



ارائه تحقیقات در مورد ایجاد شبکه‌های مبنایی برای بررسی تغییرات پوسته‌ای زمین با استفاده از G.P.S.



۱) پیشگفتار

در اوایل دهه ۱۹۹۰ تمام ماهواره‌های سیستم تعیین موقعیت جهانی به کار گرفته شده، که یک ابزار نقشه برداری دقیق ۲۴ ساعته و در هر شرایط جوی در دسترس می‌باشند^۱ برای کاربردهای متنوعی که از نقشه برداری هیدروگرافی گرفته تا کنترل حرکت های تکنونیکي به وسیله شبکه های دقیق تغییر شکلهای پوسته ای GPS در مقاسیه با روشهای سنتی نقشه برداری، بدون نیاز به برقراری دید بین ایستگاهها، نوید حصول نتایجی سریعتر، دقیقتر و با هزینه های مطلوبتری را می‌دهد. در

با ضریبی در حدود ۳ بهتر از سازگاری در مختصات قائم می باشد، استفاده از اطلاعات جوی استاندارد برای یکی از شبکه ها که در ناحیه کوهستانی واقع بود، سازگاری مختصات افقی را بهتر نمود. از سرشکنی شبکه ای GPS و همچنین از سرشکنی مشاهدات زمینی EDM، در ازای طول بازها به دست آمد و مقایسه آنها یک ضریب مقیاس نسبی PPM ۱/۲ با اختلاف باقیمانده (rms) ۸ میلیمتر را مشخص نمود. با دقتی که در اینچنین شبکه های کنترل GPS وجود دارد میتوان در پنج سال آینده فشار انباشته شده را تعیین نمود.

به منظور تعیین مختصات دقیق نسبی نقاط دو شبکه کنترل تغییر شکل پوسته ای در ساحل غربی کانادا، مشاهداتی به روش GPS صورت گرفت که این مقاله مروری بر تجزیه و تحلیل این مشاهدات دارد. به دنبال توصیف شبکه ها و برنامه زمان بندی مشاهدات مربوطه، نرم افزاری که برای پردازش اطلاعات به کار گرفته شده، بررسی و به دنبال آن، خطاهای معمولی تعیین موقعیت نسبی GPS بحث گردیده است. با مقایسه نتایج طول باز تنها و سرشکنی کلی شبکه ای، سازگاری داخلی تعیین موقعیت GPS برای هر دو شبکه ارزیابی گردیده است. نتیجه این بود که سازگاری مختصات افقی

نگاره (۱)

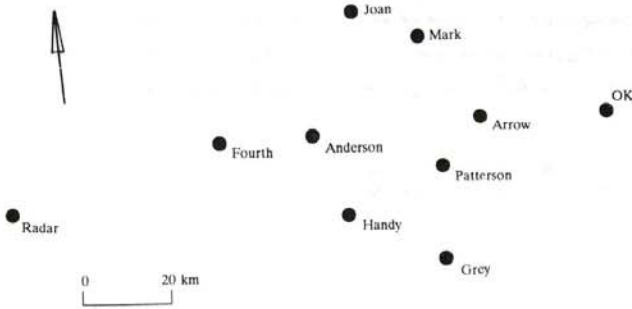


Figure 1 : Port Alberni GPS network.

نقشه برداری زمین شناسی امریکا، صورت گرفت. برای مشاهده مجموعاً ۲۴ ایستگاه از هشت گیرنده GPS از نوع $Ti\ 4100$ به طور هم‌زمان استفاده گردید. نگاره (۲). ۲۱ ایستگاه تنگه Juan de Fuca بین جزیره Olympic Peninsula* Vancouver را در ایالت واشنگتن نشان می‌دهد.

جنوب شرقی ایستگاه OK فرار دارد. چهار گیرنده GPS دو فرکانسه از نوع $Ti\ 4100^9$ به طور هم‌زمان در نقشه برداری به کار برده شده است.

نقشه برداری GPS در منطقه Juan de Fuca در تاریخ (۹-۱) سپتامبر ۱۹۸۶ (روزهای ۲۴۴ تا ۲۵۲) توسط گروه فوق‌الذکر به همراه

چند سال گذشته، تعداد محدودی از ماهواره‌های نسل اول GPS، ساعت‌ها روز در دسترس بوده‌اند. به منظور اصلاح و آزمایش روش‌های پردازش اطلاعات GPS و نرم‌افزارهای کامپیوتری برای هر دو کاربرد متحرک و ثابت^۳ شرکت‌های خصوصی و آژانس‌های دولتی و انستیتوهای تحقیقاتی کانادا، به طور گسترده‌ای مشاهدات ماهواره‌ای را به کار برده‌اند^۴. شرح پردازش اطلاعات و روند سرشکنی در نقشه برداری GPS و مقایسه آنها با نتایج حاصل از اندازه‌گیریهای دقیق زمینی، که اخیراً^۵ در غرب کانادا صورت گرفته است. دو کمپ مشاهداتی به منظور ایجاد شبکه‌های کنترل برای به تصویر کشیدن تغییر شکل‌های پوسته‌ای در نواحی حاشیه قاره‌ای از جنوب غربی British Columbia، یعنی محلی که جابجایی پیش‌بینی‌شده اندازه‌گیری شده به میزان $2/PPM$ ، نشانه فعالیت تکتونیکی آن است، طراحی گردیده‌اند^۵. قسمت‌های دوم و سوم شرح دو نقشه برداری و مروری بر نرم‌افزار کامپیوتری که برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به کار برده شده دربردارند. نمایش نتایج نقشه برداریهای GPS و همچنین بحث روی دقت‌های به دست آمده در حالت مطلق و در مقایسه با اندازه‌گیریهای دقیق زمینی که به طور هم‌زمان صورت گرفته، در قسمت چهارم آمده است.

