

ارتفاع یابی GPS

محدودیت‌ها و امکانات

نویسنده: **Matthew.B.Higgins**

برگردان: خسرو خواجه

حال با فرض اینکه افه مرز به تازگی انتشار یافته و از کیفیت بالایی برخوردار است، تأثیری که این افه مرز در طولهای کوتاه خواهد گذاشت حداقل خواهد بود. با این همه، در هنگام دستیابی به موقعیت شروع WGS84 (سیستم ژئودتیک ۱۹۸۴) با کیفیت معقول و منطقی (مثلاً 10m-t1 یا بهتر) می‌تواند ما را در نقاطی از جهان با مشکل روبرو سازد.

تأثیرات خطاهای چندمتری می‌توانند مستقیم یا غیرمستقیم باشند و این خطاها توانایی آنرا دارند که در هر سه بعد به دستمتر برسند. تأثیر مستقیم در روی توان تفکیک ابهام قرار دارد. زمان کافی مشاهده برای تغییر ژئومتر می‌تواند با میانگیری این تأثیر مستقیم را کاهش داد. بنابراین، با زمانهای کوتاه مشاهده که خاص سیستم‌های استاتیک سریع و تعیین موقعیت RTK می‌باشد، خطای چندمتری (دریافت سیگنال‌های GPS توسط گیرنده از یک مسیر غیرمستقیم) می‌تواند چشمگیر باشد. با آنکه سخت‌افزار و نرم‌افزار توانایی آنرا دارد که خطای چندمتری را تخفیف دهد، اما مهم آن است که اولاً ایستگاههایی را انتخاب کنیم تا از وجود خطای چندمتری پرهیز شود و ثانیاً با ایجاد تکرار در نقشه برداریها بتوان هرگونه تأثیر باقی مانده را آشکار نمود.

یونسفر نیز می‌تواند تمامی سه بعد را تحت الشعاع خود قرار دهد. این تأثیر عملى مخصوص می‌تواند در روی طولهای بیش از ۲۰ کیلومتر چشمگیر شود. اندازه گیریهای فرکانس دوبل امکان حذف اکثر این تأثیرات را فراهم می‌سازد. تأثیر یونسفری در نزدیک قطبها و میدان مغناطیسی زمین در استوا بیشتر است و با چرخه (سیکل) خورشیدی تغییر می‌کند. در نتیجه، برای بعضی نواحی و در بعضی دوره‌های (پربودها) زمانی، تأثیر یونسفر ممکن است که حتی در طولهای کوتاه قابل ملاحظه باشد. تأخیر تروپوسفری بویژه برای ارتفاع اهمیت دارد. اندازه این تأخیر برای ارتفاع می‌تواند به چندین سانتیمتر برسد. اکثر نرم‌افزارها مؤلفه خشک (dry) را مدلسازی می‌کنند. مدلسازی مؤلفه خیس (wet) که دارای متغیرهای بیشتری است دشوار می‌باشد. در روی طولهایی که بلندتر و ساعتها وقت صرف شده داده‌های آنها جمع‌آوری گردد، تأخیر تروپوسفر خیس (wet) را می‌توان

کاربرد وسیع GPS با موفقیت زیادی توأم بوده و هم اکنون نیز به یک ابزار 3D حقیقی تکامل یافته است. بنابراین، عمده تلاشی که تکمیل یک طرح یا پروژه GPS به آن نیاز دارد و غالباً صرف مسائل ارتفاع یابی می‌گردد. این مقاله محدودیت‌های ارتفاع یابی GPS از جمله اندازه‌گیری GPS، مسائل ژئوئید و سطح مبنا (datum) را مورد بررسی قرار می‌دهد. سپس امکانات ارتفاع یابی GPS بانظری به سه کاربرد کنترل تغییر شکل، نقشه برداری GPS با پردازش آبی و کنترل و راهنمای دستگاه را بیان می‌دارد.

