دستیابی به دقت یک متر در تعیین موقعیت مطلق یک متحرک پس از پردازش نهایی داده‌های GPS

چکیده

مقصود از تعیین موقعیّت مطلق همان استفاده از یک گیرنده منحصر به فرد GPS است. در اندازه‌گیریها و پردازشهای آنی و لحظه‌ای[1] داده‌های GPS، دقّت تعیین موقعیّت نقاط به‌وسیله خطاهایی همچون مدار ماهواره، پارازیت عمدی S.A.[2] تأثیرات ناشی از انتشار امواج حامل در محیط، گیرنده و خطاهای ناشی از انعکاس امواج از روی سطوح محدّب و صیقلی[3] محدودتر می‌شود. معمولاً در چنین شرایطی دقّت تعیین موقعیّت مطلق در جهت مؤلفه‌های افقی در حدود ۱۰۰ متر (در سطح اطمینان خطای ۹۵ درصد) و برای مؤلفهٔ ارتفاعی ۱۵۶ متر است. عمده‌ترین خطاها بیشتر از مدار ماهواره‌ها و پارازیت عمدی S.A. ناشی می‌شوند. S.A. روشی است که به‌وسیله آن به‌طور عمد ایستگاههای کنترل ماهواره‌ها خطای مداری در حدود ۱۰۰ متر را برای ماهواره‌ها ارسال می‌نمایند که این عمل باعث محدودتر شدن دقّت دسترسی مطلوب برای استفاده کنندگان GPS در هنگام تعیین موقعیّت مطلق و آنی با تکنولوژی مزبور است. نتایج خطای S.A. تغییراتی حدود ۳۰ سانتی‌متر بر ثانیه را در ساعت ماهواره‌ها ایجاد می‌کند. تعیین موقعیّت مطلق روشی است بسیار باارزش و آسان، از آن جهت که نیازی به استفاده از یک ایستگاه مرجع با موقعیّت معلوم توسط گیرنده‌ای دیگر هرگز احساس نمی‌شود. نیاز به داشتن ایستگاه مرجع اجباری است که از لحاظ تدارکاتی و اقتصادی تهیه و انتخاب آن برای بسیاری از عملیات نقشه‌برداری مشکل‌آفرین است. بنابراین سوألی که در اینجا مطرح می‌باشد این است که آیا این امکان وجود دارد که بتوانیم سطح دقّت تعیین موقعیّت مطلق را هنگام پردازش داده‌های GPS به‌وسیله روش Postmission[4] بهبود بخشیم؟