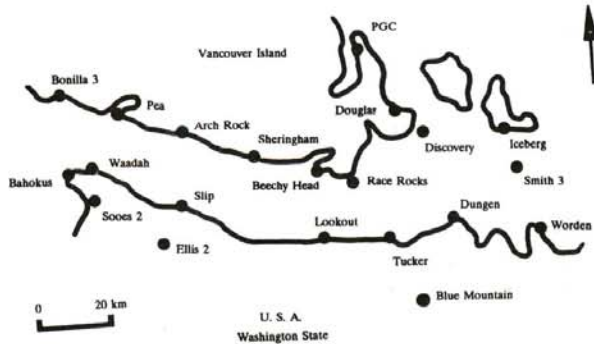


Figure 2 : Juan de Fuca GPS network.

(۲) شرح نقشه برداری GPS

نقشه برداری GPS در منطقه Port Alberni در تاریخ (۲۹ - ۲۰) اوت ۱۹۸۶ (روزهای ۲۳۲ تا ۲۴۱) توسط مرکز علوم زمینی پاسفیک از نقشه برداری زمین شناسی کانادا و نقشه برداری ژئودتیک کانادا، صورت گرفت. یازده ایستگاه نقشه برداری شده، جزئی از یک شبکه بزرگ کنترل جابجایی در جزیره مرکزی Vancouver می‌باشند. نگاره (۱) موقعیت نسبی ۱۰ ایستگاه شبکه را نشان می‌دهد. ایستگاه PGC که در نگاره (۱) نمی‌باشد، در حدود ۹۰ کیلومتری

نگاره (۲)



می‌باشد. همانگونه که در جدول (۱) می‌توان دید، دو ایستگاه از (RA'OK) Port Alberni تقریباً به طور مستمر در نقشه‌برداری به کار گرفته شده‌اند یک ایستگاه (PG) از شبکه فقط در یک جلسه و دیگر ایستگاهها حداقل در دو جلسه مشاهده گردیده‌اند.

ارتفاع بین ایستگاههای Juan de Fuca کمتر از ۲۰۰ متر می‌باشد. جداول (۱) و (۲) یک دید کلی از برنامه زمان بندی مشاهدات نقشه برداریها ارایه می‌دهد. اسم دو حرفی مختصر شده در پرانتز، به عنوان مشخص کننده ایستگاه به کار گرفته شده

اغلب ایستگاههای Juan de Fuca تقریباً در سطح دریا واقع شده و اختلاف ارتفاع بین ایستگاههای شبکه کوهستانی Port Alberni مشخص بوده و بیشتر از ۸۰٪ اختلاف ارتفاع این شبکه بین ۲۰۰ متر تا ۱۷۰۰ متر در حال تغییر بوده است و حال آنکه ۷۰٪ اختلاف

Station name (Abbr.)	Day 232	Day 233	Day 234	Day 235	Day 236	Day 237	Day 238	Day 239	Day 240	Day 241
OK (OK)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Patterson (PA)	*			*						
Joan (JO)	*					*				
Mark (MA)		*		*						
Anderson (AN)		*			*			*		
Grey (GR)			*				*			
Arrow (AR)			*		*	*			*	
Fourth Try (FO)						*		*		
Handy (HA)							*		*	
PGC (PG)										*
Radar Geod (RA)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Table 1 : Port Alberni GPS survey schedule.

Station name (Abbr.)	Day 244	Day 245	Day 246	Day 247	Day 248	Day 249	Day 251	Day 252
PGC (PG)	*	*	*	*	*	*	*	*
Blue Mountain (BM)	*		*					
Slip (SL)	*			*				
Lookout (LO)	*	*		*				
Tucker (TU)		*						
Race Rocks (RR)		*						
Dungen (DU)		*	*					
Discovery (DI)		*	*	*				
Douglas (DO)		*	*	*				
Smith 3 (SM)			*	*				
Worden (WO)			*	*				
Iceberg (IC)			*	*				
Beechy Head (BE)			*	*				
Bahokus (BA)			*	*				
Sooes 2 (SO)			*	*	*			
Arch Rock (AR)			*	*	*	*		
Sheringham (SH)			*	*	*	*	*	
Ellis 2 (EL)			*	*	*	*	*	
Pea (PE)			*	*	*	*	*	
Bonilla 3 (BO)			*	*	*	*	*	
Waodah (WA)			*	*	*	*	*	*
Rader Geod (RA)			*	*	*	*	*	*
OK (OK)			*	*	*	*	*	*
Penticton (PN)			*	*	*	*	*	*



یافت می‌شود.^۱

۲ - ۳) سرشکنی پارامتریک کمترین مربعات:

مشاهدات جدا شده ديفرانسیلی مرتبه دو فاز موج حامل برای به دست آوردن مختصات نسبی ایستگاهها در پردازش کمترین مربعات. سرشکن می‌شود. و برای دستیابی به بالاترین دقت ممکن از مشاهدات فاز موج حامل GPS، باید کلیه خطاهای موجود در اندازه‌گیریها، به نحو مطلوبی فرموله شده و یا با استفاده از روشهای مناسب حذف شوند. اثرات اصلی عبارتند از:

- خطاهای ساعت ماهواره‌گیرنده؛
- خطاهای مداری مربوط به خطاهای پارامترهای موقعیت ماهواره؛
- اثر تأخیر انتشار تورپوسفریک و یونسفریک؛

اگر مشاهدات کد GPS در دسترس باشد و به طور مناسبی در فرموله کردن فاز موج حامل به کار رود، مشاهدات اختلاف مرتبه دو فاز یک طرفه بین ایستگاهها و ماهوارهها، تمام خطاهای ساعت را حذف و اثر خطاهای مداری را نیز کاهش می‌دهد. این تکنیک که در برنامه MPROC سرشکنی فاز موج حامل GPS به کار گرفته شده است. تأخیر انتشار موج GPS در اثر یونسفر به فرکانس بستگی دارد. بنابراین مشاهدات دو فرکانس GPS می‌توانند ترکیب شده و اساساً تأخیر انتشار در اثر یونسفر را حذف نمایند. تأخیر انتشار در اثر تورپوسفر، می‌تواند با استفاده از یک مدل اتمسفری، به حساب آورده شود. در برنامه MPROC، مدل Hopfield که براساس هر دو اطلاعات جوی استاندارد و مشاهده تهیه و برای فرموله کردن اثر تأخیر انتشار تورپوسفر، به کار برده شده است.