در عمل، ارتفاع یابی GPS معمولاً سه جنبه را دربر می‌گیرد:

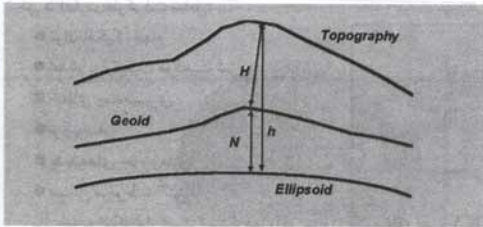
- ۱- اندازه‌گیری ارتفاع بیضوی GPS
- ۲- یکارگیری مدل ژئوئید
- ۳- تعدیل ارتفاع اورتومتریک (بانرمال) حاصله تا به سطح مبنای ارتفاعی مناسب باشد.

همه این موارد، محدودیت‌هایی را پدید می‌آورند و اهمیت هر یک از آنها بسته به وسعت و بزرگی نقشه برداری GPS یا هم تفاوت پیدامی‌کنند و لذا در اینجا هر یک از این محدودیت‌ها را با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار می‌دهیم.

محدودیت‌های اندازه‌گیری GPS

توان تفکیک ابهام در فاز در گیرنده‌های ماهواره‌ای تمامی هر سه مختصات را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. به هنگام استفاده از روشهای استاتیک سریع و تعیین موقعیت و ردیابی آبی وسایل متحرک (RTK) برای طولهای کوتاه می‌باید به توان تفکیک ابهام دست یافت. سیستم (RTK) معمولاً از کمترین داده‌های ممکنه استفاده می‌کند و حتی بهترین الگوریتم‌ها هم در مواقعی ابهامات را به طور نادرست تفکیک می‌کنند. برای آشکار سازی چنین خطاهایی که می‌تواند به حدود حدود متر هم برسد، ناچاریم که با استفاده از چند ایستگاه دست به مشاهدات اضافی زمین. تأثیرات خطاها در افه مرز یا شروع مختصات ممکن است که در تمامی مختصات به چند قسمت در میلیون (Parts Per Million-PPM) برسد.

گراویتی محلی محاسبه می‌گردد. خوداین دقت هم تحت تأثیر این است که داده‌های گراویتی چقدر خوب میدان واقعی گراویتی را نشان دهد. مدل ژئوئید معمولاً در مناطق ناهموار و متغیر زمین از کمترین دقت برخوردار خواهد بود. پیشرفتهای جدید درخصوص تأثیرات زمین شامل ارتفاعسنجی ماهواره‌ای و استفاده از مدل‌های رقومی زمین (DEMs) دانست. بنابراین، دقت مدل ژئوئید تنها محدودیت نیست بلکه کاربرد آنرا با سطح مبنای ارتفاعی نیز باید در نظر گرفت.



نگاره (۱): تعیین ارتفاع اورتومتریک (H) از ارتفاع (h) را نشان می‌دهد که GPS اندازه‌گیری شده است، ارتفاع ژئوئید (N) مورد نیاز است.

محدودیت‌های ناشی از سطح مبنای ارتفاعی

تعریف سطح مبنای ارتفاعی در بسیاری از مناطق معمولاً با انتشار ارتفاعات اورتومتریک یا تراز به خود جنبه محلی گرفته است یعنی این مبنا سطح زمین را در یک منطقه جغرافیایی از زمین مانند یک منطقه ایالتی یا کشوری پوشش می‌دهد. گاهی مواقع، چندین سطح مبنای ارتفاعی فقط با استفاده از یک نقطه (مثلاً از یک ایستگاه جزرومدسنج) تهیه می‌گردد. درجایی که فقط داده‌های سطح مبنای ارتفاعی وجود دارد، این داده‌ها از ترازبایی کنتسرتی (قیدی) نسبت به سطح متوسط آبهای دریای (MSL) در یک یا چند دستگاه جزرومدسنج استخراج می‌گردد. تأثیرات خطای ترازبایی یا ایقانیوس‌شناسی بدین مفهوم است که تراز مبنای (base) هر سطح مبنای ارتفاعی (Vertical datum) می‌تواند از یک سطح صرفاً ژئوئید (سطحی که در هر عمود بر شتاب گراویتی است) دستخوش اعوجاج گردد و در نتیجه افزودن سطح اعوجاج به مدل ژئوئید می‌تواند راه حلی باشد. در اغلب موارد بهتر آن است که با بکاربردن (GPS) دست‌کم درسه ایستگاه سطح مبنای ارتفاعی سازگاری با سطح مبنای ارتفاعی مورد تأیید قراردادیم. نیاز دیگر برای سطح مبنای ارتفاعی مدرن پالایش مدیریت اطلاعات ارتفاعی است. بسیاری از پایگاه‌های داده‌ای نوعاً فقط ارتفاعات اورتومتریک (یا تراز مال) را ذخیره می‌کنند در صورتی که امروزه این مبناهای ارتفاعی می‌روند که بطور فزاینده‌ای ترکیب و تلفیقی از ارتفاع اورتومتریک و بیضوی باشند. لیکن با ارتفاعات ژئوئیدی را باید همانند هر نوع مشاهده دیگری عمل کرده به این مفهوم که آنها دارای کیفیت خاص در زمان خاص می‌باشند. بدون مدیریت دقیق چنین انواع مختلف داده‌ها، مسائل می‌توانند در هم آمیزند و ما را دچار ابهام نمایند و در نتیجه

