بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه نقشه برداری (ژ ئوماتیک)

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری (گرایش ژئودزی)

توسعه و اصلاح نرم افزار تعیین موقعیت مطلق دقیق GPSS

نگارش:

جهانبخش محمدی

اساتید راهنما:

دکتر جمال عسگری

دکتر مجید عباسی

اسفند ۱۳۹۰

تقدیم به

خانواده مهربانم

با عشق و احترام

تشکر و قدردانی

سپاسگزاری:

پس از حمد و سپاس پروردگار متعال، تقدیر و سپاسگزاری خالصانه خویش را از :

اساتید راهنمای بزرگوار، جناب دکتر جمال عسگری و دکتر مجید عباسی که با راهنمایی ارزشمند خود مرا در انجام بهتر این پژوهش یاری رساندند.

اساتید ارجمندی که انجام این پایان‌نامه بدون دانش و هدایت‌های ایشان امکان‌پذیر نبود.

دوستان عزیزم، به سبب راهنمایی‌های ایشان در تهیه و تدوین این اثر، ابراز می‌دارم.

فهرست مطالب

فهرست مطالب ..... ث

فهرست شکل‌ها ..... ح

فهرست جدول‌ها ..... ذ

چکیده فارسی ..... ر

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- تاریخچه‌ی تعیین موقعیت مطلق دقیق ۱

۱-۲- تعریف Zumberge از تعیین موقعیت مطلق دقیق ۱

۱-۳- مدل‌های ریاضی تعیین موقعیت مطلق دقیق ۲

۱-۴- ساختار پایان‌نامه ۲

فصل ۲- سیگنال‌های سیستم تعیین موقعیت جهانی ۴

۲-۱- سیستم تعیین موقعیت جهانی ۴

۲-۲-امواج الکترومغناطیسی ۴

۲-۳- پلاریزاسیون سیگنال‌های GPS ۵

۲-۴- معادلات مشاهدات در سیستم تعیین موقعیت جهانی ۶

فصل ۳- معرفی سرویس بین‌المللی GNSS ۸

۳-۱- سرویس بین‌المللی GNSS ۸

۳-۲- محصولات اصلی سرویس بین‌المللی GNSS ۹

۳-۲-۱- محصولات هفتگی ۹

۳-۲-۲- محصولات روزانه و کسر روزانه ۹

۳-۲-۳- محصولات دیگر IGS ۱۰
فصل ۴– تعیین موقعیت مطلق دقیق و نرم‌افزار GPSS..... ۱۱
۴-۱- مدل‌های ریاضی تعیین موقعیت مطلق دقیق..... ۱۱
۴-۱-۱- مدل Kouba and Heroux..... ۱۲
۴-۱-۲- مدل Gao and Shen ۱۳
۴-۲- مدل تصحیحات تعیین موقعیت مطلق دقیق..... ۱۴
۴-۲-۱- تصحیحات وابسته به ماهواره..... ۴۱
۴-۲-۲- تصحیحات وابسته به جابجایی ایستگاه..... ۱۷
۴-۲-۳- تصحیحات وابسته به اتمسفر..... ۲۰
۴-۲-۴- تصحیحات وابسته به گیرنده..... ۳۴
۴-۲-۵- سایر تصحیحات در PPP..... ۳۵
فصل ۵– اصلاحات صورت گرفته در نرم‌افزار GPSS و مقایسه نتایج..... ۴۲
۵-۱- اصلاح اثر Phase Wind Up..... ۴۲
۵-۲- اصلاح تابع محاسبه‌ی موقعیت خورشید..... ۴۵
۵-۳- اصلاح فیلتر کالمن..... ۹۴
۵-۴- افزودن تابعی برای خواندن فایل‌های SP3C..... ۵۵
۵-۵- مقایسه‌ی نتایج..... ۵۷
فصل ۶– نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۸
۶-۱- نتیجه گیری..... ۶۸
۶-۲- پیشنهادات ۶۸
مراجع..... ۶۹
پیوست..... ۷۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱.۱ – فلوچارت نرم‌افزار GPSS ۳