مشاهدات اختلاف مرتبه دو فاز موج حامل GPS، نسبت به موقعیتهای مطلق ایستگاه مشاهده، خیلی کم حساس می‌باشند. بنابراین در عملیات سرشکنی، مختصات یک ایستگاه ثابت در نظر گرفته شده و مختصات دیگر

۱ - ۳) پیش پردازش اطلاعات

از کد خارج نمودن اطلاعات خام ۴۱۰۰، T_i، منتهی به دو فایل مختلف که به ترتیب شامل پارامترهای موقعیت مخایره شده و مشاهده فاز موج حامل می‌گردد. هدف اصلی پیش پردازش اطلاعات عبارت است از:

- کشف و حذف مشاهدات خطا؛
- کشف و تصحیحات قطع دریافت موج حامل؛
- محاسبه مختصات ماهواره به کمک پارامترهای موقعیت مخایره شده؛
- ایجاد یک فایل مشاهدات اختلاف مرتبه دو^۲ که از خطا عاری می‌باشد، جهت استفاده به عنوان اطلاعات اولیه برای سرشکنی پارامتریک؛

این اهداف با استفاده از دو برنامه اصلی و یک زیر برنامه صورت می‌گیرد. برنامه اول، یعنی PREGO، مشاهدات فاز یک طرفه (یک گیرنده، یک ماهواره) را تجزیه و تحلیل می‌نماید. هدف اصلی آن عبارت است از حذف خطاهای بدیهی اطلاعات و کشف و تصحیح قطع دریافت موج حامل در اندازه‌گیریهای فاز یک طرفه می‌باشد. اغلب قطع دریافتهای فاز در این مرحله به طور صحیحی حذف می‌شوند. برای کشف و تصحیح قطع دریافتهای فاز باقیمانده. اختلاف مرتبه دو فاز^۱ موج حامل در برنامه دوم، RREDD، برای طول بازهای از پیش انتخاب شده، تشکیل و تجزیه و تحلیل می‌شود. مختصات ماهواره برای هر مبدأ زمانی مشاهده از پارامترهای موقعیت مخایره می‌شوند. مشاهدات عاری از خطای اختلاف مرتبه دو فاز موج حامل و مختصات ماهواره برای سرشکنی ذخیره می‌شوند.

جدول (۲) نشان می‌دهد که ایستگاه PG در شبکه Juan de Fuca تقریباً به طور مستمر به کار گرفته شده است. بیشتر از نصف ایستگاههای این شبکه فقط یک بار مشاهده گردیده‌اند. متوسط تعداد جلسات مشاهده برای هر ایستگاه در شبکه Juan de Fuca ۱/۸ و برای شبکه Port Alberni ۳/۴ بوده که در مقام مقایسه نشانگر تکرار بیشتری در این شبکه می‌باشد.

در این دو نقش برداری، مشاهدات فاز موج حامل دو فرکانس هر ۱۵ ثانیه روی نوارهای مغناطیسی ضبط شده است. هر روز یک ترکیب ایستگاه خاص تقریباً^۳ برای ۵ ساعت مشاهده گردیده و اطلاعات هواشناسی (حرارت و رطوبت نسبی، فشار هوا) هر نیم ساعت برای هر ایستگاه، در همه جلسات مشاهده ثبت شده است.

۳) نرم افزار کامپیوتری

پردازش مشاهدات GPS شامل دو مرحله جداگانه می‌باشد. پیش پردازش برای حذف اثر خطاها و خارج سازی اطلاعات اشتباه و یک سرشکنی پارامتریک کمترین مربعات برای تعیین مختصات نسبی ایستگاهها (اطلاعات خام ضبط شده روی نوارها، قبلاً^۴ از حالت کد خارج شده است). نرم افزار کامپیوتری استفاده شده در سرشکنی اصلی، به وسیله لابراتوار تحقیقات ژئودتیک^۵ دانشگاه نیوبرانزویک و برنامه‌های استفاده شده در مرحله پیش پردازش، با هم کاری قسمت ژئو فیزیک، نقشه برداری زمین شناسی کانادا و لابراتوار تحقیقات ژئودتیک تهیه شده بود. این برنامه‌ها تشکیل برنامه پردازش ۲۰ DIPOP را داده و از آنجاییکه حذف اثر خطاها و تست اطلاعات، یک بار برای تمام سرشکنیهای بعدی ممکنه صورت گرفته بود، جدا سازی مراحل پیش پردازش و سرشکنی پارامتریک مفید به نظر می‌رسید. قسمت فعلی فقط عناصر اصلی برنامه را مطرح می‌سازد. جزئیات بیشتر در منابع زیر

ایستگاه‌های ثابت تعیین می‌شوند. تعداد ایستگاههای سرشکنی شبکه ای در هر ماه MPROC فقط با ظرفیت حافظه کامپیوتر محدود می‌شود نتایج سرشکنی اولیه برآوردی از ابهامهای اختلاف مرتبه دو فاز موج حامل و مختصات ایستگاههای مشاهده و ماتریس کوواریانس مربوطه است. طبق تعریف، ابهامهای اختلاف مرتبه دو فاز موج حامل اعداد صحیح هستند. اگر اعداد صحیح به توند به طور واضحی به نتایج اعداد حقیقی برآورد شده برای ابهامات فاز موج حامل نسبت داده شود، ابهامات براعداد صحیح ثابت شده و از مجموعه مجهولات در سرشکنی ثانوی حذف می‌شوند.^{۱۱} معمولاً سرشکنی ثانوی با ابهامات مشخص شده منجر به برآورد بهتری برای مختصات ایستگاهها می‌شود.

