمتر) هستند این نوع نقاط با دقت کم تنها زمانی که تمامی نقاط کنترل زمینی به کار روند با وزن پایین‌تری نسبت به نقاط نشانه‌روی شده در محاسبات سرشکنی بلوک اجستمنت شرکت می‌نمایند. به واسطه ناپوستگی مسیر زنجاری پروازی ما مجبور به انتخاب پارامترهای دریفت هستیم. بخشی از ترمهای مرتبه دوم به علاوه ترمهای خطی پارامترهای دریفت، مورد آزمایش قرار گرفتند که مشخص شد آنها تأثیری بر روی نتایج نهای نخواهند داشت. دقت مختصات تصویر (فتوگرامتری) در حدود ± 5 الی ± 50 میکرومتر تنظیم شده است. دقت تمامی نقاط کنترل زمینی نشانه‌روی شده در حدود ± 5 الی ± 50 سانتیمتر تنظیم شده است. مختصات موقعیتهای GPS ای دورین عکسبرداری هوایی با کمی تعدیل دقت حدود ± 20 الی ± 50 سانتیمتر داده شده است.

می‌شود. این مسائل می‌توانند در دناها به عنوان مشاهدات غلط تصور گردند. به همین منظور ۱۲ درصد از مشاهدات در گیرنده GPS ساکن در فرودگاه ثبت نشده‌اند. و این تعداد درصد در مقایسه با ۴ درصدی می‌باشد که در گیرنده متحرک واقع در هواپیما ثبت شده‌اند. بعضی از رنهای پروازی نیز تحت تأثیر مسائل فوق قرار دارند. به این معنا که تعدادی از زمانهای لحظه عکسبرداری می‌بایستی بر روی فواصل زمانی طولانیتر (از ۱ الی ۳/۵ ثانیه) انترپوله شوند. ماحصل پرواز آزمایشی فوق تشکیل دو فایل عظیم مشاهداتی هر کدام به ظرفیت ۱۸ مگابایت بوده است. وجود سیکلهای قطع شده (cycle slips) غیرقابل کشف در مشاهدات امکان محاسبه یکجا اطلاعات وجود نداشت. بنابراین اطلاعات می‌بایستی به دو صورت پیش رونده و پس رونده نسبت به زمان (Forward and backward in time) محاسبه گردند. محاسبات تعدادی از گپ‌های کشف نشده در طول پرواز و در هنگام چرخش هواپیما (در مدت زمانی ۲۰ ثانیه) را حذف می‌نماید. موج خروجی از دورین عکسبرداری هوایی به پردازشگر GPS، این زمان را به زمان وسط لحظه عکسبرداری تبدیل می‌نماید. انترپوله خطی اکثراً جهت محاسبات موقعیتهای آنتن GPS هواپیما در لحظه عکسبرداری مورد استفاده قرار گرفت فقط تعداد معدودی از موقعیتهای آنتن GPS هواپیما با استفاده از انترپوله چندجمله‌ای (Polynomial) محاسبه شده‌اند. این انترپوله براساس کنترل مناسبی از دناها می‌باشد.