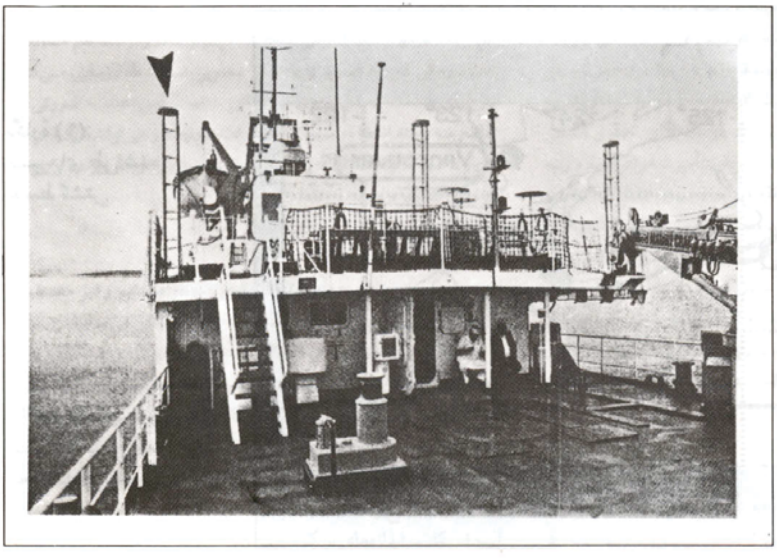
برای پاسخ به این سوأل و انجام آن نیاز به داشتن پارامترهای دقیق مداری وتصحیحات مربوط به ساعت ماهواره‌ها داریم. فقط تعداد مخصوصی از سازمانهای دولتی به این پارامترها دسترسی دارند. به طوری که می‌توان جهت اجرای محاسبات واسطه‌یابی دقیق تصحیحات مربوط به ساعت ماهواره را فقط در یک فاصله زمانی کوتاه در دسترس داشته باشیم. به‌واسطهٔ تغییرات سریع خطای ساعت ماهواره‌ها در اثر اجرای S.A.، ما همواره نیازمند به دانستن تصحیحات مربوط به تعیین موقعیّت دایمی[4] می‌باشیم. واحد نقشه‌برداری ژئودتیک سازمان منابع ملّی کانادا یکی از اوّلین سازمانهای دولتی است که اطلاعات مزبور را براساس یک طریق و قاعدهٔ اساسی تولید می‌کند. پارامترهای مداری در تعیین موقعیّت دایمی تا سطح دقّت ۱۲ سانتی‌متر موقعیّت نقاط را بهبود می‌بخشند. این پارامترها نسبت به یک دستگاه مختصّات مرجع که به‌نام دستگاه مرجع زمینی بین‌المللی[5] یا به عبارتی سرویس دوّار زمینی بین‌المللی[6] مشهور است حاصل می‌شوند. از طرفی دقّت تصحیحات ساعت ماهواره‌ها در حدود یک نانوثانیه (≤1ns) می‌باشد. که در داده‌های محاسبه شده از سیستم کنترل فعال کانادایی[7] استفاده می‌کنند. این سیستم یک شبکهٔ دایمی ردیابی کننده جهت ماهواره‌های GPS است. این روش که می‌تواند شیوه‌ای از روش تعیین موقعیّت تفاضلی GPS را در مناطق وسیع ازآن تعبیرنمود اشاره به‌نوعی

نام مقاله : Post - mission GPS Absolute Kinematic Positioning at One - metre Accuracy Level

نام نشریه : GIm, January 1995

نویسنده : Dr. Gérard Lachapelle, Department of Geomatics Engineering, the University of Calgary

مترجم : مهندس عباسعلی صالح‌آبادی (کارشناس ارشد ژئودزی)



نگارهٔ (۱):
آنتن GPS برروی کشتی

ازخطای S.A.[۸] به‌نام SAM[۹] می‌کند که به‌وسیله NRCan اجرا می‌شود. برای دسترسی به سطح خوبی از دقّت با استفاده از اطلاعات تعیین موقعیّت دایمی در ماه نوامبر سال ۱۹۹۳ م (برابر با آبان ماه سال ۱۳۷۲ هـ ش) یک شناور دریایی بدون هدایت کننده ساحلی، اوّلین سفر آزمایشی خود را در جزیرهٔ Vancouver آغاز نمود. در این آزمایش از یک شناور دریایی جهت مشاهدات موقعیتهای GPS استفاده شد. نتایج به دست آمده از این آزمایش درذیل به‌طور مختصر بیان شده است.

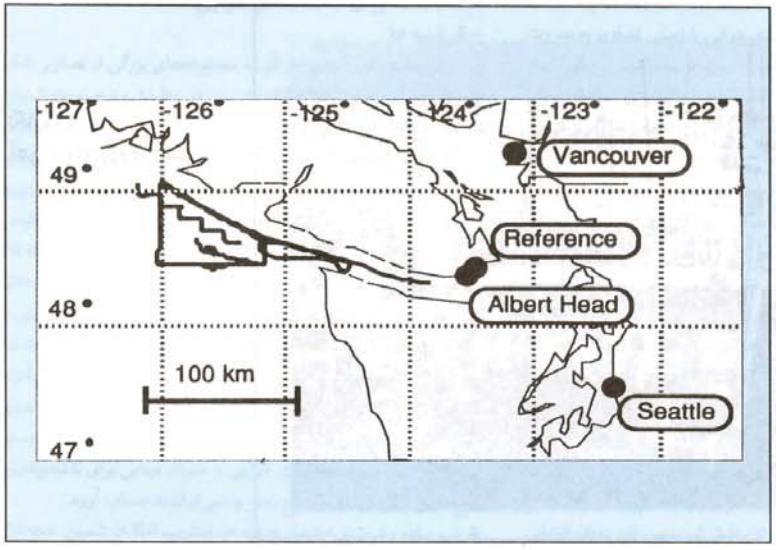
شناور دریایی و مشاهدات

شناور دریایی استفاده شده جهت جمع‌آوری داده‌ها، یک کشتی تحقیقاتی ۷۵ متری متعلّق به ادارهٔ دفاع ملّی کانادا[۱۰] است (به نگارهٔ ۱ رجوع شود).