منابع اصلی خطاها روی سرشکنیها اثر می‌گذارند، اثر باقیماندههای مربوط به خطا در پارامترهای موقعیت استفاده شده برای محاسبه مختصات ماهواره GPS و نقص در محاسبه تأخیر تورپوسفر می‌باشد. اغلب نوشته ها، خطایی در سطح PPM آرا به مدارهای ماهواره GPS که از محاسبه پارامترهای موقعیت مخابره شده به دست آمده اند، نسبت می‌دهند. خطای حاصل در مختصات نسبی نیز می‌تواند همین مقدار باشد؛ تصحیح تأخیر تورپوسفری که برای فازهای موج حامل به کار می‌رود از دو خطا متأثر هستند. اولاً اطلاعات هواشناسی در سطح زمین که برای محاسبه تأخیر به کار می‌روند، نمایانگر مناسبی از حالت اتمسفر نمی‌باشند، ثانیاً خود مدل تأخیر تورپوسفریک مبتنی بر بعضی فرضیات بی ارزش است. خطاهایی در تصحیح تأخیر تورپوسفری مشاهدات فاز موج حامل GPS، منجر به خطایی در مؤلفه ارتفاع نسبی ایستگاه می‌شود. در حالت کلی، خطاهای تأخیر تورپوسفر برای ایستگاههای مختلف و یا جلسات مشاهده مختلف، متفاوت می‌باشند. خطاهای مدار ماهواره روی طول فازهای کوتاه که هم زمان

مشاهده شده اند به طریق مشابه اثر می‌گذارند. اما روز به روز تغییر می‌کنند. خطاهای موجود در مختصات ایستگاهی که به عنوان ایستگاه اصلی در نظر گرفته شده نتیجه بی از خطای مقیاس و یا خطای توجیه بوده که در تمام شبکه مشترک می‌باشند.

۴) پردازش اطلاعات و نتایج:

برای هر جلسه مشاهده پنج ساعته، یک مجموعه از (1 - n) طول باز مستقل بین n ایستگاه مشاهده تشکیل می‌شود.

فازهای موج حامل اندازه گیری شده برای هر کدام از طول بازها. همان گونه که در قسمت ۱-۳ ذکر شد، پیش پردازش شده و حاصل بر پرونده مشاهداتی عاری از خطای اختلاف مرتبه دو فاز موج حامل، برای هر طول باز می‌شود. سرشکنی کمترین مربعات به طور جداگانه برای اختلاف مرتبه دو فاز موجهای I1 و I2 انجام شد. بررسی باقیماندههای رسم شده سرشکنی، حذف تمام خطاهای اطلاعات و قطع فازها را مشخص می‌کند.

همانگونه که در قسمت ۲ ذکر شد، اندازه گیریهای GPS هر ۱۵ ثانیه در طول جلسات ۵ ساعته مشاهده ثبت گردیده است. این مقدار مشاهده برای کشف و حذف خطاهای اطلاعات و قطع فاز در مرحله پیش پردازش دارای مزیتی است. هرچند که در سرشکنی کمترین مربعات، بار محاسباتی متناسب با تعداد مشاهدات است. برای پیگیری هم‌زمان چهار موج مختلف ماهواره و یک چنین میزان اطلاعات بالایی، مجموعاً حدود ۴۸۰۰ مشاهده در هر جلسه و بیشتر از ۴۰۰/۰۰۰ مشاهده در هر گیرنده برای هر دو شبکه می‌شود. برای کاهش بار محاسباتی وحشتناک و نیازهای ذخیره برای سرشکنی شبکه‌ای که از این تعداد زیاد اطلاعات مشاهده حاصل شد، فقط یک مبدأ زمانی مشاهده را در هر دقیقه نگاه داشته که تعداد اطلاعات با ضریب چهار کاهش پیدا نمود. محاسبات آزمایشی با هر دو اطلاعات خلاصه شده و

اصلی، اختلاف ناچیزی را در حاصل طول بازها نشان داد. همچنین خلاصه نمودن اطلاعات، زمان مورد نیاز برای انتقال اطلاعات را بین کامپیوترهای HP ۱۰۰۰ و Apple Macintosh (که از آنها در مراحل مختلف پردازش استفاده گردید) کاهش داد. برای جلوگیری از خطاهای زیاد تأخیر تورپوسفری در مشاهدات ماهواره در ارتفاعات کم، تمام مشاهدات زیر زاویه ارتفاعی ۲۰ حذف گردید.

مشاهداتی که در بالا توصیف شد، برای تعیین ابهامات اختلافهای مرتبه دو فاز موج حامل به کار برده شده است. برای طول بازهایی که مقادیر اعداد صحیح ابهامات آنها از برآوردهای عدد حقیقی آنها مشخص شده است، ابهامات بر اعداد صحیح فیکس شده و یک حل «ابهام فیکس شده» فراهم می‌سازد (قسمت ۲-۳ را نگاه کنید). برای به دست آوردن حاصل نهایی طول باز تنها، مشاهدات I1 و I2 به منظور حذف اثر انکسار یونسفر ترکیب شده و مجدداً پردازش صورت گرفت. سرشکنی کمترین مربعات این مشاهدات ترکیب شده، دقت مشاهدات را از باقیماندههای سرشکنی مشخص کرده و در هر دو شبکه، انحراف معیار برآورد شده از مشاهدات اختلاف مرتبه دو فاز موج بین ۱۳ میلیمتر و ۳۰ میلیمتر تغییراتی پیدا شده که از این مقادیر برای تعیین وزن های مشاهدات هر طول بازو سرشکنی شبکه‌ای بعدی استفاده گردید.