۲-۲-۳) تجزیه و تحلیل نتایج

به طور یقین جمع اطلاعات GPS نمی‌توانند از بهترین کیفیت برخوردار باشند. اما وضعیت بحرانی زمانی اتفاق می‌افتد که ظرفیت گنجایش (فقط ۲۰ مگابایت روی هارد دیسک) کامپیوترهای پرتابل متصل شده به گیرنده‌های GPS پر شوند. مشاهدات گیرنده ساکن می‌تواند با حداقل حاشیه روی هارد دیسک ذخیره شود. اما مسائل متعددی از گیرنده متحرک در هواپیما ناشی می‌شود. از طرفی آخرین قسمت پرواز می‌بایستی در حافظه گیرنده ماهواره‌ای ذخیره شود، به طوری که در حدود یک دقیقه بعد از برگشت به فرودگاه حافظه کامپیوتر کاملاً پر شده است. بنابراین ابهامات فاز اولیه برای محاسبات پس‌رونده نسبت به زمان (backward in time) خیلی قابل اعتماد نمی‌باشند. هشت رن پروازی استخراج شده از ده رن پروازی این محاسبات پس‌رونده نسبت به زمان می‌بایستی در مورد آنها اجرا شود. به علاوه تعداد کاملی از سیکلهای قطع شده (cycle slips) در دناها رخ داده است، که نرم‌افزار GPPS قادر به کشف تمامی آنها نمی‌باشد. برای کنترل نمودن اطلاعات، سرعت هواپیما از طریق مختصات GPS محاسبه می‌شود. سرعت هواپیما به طرز عجیبی ثابت و تغییرات آن به طور آهسته انجام می‌پذیرد.

جهش در سرعت هواپیما از یک اپک (epoch) به اپک دیگر بایستی از نزدیک بررسی شود. در این حالت سرعت هواپیما در طول یک اپک کمی با اپکهای مجاور و همسایه متفاوت است و این امر موجب مسائل متعددی می‌گردد. این بدان معنا می‌باشد که مختصات بعد از اپک مورد بحث فوق دائماً در مقایسه با مختصات قبل از اپک در حال شیفت است. دلیل این امر احتمالاً مربوط به سیکلهای قطع شده می‌باشد که به طور کامل توسط

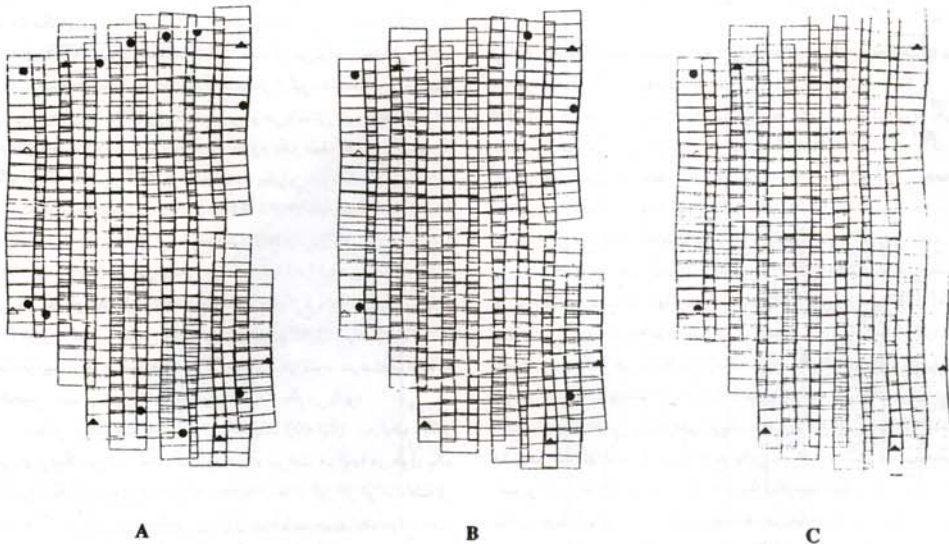


کارگیری GPS و با استفاده از ترکیب نقاط کنترل زمینی حالت A، در مقایسه با حالتی که تمامی نقاط کنترل مورد استفاده واقع شوند دقت تئوری ضعیفتری را برای مختصات نقاط کنترل جدید نشان می‌دهد.