در فواصل منظمی (برای مثال، یک تأخیر در هر ساعت) بدست آورد. برای طول‌های کوتاهی که نوعاً داده‌های کمتر در دسترس است تا بتوان تأخیر تروپوسفری را تخمین زد، نرم‌افزار فقط مؤلفه خشک (dry) را با این امید که هرگونه تأثیر مانده ناچیز باشد، مدلسازی می‌کند. برای طول‌های شیب دار، حتی وقتی هم که کوتاه باشند، ممکن است موقعیت‌هایی پیش آید که در آنها زمان طولانی‌تری مشاهده و تخمین تأخیر مجاز نباشد. پدیده‌های جزرومدی، که می‌تواند بر ارتفاع بایستی GPS اثرگذار شامل جزرومد زمین و جزرومد اقیانوسی در نزدیکی ساحل می‌باشد. این گونه تأثیر جزرومدی می‌تواند برای طول‌های بیش از ۱۰۰ کیلومتر به میزان سانتیمتر برسد و برخی از نرم‌افزارها توانایی مدلسازی این تأثیرات را دارند. ارتفاع آنها خود یک منبع خطای آشکار است. سیستم‌های RTK اغلباً از پایه‌های متحرک با ارتفاع ثابت استفاده می‌کنند که امکان این خطا را به حداقل می‌رسانند. اما وقتی از سه پایه‌هایی با ارتفاع متفاوت استفاده می‌گردد، برای کنترل و بررسی اندازه‌گیری‌های ارتفاع آنتن توصیه می‌گردد که از روتین صحرائی بکار گرفته شود. مسئله دیگری که خود را کمتر نشان می‌دهد، ترکیب انواع مختلف آنتن است و در این ترکیب احتمال آن دارد که تأثیر مرکز فاز آنتن آنها در ارتفاع تا چند سانتیمتر تفاوت پیدا کند. IGS سرویس بین‌المللی GPS در همه شبکه‌های پیوسته خود از آنتن‌های مختلفی استفاده می‌کند و در این امر نیز مدل‌هایی با ارائه نموده است (به Mader & Mackay, ۱۹۹۵ مراجعه شود). وقتی از آنتن‌های یک سازنده استفاده می‌کنیم، با حداقل مسئله روبرو هستیم. با این همه، مسئله ترکیب و ادغام آنها وقتی می‌تواند بروز کند که از داده‌های ایستگاه مبنای ثلثی استفاده می‌کنیم. در این گونه مواقع استفاده از RTK احتمالاً منتهی به افزایش استفاده ایستگاه‌های مبنایی و ترکیب و ادغام آنها می‌گردد.