حل نهایی برای مختصات نسبی ایستگاهها در سرشکنی هم زمان مشاهدات دو شبکه به دست آمده ترکیب اختلاف مرتبه دو فاز موج حامل I1 و I2 که عاری از انکسار یونسفر بوده، با وزن های مشاهده که در سرشکنی طول بازهای تنها مشخص، و استفاده گردید. یک معیار خوب برای سازگاری بین سرشکنی های هر کدام از طول بازها، فاکتور واریانس ثانویه است که از سرشکنی شبکه‌ای به دست می‌آید. هر اختلاف چشمگیری که فاکتور واریانس ثانویه ای از ۱ داشته باشد، بیانگر ناسازگاری در مشاهدات است که ناشی از خطاهای فرموله



دیده می‌شود که اختلافات طول همه طول باز ها به جزء دوتا از آنها زیر ۰/۵ PPM می‌باشد ابهامات فاز موج حامل در سرشکنی ده، طول باز ۲۳۲ (OK - PA) و ۲۳۶ (AN - RA) دقیق بسته نشده است گرچه علت این خطاها شناخته نشده است. در جمع rms اختلاف مؤلفه ارتفاع به ۴۶ میلیمتر رسید (rms اختلاف مؤلفه های عرض، طول جغرافیایی و طول آنها به ترتیب ۱۰ میلیمتر و ۲۳ میلیمتر و ۰/۴۴ میلیمتر می‌باشد). طبق قسمت (۲ - ۳) این اختلافها باید مربوط به خطاهای مدار ماهواره GPS و نقص فرموله کردن تأخیر توربوسفر باشد چون اختلاف مؤلفه ارتفاع به طور چشمگیری بزرگتر از اختلاف مؤلفه افقی می‌باشد، به یقین خطاهای تأخیر توربوسفری، منبع اصلی خطا می‌باشد. بحث در جزئیات نتایج نقشه برداری GPS در Port Alberni^{۱۲} ارایه شده است.

کل عملیات سرشکنی برای شبکه Port Alberni

فیکس شده» را ممکن می‌سازد مختصات ایستگاه OK در سرشکنی ثابت در نظر گرفته شده است (مؤلفه خطا در طول باز که در حل شبکه برآورد شد زیر ۵ میلیمتر بود).

فاکتور واریانس ثانویه که از سرشکنی شبکه به دست آمده ۱/۴ بود که نشانگر عدم سازگاری بین حل‌های طول باز تکرار شده می‌باشد جزئیات مقایسه بین نتایج طول باز و شبکه در جدول ۳ نشان داده شده است. جدول به صورت زیر طرح ریزی شده است:

ستون ۱ طول باز را مشخص می‌کند، ستونهای ۲ و ۳ به ترتیب مؤلفه طول باز و ارتفاع را که از سرشکنی به دست آمده مشخص می‌نماید. ستونهای ۴ و ۵ و ۶، اختلاف بین محاسبه شبکه و طول باز، به ترتیب در مؤلفه های عرض و طول جغرافیایی و ارتفاع را لیست نموده است. ستون ۷ اختلاف درازای طول باز به میلیمتر و ستون ۸ به PPM نشان داده است.

نشده می‌باشد (قسمت ۲ - ۳ را نگاه کنید) یک برآورد بهتری برای رابطه بین حل طول بازهای تنها و سرشکنی کلی شبکه، با تجزیه و تحلیل تمام اختلافات در مؤلفه های طول باز از دو مجموعه حل، به دست می‌آید.

۱ - ۴) نتایج نقشه برداری

Port Alberni

بعد از خلاصه نمودن اطلاعات، مجموع ۱۷۴۴۱ اختلاف مرتبه دو فاز حامل در پرونده مشاهدات ۲۸ طول باز مستقل مشاهده شده باقی ماند (اگر n گیرنده بطور هم زمان مشاهده کنند، فقط (n - ۱) اختلاف مرتبه دو طول باز مستقل از اندازه گیرهای فاز می‌تواند تشکیل شود) که برای تعداد ۲۰ عدد از آنها عدد صحیح ابهام فاز موج حامل می‌تواند به طور صریح در پردازش ابتدایی تعیین گردد که حل بعدی «ابهام

Baseline	Length (m)	Hgt Comp. (m)	D Lat. (mm)	D Lon. (mm)	D Hgt. (mm)	D L. (mm)	D L. (ppm)	Day
OK - PA	34375.539	771.742	-7	70	-69	-67	-1.95	232
			-3	-7	18	8	0.23	235
PA - JO	34250.813	317.120	-2	-5	-19	-1	-0.03	232
JO - RA	76535.236	-1433.294	30	-42	76	20	0.26	232
OK - MA	37391.611	497.188	1	-4	25	4	0.11	233
MA - AN	28114.526	294.199	0	-1	13	1	0.04	233
AN - RA	60450.433	-1135.819	-5	10	82	-10	-0.17	233
			29	-58	-82	52	0.86	236
OK - AR	24126.333	1350.393	2	4	7	-3	-0.12	234
			-1	-5	32	7	0.29	236
			-3	-2	22	3	0.12	240
GR - AR	26626.208	488.032	-3	9	-40	-1	-0.04	234
AR - RA	92282.639	-1694.825	-13	-1	50	3	0.03	234
MA - PA	25168.343	274.554	1	-2	5	-1	-0.04	235
MA - RA	86464.387	-841.620	-6	36	-16	31	0.36	235
AN - AR	32059.985	559.006	-1	-5	-33	-5	-0.16	236
OK - JO	52062.091	1088.863	8	4	9	0	0.00	237
JO - FO	36224.073	-20.822	-1	1	-41	0	0.00	237
FO - RA	42539.547	-1412.472	-3	0	-38	2	0.05	237
			1	3	-2	3	0.07	239
OK - GR	41254.006	862.361	2	6	-7	-6	-0.15	238
GR - HA	20349.844	-80.921	7	-3	39	6	0.29	238
HA - RA	64507.234	-1125.872	-7	-5	-56	6	0.09	238
			8	1	115	-3	-0.05	240
OK - AN	56131.697	791.387	0	22	-44	-23	-0.41	239
AN - FO	18191.175	276.653	-1	1	14	-1	-0.05	239
AR - HA	31654.452	-568.953	-9	-4	-50	10	0.32	240
PG - RA	781915.745	105.960	-5	24	8	-10	-0.05	241

Table 3 : Differences between baseline and network solution, port Alberni.