دقت تجربی مختصات نقاط کنترل به خوبی مشابه دقت تئوری آنها بود. (NBS) جهت مختصات (x,y) علامت مرزی نشانه‌روی شده انتظار دقت ± 2.0 سانتیمتر یا بهتر از آن را داشت. با انتخاب ترکیب نقاط کنترل زمینی حالت A این امر می‌توان تحقق یابد. دقت مختصات (z) تقریباً $0.1/0.1$ (یک دهم در هزار) ارتفاع پرواز می‌باشد که کاملاً رضایت‌بخش است. از طرفی نتایج بلوک اجسمنت قراردادی معمول در جدول ۳ نیز نشان داده شده است. جالب آنجا خواهد بود که دقت x و y با مینیمم تعداد نقاط کنترل (x,y) بسیار خوب به نظر برسد. تصور می‌شود که دقت (z) ضعیفتر شود. این موضوع شگفت‌آور می‌باشد زمانی که مشاهده کنیم بلوک اجسمنت مرکب به وسیله GPS با کاربرد ترکیب نقاط کنترل حالت (B) نیز به خوبی قابل اجراء می‌باشد. (z) نیز کمی بهتر از حالت (A) می‌باشد. دقت تئوری نقاط جدید یک دقت ضعیفتری را طبق تئوری برای (z) مشخص می‌نماید. بیشترین دلیل این موضوع اینچنین است که به طور مطلق لزومی به کاربرد پارامترهای دریافت مورد استفاده در طبقه‌رن برای کل بلوک نمی‌باشد. امکان آن وجود دارد که در یک حالت پارامترهای دریافت برای ۲ یا ۳ رن انتخاب شوند. محاسبات سرشکنی بلوک اجسمنت قراردادی معمول در حالت A به طور طبیعی برای (z) ضعیفتر می‌باشد. نتایج ناشی از بلوک

در آنالیزهای پلین نقاط کنترل، مشابه نقاط کنترل نشانه‌روی شده هستند که در بلوک اجسمنت مورد استفاده واقع نشده‌اند.

سه نوع ترکیب مختلف از نقاط کنترل زمینی آنالیز شده است. (نگاره ۷). نقاط کنترل پلانیمتری در تمامی سه حالت مشابه هستند. حالت A به عنوان مینیمم حالت بر طبق نظریه تئوری آکرمن می‌باشد (آکرمن ۱۹۹۲). در حالت A اضافه بر نقاط کنترل (xyz) استاندارد موجود در گوشه‌های بلوک دو زنجیره از نقاط کنترل ارتفاعی که در عرض بلوک به‌طور غیرضربداری نسبت به رنهای پروازی در پلین و بالای بلوک قرار دارند به آن اضافه شده است. در حالت B نقاط کنترل زمینی در مقایسه با حالت A کاهش بیشتری یافته‌اند و در حالت C فقط شامل نقاط کنترل زمینی در گوشه‌های بلوک می‌باشد، که این تعداد نقاط زمانی که مسیر حرکت GPS هواپیما پیوسته باشد مینیمم مطلق نقاط کنترل جهت حل مسئله دیتم (datum) است. دقتهای تئوری و تجربی مختصات سرشکن شده نقاط کنترل در جدول ۳ نشان داده شده است. دقت تئوری از معکوس نمودن سیستم معادلات نرمال مشتق شده است در حالتی که دقت تجربی، در واقع مقادیر R.M.S (جذر خطای مربعی متوسط) اختلاف بین مختصات سرشکن شده و مختصات داده شده نقاط کنترل می‌باشد. در حالتی که تمامی نقاط کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرند همان طور که انتظار می‌رفت، دقت تئوری مختصات نقاط جدید برای روش بلوک اجسمنت مرکب تقریباً مشابه با اجسمنت قراردادی معمول می‌باشد. این مطلب را جدول ۳ به وضوح نشان می‌دهد. بلوک اجسمنت مرکب با به