محدودیت‌های ناشی از مدل ژئوئید

نقشه برداری GPS اختلاف ارتفاع بیضوی را اندازه‌گیری می‌کند (H) در نگاره (۱). برای بدست آوردن ارتفاع اورتومتریک (H) نیاز به ارتفاع ژئوئید (N) است. نقشه برداری GPS می‌تواند آن اختلاف ارتفاع بیضوی را به نحو خیلی مؤثری در فواصل وسیع اندازه‌گیری نماید. این دو نکته می‌تواند مسائلی که در مدل‌های ژئوئیدی و یا در سطح مبنای ارتفاعی پدید آید نشان دهد. در بعضی مناطق، تنها مدل ژئوئید موجود مدل ژئوئید پتانسیل جهانی (Global Geopotential Model) یک واحد اختلاف ژئوئید پتانسیل مساوی با پتانسیل گراویتی یک متر مربع بر مجذور ثانیه یا یک ژول بر کیلوگرم) است. بسیاری از GGM/مدل ژئوئید پتانسیل جهانی) جدید از انبساط هارمونیک کروی با ۳۶۰ درجه استفاده می‌کنند و توانایی تفکیک عارضه‌ها تا نیم درجه (یعنی ۵۵ کیلومتر) را دارند. بنابراین، حتی پیشرفته‌ترین مدل‌ها (بسطور مثال: EGM96) محدود به دقت نسبی یک متر و چند دسی متر هستند. این دقت را می‌توان با محاسبه مدل‌های محلی به منزله شبکه‌های ارتفاعات ژئوئیدی برای درون‌بایی بهبود بخشید. مؤلفه طرح موج بلند از GGM بدست می‌آید، در حالی که مؤلفه طول موج کوتاه از داده‌های

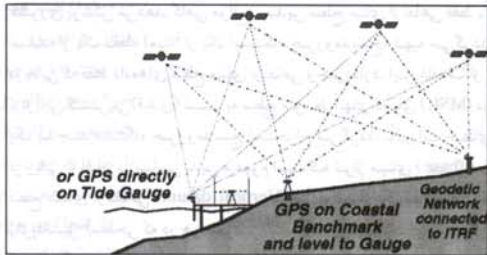
نگهداری و بهبود سطح مبنای ارتفاعی با دشواری روبرو خواهد شد.

کاربرد برای کنترل تغییر شکل

همه نقشه برداریهای (GPS) نیاز به تولید ارتفاعات اورتومتریک ندارند. برای کنترل تغییر شکل ارتفاعی ممکن است که ژئوئید یا بیضوی مطرح نباشد. GPS برای انوماسیون مشاهدات تکراری جهت کنترل تغییر شکل بسیار مناسب است. مسائلی را که باید در طراحی نقشه برداری تغییر شکل GPS در نظر گرفت شامل:

- توان تفکیک ابهام
- افه مرز و کیفیت موقعیت شروع
- خطای چندمیری
- تروپوسفر
- پدیده‌های جزرومدی
- مسائل مربوط به آنتن‌ها

با توجه به اینکه نیاز است ایستگاهها را در بیرون یک منطقه تغییر شکل بهم متصل کنیم لذا می‌توانیم است که به مشاهدات طولانی‌تر در روش استاتیک نیاز باشد. دستیابی به دقت سانتیمتر، حتی در طولهای بیش از چند صد کیلومتر، با استفاده از ایستگاه در چند روز و با استفاده از پردازشهای داده‌های خاص امکان پذیر است. یکی از کاربردهای بسیار دشوار برای ارتفاع‌یابی GPS دستیابی به دقت میلیمتری است که برای تغییر شکل ارتفاعی ایستگاههای جزرومدسنج لازم است. کارشان کنترل تغییر سطح آب دریا در رابطه با گرم شدن هوا در جهان می‌باشد. (نگاره (۲)).



نگاره (۲): کنترل تغییر شکل ارتفاعی یک دستگاه جزرومدسنج با استفاده از GPS نشان می‌دهد.