جدول ۳



که دقت مشابه دارد، ایجاد می‌شود. برای این منظور، در ایستگاههای GPS شبکه Port Alberni هم‌زمان یک نقشه‌برداری زمینی با دقت بالا صورت گرفت. بیشتر از ۷۵ فاصله که بین ۷ کیلومتر تا ۱۲ کیلومتر تغییر کرد با یک K & E Rangemaster III در حالی که مسیر عبور امواج دستگاه فوق برای اندازه گیری حرارت و رطوبت پیموه شد، مشاهده گردید. فواصل بین نقاط با ایجاد اجبار در مقدار اولیه یک آزیموت، در یک سرشکنی کمترین مربعات ترکیب گردید (نقشه برداری ژئودتیک کانادا ۱۹۸۷).

در جدول ۵، مقادیر سرشکن شده برای ۲۲ طول EDM را با فواصل نقاط شبکه Port Alberni که از سرشکنی شبکه GPS حساب شده، مقایسه کرده. انحراف معیارهای برآورد شده برای فواصل EDM زیر 0.5 PPM هستند (در همان جا) و ستون یک طول باز را مشخص کرده و ستون ۲ و ۳ به ترتیب در ازای طول بازها را که از حل شبکه GPS و اندازه گیریهای سرشکن شده EDM به دست آمده، لیست می‌نماید. ستونهای ۴ و ۵ اختلاف بین طولهای GPS و EDM را به ترتیب به میلیمتر و PPM می‌دهد. واضح است که قسمت اصلی این خطاها طبیعت سیستماتیک دارند. قسمت سیستماتیک خطاها به وسیله اختلاف مقیاس متوسط $1/16 \text{ PPM}$ - بین فواصل GPS و EDM بیان می‌شود یعنی طولهای GPS به طور متوسط $1/16 \text{ PPM}$ کوچکتر از طولهای EDM است. حذف اثر این اختلاف مقیاس از ستونهای ۴ و ۵ منجر به اختلاف باقیمانده‌های لیست شده در ستون ۶ و ۷ می‌شود rms اختلاف باقیماندهها 0.4 PPM یا ۸ میلیمتر می‌باشد.

چندین راه برای توضیح اختلاف مقیاس در حدود $1/2 \text{ PPM}$ وجود دارد. همان‌گونه که در قسمت (۲-۳) ذکر شد، اختلاف مقیاس ممکن است مربوط به عدم دقت در مختصات مطلق ایستگاه ثابت در نظر گرفته شده ی OK باشد، یا به عبارت دیگر، مربوط به خطاهای

جدول ۳ طرح ریزی شده، نشان داده شده است. که در این حالت اختلاف طولها برای بازها زیر 0.4 PPM می‌باشد. طول بازهاییکه تکرار نشده‌اند، جایگاه ایستگاه فقط در یک جلسه کار شده و با علامت ستاره (*) در ستون ۹ نشان داده شده است. بدیهی است، این طول بازها اختلافی ندارند، کمیت آماری زیر فقط از اختلاف طول بازهای تکراری، محاسبه شده است. rms اختلاف طول باز در عرض و طول جغرافیایی به ترتیب ۴ میلیمتر و ۵ میلیمتر می‌باشد. rms بیشتر اختلاف مؤلفه ارتفاع یعنی ۲۲ میلیمتر نشانگر فرموله کردن نامناسب تأخیرهای تورپوسفری می‌باشد. rms اختلاف طول 0.1 PPM می‌باشد شرح جزئیات بیشتر تجزیه و تحلیل شبکه Juan de Fuca بیان شده است. به وسیله 11 جدول ۴ مقایسه نتایج بین دو شبکه در زیر نشان داده شده است.

● برای هر دو شبکه، اختلاف در مؤلفه ارتفاع بین حلهای طول باز و شبکه در حدود ۵ برابر اندازه اختلاف در مؤلفه افقی است.

● اختلاف برای شبکه Port Alberni در حدود ۲ یا ۳ برابر بزرگتر از شبکه Juan de Fuca می‌باشد.

اندازه تصحیح تأخیر تورپوسفری برای اختلاف مرتبه دو فاز موج حامل تقریباً متناسب با اختلاف ارتفاع بین دو ایستگاه است. از آنجاییکه اختلاف ارتفاع بین ایستگاههای شبکه Port Alberni به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از شبکه Juan de Fuca می‌باشد، ممکن است به فرموله شدن تورپوسفر سهمی در ازباید اختلاف ارتفاع شبکه قبلی، داشته باشد.

۳-۴) مقایسه با اندازه گیریهای زمینی

در دو قسمت قبلی سازگاری داخلی نتایج نقشه برداری GPS با مقایسه نتایج تک تک طول باز با سرشکنی کلی شبکه، ارزیابی گردیده است. معیار سازگاری، به وسیله مقایسه نتایج GPS با یک روش استاندارد غیر ماهواره‌ای

با استفاده از پارامترهای جوی برون بایه شده از مقادیر استاندارد سطح دریا (فشار هوا 1013.25 mbar و حرارت 15 cc رطوبت نسبی ۵۰٪) به جای مقادیر مشاهده شده، تکرار گردید و رابطه بین حلهای تک تک طول باز و سرشکنی کلی شبکه، بهتر از قبل شد و فاکتور واریانس ثانویه $1/2$ گردید. این نشان می‌دهد که در شبکه خاص GPS که در اینجا تجزیه و تحلیل گردیده و استفاده از اطلاعات جوی اندازه گیری شده نتایج موقعیت نسبی را بهتر نموده است^{۱۳}. یعنی اختلافات بین نتایج شبکه که با استفاده از اندازه گیری اطلاعات هواشناسی و استاندارد، به دست آمده، دارای 4 rms میلیمتر در اختلاف در ازای طول باز و 28 rms میلیمتر در اختلاف ارتفاع می‌باشد.