نگاره ۷: ترکیب‌های مختلف نقاط کنترل زمینی مورد استفاده در بلوک اجسمنت، ابراه



جدول ۳: نتایج حاصل از باندل بلوک اجستمنت، ایراء

نقاط کنترل زمینی	روش بلوک اجستمنت	تعداد نقاط کنترل		دقت R.m.s مختصات نقاط کنترل سرشکن شده			دقت تئوری نقاط جدید عکسی پس از سرشکنی به متر		
		XY	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Full	STD	-	-	-	-	-	±0.085	±0.097	±0.253
	GPS	-	-	-	-	-	±0.080	±0.094	±0.242
A	STD	71	191	±0.280	±0.161	±0.730	±0.182	±0.192	±0.737
	GPS	-	-	±0.180	±0.132	±0.355	±0.134	±0.149	±0.348
B	STD	71	197	±0.288	±0.161	±0.939	±0.184	±0.193	±0.843
	GPS	-	-	±0.180	±0.132	±0.331	±0.135	±0.149	±0.441
C	STD	71	200	±0.260	±0.273	±3.322	±0.184	±0.194	±1.093
	GPS	-	-	±0.166	±0.158	±0.582	±0.137	±0.152	±0.540

جدول ۴: پارامترهای دریفت جهت تعدادی از زن‌ها در بلوک ایراء

مجموعه پارامترهای دریفت	پارامترهای دریفت		
	X	Y	Z
Strip 7	-0.258m-0.00266m/s	-0.135m-0.00123m/s	2.166m-0.00249m/s
Strip 8	-0.924m+0.00221m/s	-4.977m+0.00032m/s	3.802m+0.00462m/s
Strip 9	1.186m+0.00014m/s	-0.525m+0.00107m/s	7.481m-0.00163m/s
Strip 10	0.578m-0.00662m/s	-3.065m-0.01435m/s	0.494m-0.00386m/s

نقطه (Z) برای مأموریت پروازی فوق نشانه‌روی شده‌اند. نشانه‌روی براساس شبکه ژئودتیک موجود انجام پذیرفته بود ولی با این حال تعدادی از نقاط جدید (۱۰ درصد کل نقاط) با به کارگیری سیستم GPS اندازه‌گیری شده بودند، نقاط کنترل (XYZ) اغلب اوقات به آسانی قابل دسترسی نمی‌باشند. براساس نتایج به دست آمده از پرواز آزمایشی بلوک ایراء تعداد نقاط کنترل امن به یک دهم آنچه که در حد نرمال است کاهش یافته است. نقاط کنترل زمینی باقیمانده به علت ناامنی هنوز شامل نقاط اضافی نیستند. به عبارت دیگر، این بدان معنی است که تعداد بیش از ۲۰۰ نقطه کنترل دیگر، شامل صرف‌نظر هستند. بهرحال ما مجبور به انجام مقداری سرمایه‌گذاری هستیم، گیرنده‌های ماهواره‌ای GPS، البته هنوز از لحاظ قیمت گران می‌باشند، اما انتظار می‌رود که قیمت آنها به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. حتی با قیمت‌های فعلی گیرنده‌های GPS هزینه‌های اضافی هر مأموریت پروازی باعث گردیده است که قیمت گیرنده‌های ماهواره‌ای در مقایسه با روش کلاسیک و کارهای زمینی (به علت کاهش عملیات زمینی) بسیار ناچیز باشد.

نتیجه‌گیری

پرواز آزمایشی نیوملا - لاجا تحت شرایط نامساعدی انجام پذیرفت و نتایج به دست آمده پتانسیل بالای مثلث‌بندی هوایی به کمک GPS را نشان

اجستمنت به کار برده شده، به عنوان یک چیز کمیاب برای ترکیب نقاط کنترل زمینی در حالت (C) در اینجا نشان داده شده است. از لحاظ کنترل پلانیمتری همانند فوق دقت تجربی (XY) بعد از اجستمنت مرکب مشابه و در حد دو حالت دیگر می‌باشد اما به علت این که مسیر GPS ناپیوسته بوده است، دقت (Z) به طور طبیعی کاهش یافته است. تعدادی مثال در مورد اندازه پارامترهای دریفت (شیفت و دریفت) در جدول ۴ نمایش داده شده است. تغییرات بزرگ همچنین عمل نیمه نمودن بلوک مزبور را جهت محاسبه پارامترهای دریفت را تأیید می‌نماید.