نوع گیرنده مورد استفاده در این آزمایشها، یک نوع گیرنده ده کاناله C/A کُد(Code) با موج حامل L1 به فرکانس ۱۵۷۵/۴۲ مگاهرتز، به‌نام GPS Card™ 951 ساخت شرکت NovAtel کانادااست. این‌نوع گیرنده دارای یک قابلیّت فنّی به‌نام Narrow Correlator™ است که این قابلیّت باعث می‌گردد که گیرنده مزبور بتواند اندازه‌گیریهای همراه با پارازیتهای با فرکانس پایین ودارای خطاهای مالتی پت (Multi path)[۱۱] با دامنهٔ بالا را حذف نماید. نوع آنتن استفاده شده به‌نام NovAtel Model 501 مجهّز به یک صفحهٔ فلزی مسطّح در گرداگرد آن به‌نام Ground-plane است. داده‌ها در طول مسیر نشانداده شده در نگارهٔ ۲ جمع‌آوری شدند. در این سفر تحقیقاتی سرعت شناور دریایی مورد نظر بین ۱۰ تا ۱۵ نات (Knot(s)) دریایی متغیّر بود. از طرفی داده‌های فوق طی زمانهای دوازدهم الی هجدهم ماه اکتبر (October) جمع‌آوری شده‌اند. این داده‌ها شامل ۱۰۰ ساعت داده با فاصله‌های زمانی یک ثانیه‌ای هستند که بالغ بر ۱۰ ماهواره با زاویه ارتفاعی حداقل ۵ درجه از افق محل در طی این مدّت از اندازه‌گیریهای همزمان دو گیرنده GPS وجود دارند. از طرفی هنگام جمع‌آوری همزمان اندازه‌گیریهای دو گیرنده مقادیر دقّت هندسی وضعیت قرارگیری ماهواره‌ها در فضابرای مؤلفه افقی موقعیّت کشتی (HDOP) و برای مؤلفه قائم (VDOP) کمتر از عدد ۳ (سه) بوده است.

در سر تا سر این سفر دریایی یک ایستگاه نقشه‌برداری مرجع با موقعیّت معلوم به‌وسیلهٔ یک گیرنده GPSCard™ که دارای سیستمی مشابه با گیرنده‌ای موجود در شناور دریایی است، اشغال شده بود. گیرنده مستقر در ایستگاه مرجع با فاصله زمانی یک ثانیه مشغول جمع‌آوری داده‌های ماهواره‌ای می‌شود. موقعیّت مکانی ایستگاه مرجع در منطقهٔ Victoria می‌باشد؛ (به نگارهٔ ۲ رجوع شود)؛ و موقعیّت آن در سیستم مختصات زمینی بین‌المللی ITRF با دقّت بسیار خوبی معلوم است. علّت استفاده از داده‌های مربوط به مختصات ایستگاه مرجع جهت به کارگیری آنها در تعیین موقعیّت نسبی[۱۲] (DGPS) شناور دریایی است.

همان شناوری که جهت ارزیابی دقّت تعیین موقعیّت مطلق سیستم GPS به کار گرفته شده بود. فاصله بین ایستگاه مرجع واقع در ساحل و شناور دریایی متحرّک در بعضی از نقاط مسیر حرکت به حدود ۱۹۰ کیلومتر می‌رسد.