۲-۴) نتایج نقشه برداری Juan de Fuca

بعد از خلاصه نمودن اطلاعات مجموع ۲۲۵۱۲ اختلاف مرتبه دو فاز موج حامل در پرونده مشاهدات مربوط به ۳۲ طول باز مستقل انتخاب شده باقی ماند. برای ۳۲ طول باز، عدد صحیح ابهام در فاز می‌تواند در مرحله پردازش اولیه، بدون ابهام تعیین شده و یک حل «ابهام فیکس شده» را ممکن سازد. مختصات ایستگاه PGC در سرشکنی شبکه‌ای ثابت در نظر گرفته شد. مؤلفه خطاهای طول باز که در حل شبکه برآورد شده بود بین ۱ میلیمتر تا ۱۵ میلیمتر تغییر کرد و حداقل فاکتور واریانس ثانویه یعنی $1/0.8$ از سرشکنی شبکه Juan de Fuca به دست آمد، این حاکی از یک سازگاری بهتر از شبکه Port Alberni، بین حلهای طول باز را نشان می‌داد. اما با در نظر گرفتن تعداد کمتر پوشش طول بازها و تعداد بیشتر مشاهدات برای شبکه Juan de Fuca این نتیجه به دست آمد که هر دو شبکه یک درجه از سازگاری را نشان می‌دهند. یک مقایسه ای بین نتایج طول باز و شبکه، که از اطلاعات مشاهده شده و جوی به عمل آمده، در جدول ۴ که مشابه



Baseline	Length (m)	Hgt Comp. (m)	D Lat. (mm)	D Lon. (mm)	D Hgt. (mm)	D L. (mm)	D L. (ppm)	Day
PG - DO	18932.016	204.432	0	0	-16	0	0.0	245
			2	1	-6	-2	-0.1	246
PG - SH	46089.601	-3.417	6	3	20	-3	-0.1	248
			2	-20	-30	14	0.3	251
PG - BE	38618.467	182.057	-4	-2	9	5	0.1	247
PG - AR	59691.572	-7.034	-5	5	-4	-2	0.0	249
PG - OK	87744.170	450.231	0	0	0	0	0.0	252
PG - PN	290211.189	527.645	0	0	0	0	0.0	252
LO - BM	37565.923	1502.417	0	1	0	0	0.0	244
LO - RR	19427.615	-316.015	-3	-1	3	-4	-0.2	245
LO - BE	19939.046	-124.416	2	0	-1	2	0.1	247
BM - SL	80604.363	-1692.037	2	2	-2	-1	0.0	244
SL - SO	26175.548	459.435	8	4	53	-2	-0.1	247
SL - SH	26869.293	-120.270	-2	2	-41	1	0.0	247
TU - RR	20103.086	9.771	0	0	0	0	0.0	245
DU - DI	28497.508	30.026	5	1	-40	4	0.1	245
			-5	-1	38	-5	-0.2	246
DI - RR	16645.479	-19.939	1	1	-1	-1	0.0	245
DI - DO	11625.663	194.034	-2	2	20	-3	-0.3	245
			0	-2	-14	1	0.1	246
DI - IC	25332.282	10.061	0	0	0	0	0.0	246
DO - BE	29306.481	-22.375	2	1	-12	-2	-0.1	246
SM - WO	20562.852	64.375	0	0	0	0	0.0	246
SM - IC	11654.716	25.633	0	0	0	0	0.0	246
SO - BA	11556.646	-159.041	0	0	0	0	0.0	247
SO - AR	34370.445	-583.322	-3	-4	26	-6	0.2	248
SO - EL	24883.396	217.272	0	0	0	0	0.0	248
SH - BE	20413.103	185.474	0	1	8	1	0.0	247
SH - AR	22812.810	-3.617	1	2	-18	-1	0.0	247
			7	1	-16	2	0.1	248
SH - WA	50149.308	-1.984	0	0	0	0	0.0	251
AR - BO	40577.407	-10.134	-7	-4	-21	1	0.0	248
AR - PE	20484.500	-4.319	5	3	15	0	0.0	249
BO - PE	20110.362	5.816	-6	-3	-17	-1	0.0	249
RA - OK	116156.244	344.500	0	0	0	0	0.0	252

Table 4 : Differences between baseline and network solution, Juan de Fuca.

۵ نتایج

ترتیب ۱۰/۲۳ میلیمتر و ۴۶ میلیمتر برای دو مؤلفه افقی و مؤلفه قائم می‌باشد. برای این شبکه استفاده از اطلاع جوی استاندارد برون پابی شده منجر به ناسازگاری^{۱۵} بزرگتری می‌شود اختلاف اصلی در مختصات نسبی که از سرشکنی با اطلاع جوی مشاهده شده و استاندارد به دست آمده، در مؤلفه ارتفاع به میزان ۲۸ میلیمتر (rms) می‌باشد از آنجائیکه این اختلافها را اساساً مربوط به بد فرموله کردن تأخیر تورپوسفر می‌دانیم، گسترش مدل سرشکنی برای دربرگیری پارامتر خطای مقیاس تورپوسفر، ممکن است که منجر به