کاربرد در نقشه برداری پردازش آنی GPS

بازدهی بالای RTK برای اندازه گیری ارتفاع باعث شده است که در میان نقشه برداران از مقبولیت زیادی برخوردار باشد. برای دستیابی به دقت سانتیمتری باید از روشهای صحرائی استفاده نمود که منابع خطای احتمالی زیادی را مورد توجه خود قرار می‌دهد. سیستم RTK ممکن است برای طولهای مناسب و با استفاده از چندین ایستگاه مبنای سازگاری داشته باشد. دقت را می‌توان با مشاهده طولهای بلندتر، در آنچه که می‌توان به عنوان

استاتیک سریع با پردازش آنی دانست، بهبود بخشید و در همان حال نیز مزیت‌های پشتیبانی پردازش آنی را حفظ نمود. مدل‌های ژئوئید و تغییر شکل سطح مبنای ارتفاعی برای نواحی و مناطق وسیع می‌توانند از اهمیت برخوردار باشند. سیستم‌های بسیاری می‌توانند از مدل‌های ژئوئید در پردازش آنی استفاده کنند. بنابراین، این گونه سیستم‌ها بر آن باورند که تغییر شکلهای محلی به اندازه کافی مدلسازی شده‌اند. بعضی از سازندگان امکان کالیبراسیون را به نقشه برداران GPS می‌دهند تا بدان وسیله با استفاده از ایستگاه کنترلی از تغییر شکلهای 3D در پردازش آنی مدل تهیه شود.

کاربرد در کنترل و راهنمای دستگاه GPS

بسیاری از سازندگان دستگاههای GPS ترغیب می‌کنند که از روش RTK برای کنترل خودکاری و هدایت دستگاههای کشاورزی، خاکبرداری و ساختمانی استفاده گردد. اما این روش‌ها نیز همانند هر کاربرد RTK در معرض همان خطاهایی قرار دارند که بدانها اشاره شده است. یک دلیل عمده برای نقشه برداریهای بسیار دقیق که از کاربردهای مهندسی پشتیبانی می‌کند این است که برای هر خطاهایی حاشیه‌ای (گستره خطاهای قابل اغماض) قائل شوم که می‌تواند در اثر چندین مرحله در دوران فرایند ساخت تکثیر یابند. بهر حال، وقتی دستگاه فقط در یک مرحله از کنترل قرار گرفته باشد این حاشیه خطا نیازی ندارد که آنچنان دقیق باشد. از طرف دیگر، بعضی از کاربردها به دقتی نیاز دارند که ممکن است در پردازش آنی GPS در حدی قابل حصول باشد. یکی از نگرانیها آن است که کاربران دارای تحصيلات اندک، از این سیستم بسیار خودکار به نادرستی استفاده کنند. امید آن است که نقشه بردارانی که از مسائل آگاهی دارند در اتصال و ارزیابی ایجاد ایستگاههای مبنایی و کنترل کیفیت کلی آنها حضور فعال داشته باشند.

دقت اندازه گیری GPS برای ارتفاع

هدف نهایی برای نقشه بردار حرفه‌ای GPS این است که با استفاده از روشهای خاص استاتیک سریع و RTK به چه چیزی می‌توان دست یافت؟ Higgins در سال ۱۹۹۹ دقتی را که توسط سازندگان گوناگون ادعا می‌شد مورد بررسی قرار داد. در اینجا، ما خود را به مشخصات Trimble 4800 محدود می‌کنیم و علت این امر آن است که این مشخصات با ارائه خطوط کلی، مابین روشهای ارتفاعی واقعی و روشهای مشاهداتی تفاوت قائل می‌شود. برای RTK دقت همچنین بنا میزان بهنگام سازی تفاوت پیدایمی‌کند. جدول ذیل دقت ارتفاعی ممکن را بر حسب میلیمتر برای انواع روشها و طولها نشان می‌دهد. ارقام Trimble (که مخصوصاً بیان شده است) ظاهراً 1 Sigma است و جدول مقادیر 3 Sigma را به عنوان شاخصی از بدترین نتایج نشان می‌دهد که می‌توان انتظار داشت.

Mode	mm	+ ppm	Error in mm (1 sigma)			Error in mm (3 sigma)		
			1km	5km	10km	1km	5km	10km
Fast Static	10	1	11	15	20	33	45	60
Kinematic	20	1	21	25	30	63	75	90
RTK 1 Hz	20	2	22	30	40	66	90	120
RTK 5 Hz	50	2	52	60	70	156	180	210