۴- نشانه‌روی نقاط کنترل زمینی - وضعیت حال و فعالیت‌های آینده

نشانه‌روی نقاط کنترل زمینی بخش قابل ملاحظه‌ای از پروژه‌های تهیه نقشه را تشکیل می‌دهد. اگر این کار بتواند توسط کاربرد GPS در فتوگرامتری به حداقل کاهش پیدا کند در آن صورت هم در هزینه و هم در زمان اجراء پروژه صرفه‌جویی نموده‌ایم. به عنوان مثال بلوک ایراء را در نظر می‌گیریم، این بلوک شامل ۲۶۴ عکس در ۱۰ رن پروازی می‌باشد، اندازه بلوک کمی کوچکتر از اندازه متوسط مورد نیاز جهت تهیه نقشه‌های مبنایی فنلاند می‌باشد. ۲۵۳ نقطه کنترل زمینی (۸۰ نقطه XYZ، ۷ نقطه XY) و ۱۶۶



و نابود شود. پایه‌های پیشرفت و توسعه تکنیکی تجهیزات در تمامی دورانها و بامعرفی تکنیک روند نمودن سریع تعداد سیکلهای مورد ابهام فاز حامل (Fast Ambiguity Fixing) در هنگام پرواز (on-the-fly) اعتماد و اطمینان ما به اندازه‌گیریهای سیستم GPS بیشتر خواهد شد. در این صورت نیازی به مراقبتهای ویژه جهت حفظ پیوستگی مسیر GPS هواپیما نمی‌باشد، بنابراین تنها یک سری امواج قطع شده در داخل یک رن می‌توانند وضعیت بحرانی ایجاد نمایند. ولی احتمال وقوع آنها باورکردنی نیست. □

منابع اساسی منابع و مراجع

- آکرمن اف. : قوانین اجرایی و مدل‌های دقت جهت مثلث‌بندی هوایی به کمک GPS - ۱۹۹۲.
- آندرسن ت. : تجربیات در به کارگیری روش کینماتیک (متحرک) GPS در طول مثلث‌بندی هوایی در کشورنروژ، ۱۹۸۹.
- بلوکاس ت. : ۱۹۹۲ و کنترل کیفی سرشکنی مرکب و فتوگرامتری و داده‌های GPS.
- دورر ای. : ۱۹۹۰، مثلث‌بندی هوایی و روش کینماتیک GPS، یک مطالعه مقایسه‌ای.
- فری پ. : ۱۹۹۰، تعیین موقعیت به روش کینماتیک برای مثلث‌بندی هوایی.
- فری پ. : ۱۹۹۲، تجربیات عملی در مثلث‌بندی هوایی به کمک سیستم GPS.
- لی کی. : ۱۹۹۲، روشها و نتایج سرشکنی مرکب در استفاده با تعیین موقعیت کینماتیک توسط GPS و داده‌های فتوگرامتری.
- سارچاکوسکی ت. : ۱۹۸۸، روش خودکار و اتوماتیک در سیستمهای بلوک اجستمند فتوگرامتری.