نتایج تعیین موقعیت نسبی که از مشاهدات دوفرکانسه GPS در دو شبکه کنترل تغییر شکلهای پوسته‌ای به دست آمده، با استفاده از مدارهای مخایره شده برای ماهوارهها، تجزیه و تحلیل شده است. برای شبکه Juan de Fuca توافق داخلی بین حل هر طول باز و سرشکنی کلی شبکه بهتر از ۵ میلیمتر (rms) در مؤلفه های افقی طول باز و ۲۲ میلیمتر (rms) برای مؤلفه قائم است. در شبکه کوهستانی Port Alberni این توافق با rms اختلافهایی به

سیستماتیک مداری در هنگام مشاهده باشد. دلیل دیگر ممکن است که تعریف و نمود متفاوت مقیاس در دو سیستم EDM و GPS باشد. مقیاس EDM به طور قابل اطمینانی فقط تا چند Ppm می‌تواند کالیبره شود و تبدیل درجه حرارت هوا از حالت متغیر به حالت ساکن، می‌تواند شامل خطاهای سیستماتیکی باشد که تا سطح ۰/۵ Ppm روی مقیاس اثر می‌گذارد. اختلاف باقیماندهها بعد از سرشکنی مقیاس بین نتایج دو سیستم کاملاً مستقل با برآورد دقت حل شبکه GPS، همان گونه که در قسمت ۴ - ۴ به دست آمده، موافقت دارد.



پوسته‌ای در این ناحیه، در طول ۳ تا ۵ سال آینده را دارا است. آینده نشان خواهد داد که آیا دقت نقشه برداری GPS، خصوصاً وقتی که کاهش عمومی دقت سیستم به کار گرفته می‌شود، در همان سطح خطاهای مدار مخابره شده GPS می‌تواند بماند یا خیر؟

سیستمهای اندازه‌گیری GPS و EDM باشد. اختلاف باقیمانده‌ها بعد از سرشکنی مقیاس به ۸ میلیمتر (rms) می‌رسد. این نشان می‌دهد که، برای مؤلفه های افقی طول باز، نقشه برداری دو فرکانسه GPS به سطح دقتی قابل مقایسه با دقت وسایل سنتی EDM در اندازه گیری طول بازهای بین ۱۰ کیلومتر تا ۱۰۰ کیلومتر می‌رسد در نتیجه قابلیت تعیین جابه جایی انباشته شده

نتایج ارتفاعی ناسازگاری بیشتری شود. در شبکه Port Alberni مقایسه در ازای طول بازهای تعیین شده از GPS با مقادیر به دست آمده که سرشکنی اندازه‌گیری دقیق با EDM، اختلاف مقیاس ۱/۲ Ppm را نشان می‌دهد این اختلاف مقیاس ممکن است که مربوط به خطای مختصات ایستگاه ثابت در سرشکنی GPS و یا ناشی از نمود مختلف مقیاس برای

Baseline	L.(GPS)	L.(terr.)	D.[mm]	D.[ppm]	R.D.[ppm]	R.D.[ppm]
	R.D.(mm)					
OK - AR	24126.333	24126.372	-39	-1.62	-0.46	-11
OK - MA	37391.611	37391.642	-31	-0.83	0.33	12
GR - HA	20349.844	20349.860	-16	-0.79	0.37	8
GR - PA	15876.452	15876.463	-11	-0.69	0.46	7
GR - AR	26626.208	26626.232	-24	-0.90	0.25	7
Gr - AN	33433.052	33433.087	-35	-1.05	0.11	4
PA - HA	19380.809	19380.833	-24	-1.24	-0.08	-2
PA - AR	12972.752	12972.761	-9	0.69	0.46	6
PA - AN	24367.815	24367.819	-34	-1.40	-0.24	-6
PA - MA	25168.343	25168.381	-38	-1.51	-0.35	-9
PA - JO	34250.810	34250.859	-16	-1.34	-0.19	-6
AR - MA	18623.822	18623.834	-12	-0.61	0.51	10
AR - HA	31654.452	31654.480	-28	-0.88	0.27	9
AR - AN	32059.985	32060.016	31	-0.97	0.19	6
AR - JO	31838.173	31838.206	-33	-1.04	0.12	4
HA - AN	15977.130	15977.153	-23	-1.44	-0.28	-5
HA - FO	27257.284	27257.316	-32	-1.17	-0.02	0
MA - AN	28114.526	28114.570	-14	-1.57	-0.41	-12
MA - JO	14674.199	14674.234	-35	-2.39	-1.23	-18
AN - FO	18191.175	18191.200	-25	-1.37	-0.22	-4
AN - JO	24868.791	24868.813	-22	-0.88	0.27	7
JO - FO	36224.073	36224.110	-37	-1.02	0.13	5
				MEAN	RMS	RMS
				-1.16	0.40	8

L. (GPS) : Baseline length from GPS network adjustment
 L. (terr.) : Baseline length from adjusted terrestrial measurements
 D. (mm) : Difference L. (GPS) - L. (terr.) in millimeters
 D. (ppm) : Difference L. (GPS) - L. (terr.) in parts per million
 R. D. (mm) : Residual D. after scale adjustment in millimeters
 R. D. (ppm) : Residual D. after scale adjustment in parts per million

Table 5 : Comparison of GPS and terrestrial distances.

- | | | |
|------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| 1) Global Positioning System | 5) Lisowski ۱۹۸۶ | 10) Phase Double Difference |
| 2) Wells ۱۹۸۶ | 6) Texas Instrument | 11) Beutler ۱۹۸۷ |
| 3) Kinematic & Static | 7) GRL | 12) Georgiodou ۱۹۸۷ |
| 4) Lachapelle ۱۹۸۷ | 8) Santerre ۱۹۸۷ | 13) Rothacher ۱۹۸۶ |
| Nakiboglou ۱۹۸۷ | Kleusberg ۱۹۸۷ | 14) Kleusberg و wanninger ۱۹۸۷ |
| Delikaraoglou ۱۹۸۶ | Vanicek ۱۹۸۵ | 15) inconsistency |
| Vanicek ۱۹۸۵ | 9) Double Difference | |