شکل ۱.۲ – پلاریزاسیون دایروی راستگرد ۶

شکل ۲.۲ – پلاریزاسیون خطی ۶

شکل ۱.۳ – ایستگاه‌های دائمی سرویس بین‌المللی GNSS ۸

شکل ۱.۴ – انحراف مرکز فاز آنتن ماهواره ۱۵

شکل ۲.۴ – تابع تصحیح انحراف مرکز فاز آنتن ماهواره ۱۶

شکل ۳.۴ - تابع تصحیح جزر و مد ۱۹

شکل ۴.۴ - مدل لایه‌ای یونسفر ۲۱

شکل ۵.۴ – تابع محاسبه تأخیر یونسفر به روش klobuchar ۲۴

شکل ۶.۴ – قسمتی از فایل حاوی ضرایب هارمونیک کروی مدل جهانی هارمونیک ۲۵

شکل ۷.۴ – تابع محاسبه مقدار TEC با استفاده از مدل هارمونیک ۲۶

شکل ۸.۴ – قسمتی از فایل مدل محلی چند جمله‌ای ۲۷

شکل ۹.۴ – تابع محاسبه تأخیر تروپسفر به روش مدل اصلاح شده Hopfield ۳۰

شکل ۱۰.۴ – تابع محاسبه تاخیر تروپسفر با استفاده از مدل اصلاح شده Saastamoinen ۳۲

شکل ۱۱.۴ – قسمتی از فایل حاوی تأخیر قائم تروپسفر در ایستگاه‌های دائم فرانسه ۳۳

شکل ۱۲.۴ – تابع استخراج اطلاعات مدل محلی چندجمله‌ای تروپسفر ۳۴

شکل ۱۳.۴- تابع درون‌یابی دوبعدی کریجینگ ۳۴

شکل ۱۴.۴ - انحراف مرکز فاز آنتن گیرنده و تغییرات آن ۳۵

شکل ۱۵.۴ - اثر نسبیت بر روی ماهواره‌های مختلف در زمان‌های متفاوت ۳۶

شکل ۱۶.۴ - تابع محاسبه اثر نسبیت بر روی مشاهدات GPS ۳۶

شکل ۱.۵ –پلاریزاسیون دایروی راست‌گرد ۴۲

شکل ۲.۵ - تابع محاسبه اثر Phase Wind Up ۴۵
شکل ۳.۵ - تابع محاسبه موقعیت خورشید ۴۸
شکل ۴.۵ - فلوچارت فیلتر کالمن ۵۱
شکل ۵.۵ - فلوچارت فیلتر کالمن گسترش یافته ۵۳
شکل ۶.۵ - تابع اصلاح شده فیلتر کالمن گسترش‌یافته ۵۴
شکل ۷.۵ - فرمت SP3a ۵۵
شکل ۸.۵ - فرمت SP3c ۵۶
شکل ۹.۵- مقایسه نتایج ایستگاه ANGE ۵۷
شکل ۱۰.۵ - اختلاف عرض جغرافیایی برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه ANGE ۵۸
شکل ۱۱.۵ - اختلاف طول جغرافیایی برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه ANGE ۵۸
شکل ۱۲.۵ - اختلاف ارتفاع برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه ANGE ۵۹
شکل ۱۳.۵ - مقایسه نتایج ایستگاه EGLT ۵۹
شکل ۱۴.۵ - اختلاف عرض جغرافیایی برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه EGLT ۶۰
شکل ۱۵.۵ - اختلاف طول جغرافیایی برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه EGLT ۶۰
شکل ۱۶.۵ - اختلاف ارتفاع برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه EGLT ۶۱
شکل ۱۷.۵- مقایسه نتایج ایستگاه RENN ۶۱
شکل ۱۸.۵ - اختلاف عرض جغرافیایی برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه RENN ۶۲
شکل ۱۹.۵ - اختلاف طول جغرافیایی برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه RENN ۶۲
شکل ۲۰.۵ - اختلاف ارتفاع برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه RENN ۶۳

شکل ۲۱.۵- مقایسه نتایج ایستگاه GUIP ۶۳
شکل ۲۲.۵ - اختلاف عرض جغرافیایی برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه GUIP ۶۴
شکل ۲۳.۵ - اختلاف طول جغرافیایی برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه GUIP ۶۴
شکل ۲۴.۵ - اختلاف ارتفاع برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه GUIP ۶۵
شکل ۲۵.۵- مقایسه نتایج ایستگاه AJAC ۶۵
شکل ۲۶.۵ - اختلاف عرض جغرافیایی برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه AJAC ۶۶
شکل ۲۷.۵ - اختلاف طول جغرافیایی برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه AJAC ۶۶
شکل ۲۸.۵ - اختلاف ارتفاع برآورد شده در هر اپک با مقدار اولیه در GPSS1 و GPSS2 برای ایستگاه AJAC ۶۷