می‌دهد. یک مدل با پارامترهای دریافت مشترک برای تمامی بلوک، کاملاً خوب عمل می‌کند. از طرفی حل به روش استفاده از چهار نقطه کنترل زمینی (XYZ) قرار گرفته در گوشه‌های بلوک به علاوه دو زنجیره از نقاط کنترل ارتفاعی که از میان رنهای پروازی در پائین و بالای بلوک عبور می‌نماید می‌تواند نتایج بسیار رضایت‌بخش و مطلوبی را به مالرانه دهد. البته اگر دورن ضربدری در بالا و پائین بلوک از میان آن عبور نماید، و جایگزین دو زنجیره از نقاط کنترل فوق گردد. در آن صورت اثبات شده است که نتایج بهتری حاصل می‌گردد (آکرمن ۱۹۹۲). اما در این مقاله موضوع به صرفه بودن هزینه‌ها و سود اقتصادی پروژه مسئله مورد توجه و مورد بحث بوده است. دومین پرواز آزمایشی (ایراه) یک مأموریت پرواز عکسبرداری هوایی جهت تهیه نقشه‌های مبنایی کشور فنلاند بود. فاصله بین گیرنده ساکن در فرودگاه و منطقه مأموریت در حدود ۱۶۰ الی ۲۰۰ کیلومتر بود. این مأموریت پرواز کلاً حدود ۴ ساعت طول کشید که این حالت در کشور فنلاند نسبتاً یک حالت نرمال می‌باشد. حتی فاصله‌های طولانیتر از این حالت کمیاب نمی‌باشند. از همه مهمتر این که گیرنده مرجع در فرودگاه می‌بایستی مستقر شود که زیرا که بعضی اوقات به واسطه وجود تغییرات شرایط آب و هوایی تصمیم‌گیری در مورد منطقه مورد عکسبرداری هوایی معمولاً پس از برخاستن هواپیما انجام می‌پذیرد. و چنانچه وضعیت هوا مناسب باشد در آن صورت بیشتر از یک منطقه (با حداقل قسمتی از یک منطقه) در طول مأموریت پرواز عکسبرداری می‌شود. مجموعه اطلاعات GPS به علت وجود تعداد زیادی سیکلهای قطع شده (cycle slips) از کیفیت مناسبی برخوردار نبودند. اطلاعات GPS می‌بایستی به طریقه پیش‌رونده و پس‌رونده نسبت به زمان از طریق فرآیند کالمن فیلترینگ پردازش شوند به گونه‌ای که بتوانند تمامی عکسها را پوشش دهند. نتایج به دست آمده از بلوک ایراه به ما می‌گوید که با وجود تمامی مشکلات و مسائل مطرح‌شده مثلث‌بندی هوایی به کمک سیستم GPS به خوبی جهت تهیه نقشه‌های 1:5000 و مقیاسهای کوچکتر در کشور فنلاند بسیار مناسب می‌باشد. از طرفی این بلوک بیان می‌نماید که با به کارگیری یک نقطه کنترل زمینی (XYZ) در هر گوشه از بلوک به اضافه دو زنجیره از نقاط کنترل ارتفاعی در پائین و بالای بلوک که از میان رنها عبور می‌نماید، می‌تواند یک حل ریاضی مناسبی را جهت آن ارائه دهد. همچنین فاصله طولانی بین گیرنده GPS ساکن در فرودگاه و منطقه مأموریتی مورد نظر جهت پرواز عکسبرداری هیچ گونه مسئله عمده‌ای را باعث نمی‌شود. از طرفی به نظر می‌رسد که استفاده از مدل‌های ریاضی معمول جهت پارامترهای دریافت در کاربرد با مسافت‌های طولانی مناسبتر باشند. در این حالت تنها تأثیر قابل توجه وجود امکان افزایش در اندازه شیفیت و پارامترهای دریافت است. از آنجاییکه توانستیم به دقت‌های مورد نیاز دست یابیم و از کار زمینی به طور قابل ملاحظه‌ای بکاهیم، لذا در اجزاء پروژه فوق به کمک GPS از لحاظ زمان و هزینه، کار به صرفه‌ای انجام پذیرفته است. آخرین توجه در مورد اطمینان و اعتماد به سیستم GPS می‌باشد. حالت‌های متداولی ممکن است اتفاق بیفتد که در نتیجه آن اندازه‌گیریهای سیستم GPS را ممکن است به علت مسائل تکنیکی مردود نمایند. با این حال ناخوشایند خواهد بود که تمامی یک مأموریت پروازی به علت مسائلی که بیشتر طبیعت زودگذر و آبی دارند ضایع