نگارهٔ (۲): مسیرهای طی شده توسط کشتی

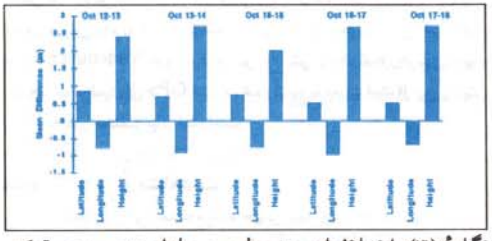
نتایج

موقعیتهای DGPS شناور دریایی (که جهت ارزیابی تعیین موقعیتهای مطلق با GPS به کار رفته است) در فواصل زمانی یک ثانیه به یک ثانیه و نقطه به نقطه، جمع‌آوری و از طریق روش‌پردازش نهایی Postprocess[۱۳] با حل معادلات تفاضلی یگانه فاز امواج حامل دریافتی از ماهواره در دو گیرنده (یکی مستقر در ساحل و دیگری برروی کشتی) به‌طور همزمان، پس از انجام عملیات محاسبه و به‌طور دقیق تعیین مقدار شده‌اند.

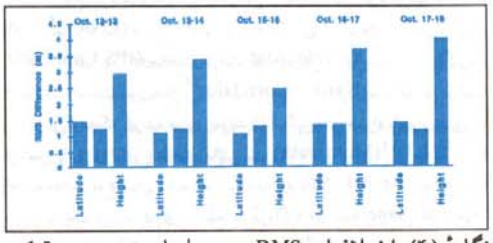
براساس مقایسه با آزمایشهای دریایی انجام شده و پیشین همراه با هدایت دایمی از طریق برجهای مراقبت و کنترل ساحلی، برآورد دقّت (RMS)[۱۴] موقعیّتهای DGPS برای هر سه مؤلفه (دو مؤلفه مسطحاتی و یک مؤلفه قائم) موقعیّت در حدود یک‌متر است.

تعیین موقعیّت مطلق به‌وسیله اندازه‌گیریهای شبه فاصله کُد (Pseudo-range) نیز با استفاده از پارامترهای مداری برآورد شدهٔ (Post-mission) و تصحیحات ساعت ماهواره در هر لحظه از فواصل زمانی مشاهدات[۱۵] محاسبه شده‌اند. از آنتن ماهواره و تصحیحات ساعت مربوط به آن جهت بهبود و ثبات دقّت در نتایج استفاده شد. تأثیر شکست امواج ارسالی از ماهواره‌ها ناشی از خطای لایه تروپوسفر (Troposphere)، به‌وسیله به کارگیری یک مدل استاندارد محاسبه می‌گردد. لایه تروپوسفر بخشی از جوّ زمین است که در فاصله صفر الی ۱۲ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد و مکانی است که در آن تراکم ذرّات بخار آب بسیار بالا است. تمامی موقعیتهای مطلق و DGPS به‌وسیلهٔ نرم‌افزار نوشته شده در دانشگاه Calgary کانادا، محاسبه و تعیین مقدار شده‌اند.

نگاره‌های ۳ و ۴ خلاصه‌ای از اختلافهای متوسط و خطای RMS به دست آمده برای ۵ پریود زمانی ۲۰ ساعته را نشان می‌دهند.



نگارهٔ (۳): اختلافهای متوسط بین حلهای تعیین موقعیّت مطلق و موقعیتهای نسبی DGPS



نگارهٔ (۴): اختلافهای RMS بین حلهای تعیین موقعیّت مطلق و موقعیّتهای نسبی DGPS

نتایج به دست آمده برای عرض و طول ژئودتیک از یک پریود زمانی به پریود دیگر بسیار باثبات‌اند. اختلافهای سیستماتیک دو الی سه متر در مؤلفهٔ ارتفاعی به‌واسطهٔ تأثیر خطای یونسفر (Ionosphere) بر روی تعیین موقعیّت مطلق به‌وسیلهٔ موج حامل L1 است. یونسفر لایه‌ای از جوّ زمین است که در فاصلهٔ ۶۰ الی ۶۰۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد. در این لایه یونها و الکترونهای آزاد ناشی از فعل و انفعالات شیمیایی اشعه ماورای بنفش خورشید با گازهای معلّق موجود در این لایه بسیار زیاد است. این لایه باعث تأخیر زمانی در دریافت علایم ارسالی از ماهواره به گیرنده می‌شود. از طرفی اختلافهای خطای RMS در عرض و طول ژئودتیک به‌طور کلّی کمی بالاتر از یک متر است. این موضوع یکی از نتایج دیگری است که از سفر آزمایشی مزبور حاصل شده است. زمانی که خطاهای موقعیّت DGPS شناور که برروی مقادیر RMS تأثیر گذار هستند، به حساب آورده شوند در آن صورت دقّت یک $1^{6}\sigma$ در مؤلفه‌های طول و عرض ژئودتیک موقعیتهای مطلق شناور به حدود یک متر می‌رسد.

این نتایج نشان می‌دهد که تعیین موقعیّت مطلق یک نقطه متحرّک پس از پردازش نهایی داده‌ها به‌وسیلهٔ روش (Post - mission) امکان دسترسی به دقّت یک متر، را برای مؤلفه‌های طول و عرض ژئودتیکی نقطه در هنگام کاربرد و اجرای مناسب گیرنده C/A کُد با فرکانس یگانه (L1) فراهم می‌سازد، البته زمانی که بتوان از پارامترهای دقیق مداری و تصحیحات ساعت ماهواره‌ها با فرض به کارگیری ضرایب مدل یونسفریک متوسط (ارایه شده برای مناطق جغرافیایی با عرض متوسط) به خوبی استفاده نمود.

استفاده از گیرنده GPS با توانایی دریافت موج حامل و بدون کُد L2 (با فرکانس ۱۲۲۷/۶۰ مگاهرتز) خطای یونسفر را کاهش داده و دقّت مؤلفه ارتفاعی تعیین موقعیّت مطلق نقطه را تا حدود یک متر بهبود می‌دهد.

برای کاربردهای معمولی، این روش به عنوان یک تکنیک و آلترناتیو (Alternative) با دوام در ارتباط با روش تعیین موقعیّت نسبی DGPS در مناطق وسیع[17] همواره مطرح است. □

پاورقی

1) Real-time Positioning

توضیح : تعیین موقعیّت آنی روشی است که در آن موقعیّت ایستگاه در حین اجرای پروژه و انجام اندازه‌گیریها تعیین می‌شود. این روش به دلایل ذکر شده در فوق دقّت کمی دارد.

2) Selective availability

3) Multipath errors

4) Postmission

توضیح: تعیین موقعیّت دایمی روشی است که در آن موقعیّتهای صحیح و دایمی ایستگاهها پس از انجام اندازه‌گیریها و اتمام پروژه به‌وسیلهٔ انجام محاسبات ریاضی پیچیده با کامپیوتر حاصل می‌گردند.

5) International Earth Rotation Service : (IERS)

6) International Terrestrial Reference Frame : (ITRF)

7) Canadian Active Control System : (CACS)

8) Selective availability

9) Selective Availability Mitigation : (S A M)

10) Canadian Department of National Defence

11) Multi - path

توضیح: به خطایی گفته می‌شود که در اثر انعکاس امواج ارسالی از ماهواره بر روی سطوح محدّب درگیرنده تولید می‌شود.

12) DGPS

توضیح: روشی است در تعیین موقعیّت نسبی به وسیلهٔ GPS که در آن یک گیرنده بر روی ایستگاه معلوم تا انتهای عملیات ساکن است و گیرنده دیگر در حال حرکت می‌باشد، موقعیّت گیرنده متحرّک به وسیلهٔ مشاهدات همزمان تفاضلی پس از ارسال تصحیحات اتمسفری و مداری توسط گیرندهٔ ساکن با دقّت بسیار خوبی حاصل می‌شود.

13) Postprocess

توضیح: پردازش اطلاعات و محاسبهٔ موقعیّت نقاط مجهول پس از اتمام عملیات به وسیلهٔ جمع آوری همزمان اطلاعات توسط دو گیرنده GPS است.

14) RMS

توضیح : جذر خطای مربعی متوسّط

15) Epoch

16) 1σ

توضیح : مقدار خطا در ناحیهٔ اطمینان ۶۸ درصد است که مساوی با یک برابر جذر مجموع مربّعات کلیهٔ خطاهای مؤثر بر اندازه‌گیریهای GPS در تعیین موقعیّت مطلق است.

17) Wide Area DGPS (WADGPS) method