فهرست جدول‌ها

جدول ۱.۳: افمریس‌های IGS و دقت آن‌ها ۱۰

جدول ۱.۴ : انحراف مرکز فاز آنتن ماهواره ۱۵

جدول ۲.۴ : ترم تصحیحی B ۳۱

جدول ۳.۴ : ترم تصحیحی δR ۳۲

جدول ۱.۵ :جدول شامل ضرایب تصحیحات میل اکلپتیک ۴۸

جدول ۲.۵ : مقایسه مختصات بدست آمده از GPSS1 و GPSS2 و NRCAN ۶۷

چکیده

نرم افزار GPSS (GPS Software) جعبه ابزار متلب است که آقای دکتر جمال عسگری آن را تهیه کرده است. این جعبه ابزار حاوی توابع اساسی برای تعیین موقعیت مطلق دقیق (PPP) و همچنین توابع جانبی برای پردازش و نمایش اطلاعات GPS و مدل‌های یونسفر و تروپسفر است. تعیین موقعیت مطلق دقیق را می‌توان حالت بهبود یافته تعیین موقعیت نقطه‌ای (SPP) که از مشاهدات کد استفاده می‌کند، در نظر گرفت. تفاوت اصلی تکنیک تعیین موقعیت مطلق دقیق با تعیین موقعیت نقطه‌ای استفاده از مشاهدات فاز موج حامل، اطلاعات دقیق مداری و تصحیح خطای ساعت ماهواره به جای اطلاعات افمریس منتشرشده است. مدار دقیق و اطلاعات ساعت ماهواره از سرویس‌های بین المللی مانند سرویس بین‌المللی GNSS (IGS) می‌تواند گرفته شود. معادله اصلی در تعیین موقعیت مطلق دقیق تشکیل ترکیب عاری از یونسفر است. ترکیب مذکور اگر چه به طور کامل عاری از یونسفر نمی‌باشد ولی با دقت بالایی اثر یونسفر با تشکیل این ترکیب از روی مشاهدات برداشته می‌شود. روش عمومی برای رسیدن به دقت‌های بالا به‌وسیله گیرنده‌های ماهواره‌ای استفاده از روش‌های تفاضلی به‌وسیله دو یا چند گیرنده می‌باشد. علت استفاده از این روش این است که با تشکیل معادلات تفاضلی بسیاری از خطاهای موجود روی مشاهدات حذف یا اثر آن‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. اما در تعیین موقعیت مطلق دقیق به علت استفاده از مشاهدات غیر تفاضلی، خطاها حذف نمی‌شوند و بایستی میزان کلیه خطاها محاسبه و اثر آن‌ها از مشاهدات برداشته شود. نرم افزار GPSS از نظر برخی نکات فنی در تصحیح‌های انجام شده به مشاهدات، دارای ابهاماتی است که نیاز به یک بازبینی دارد. هدف از انجام این پایان‌نامه رفع این ابهامات و بهبود کیفیت نتایج بدست آمده می‌باشد. در این پایان‌نامه با اصلاح اثر پیچش فاز (Phase Wind Up)، اصلاح تابع محاسبه‌ی موقعیت خورشید و اصلاح فیلتر کالمن نتایج بهتری بدست آمده است. در این پایان‌نامه با اضافه کردن تابعی جدید برای خواندن فایل‌های با فرمت SP3c، این قابلیت نیز به نرم‌افزار GPSS اضافه شده است. در این پایان‌نامه جزئیات تعیین موقعیت مطلق دقیق، که شامل مدل‌های تصحیحات می‌باشد، ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: تعیین موقعیت مطلق دقیق، IGS، یونسفر، تروپسفر

فصل اول

مقدمه

امروزه تعیین موقعیت مطلق دقیق به عنوان یکی از روش‌های مهم برای پردازش مشاهدات GPS مطرح شده است. تعیین موقعیت مطلق دقیق روشی قدرتمند برای برآورد مختصات هر ایستگاه مستقل با استفاده از اطلاعات مدار دقیق ماهواره‌ها و تصحیح خطای ساعت ماهواره‌هاست که اطلاعات لازم آن از سرویس‌های بین المللی مانند IGS می‌تواند گرفته شود. این روش در برخی مسائل مانند جابجایی‌های بعد از زلزله و اتصال نقاط شبکه‌های محلی و نقشه‌برداری موردی به سیستم ITRF بسیار مورد استقبال قرار گرفته است. از روش‌های آسان برای این کار، ارسال فایل خام GPS به سرویس آنی تعیین موقعیت مطلق دقیق سازمان منابع طبیعی کاناداست. از دیگر مزایای این روش، برآورد آنی تاخیر تروپسفری در ایستگاه مستقل است. همچنین می‌توان از آن به عنوان ابزاری برای کنترل کیفیت مشاهدات در ایستگاه‌های دائم ملی استفاده کرد.

۱-۱ تاریخچه‌ی تعیین موقعیت مطلق دقیق

تعیین موقعیت مطلق دقیق برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط R.J.Anderle ارائه شد، او با استفاده از سیستم داپلر (ترانزیت) و مدار دقیق حرکت قطب را تعیین کرد. با این حال تعیین موقعیت مطلق دقیق در ارتباط با GPS اولین بار توسط Zumberge ارائه شد [۵].

۱-۲ تعریف Zumberge ازتعیین موقعیت مطلق دقیق

تعریف Zumberge بر اساس تفاوت بین تعیین موقعیت مطلق دقیق و تعیین موقعیت نقطه‌ای به شرح زیر ارائه شده است :

- در تعیین موقعیت مطلق دقیق از هر دو نوع مشاهدات کد و فاز موج حامل استفاده می‌شود، در حالی که در تعیین موقعیت نقطه‌ای تنها از مشاهدات کد جهت تعیین موقعیت استفاده می‌شود.
- کیفیت پارامترهای ماهواره در تعیین موقعیت مطلق دقیق در حد چند سانتی‌متر در حالی که در تعیین موقعیت نقطه‌ای در حد متر می‌باشد.

۱-۳ مدل‌های ریاضی تعیین موقعیت مطلق دقیق

دو نوع مدل ریاضی جهت تعیین موقعیت مطلق دقیق دو فرکانسه وجود دارد[۵] :

۱. روش Kouba and Heroux
۲. روش Gao and Shen

در نرم افزار GPSS از روش Kouba and Heroux جهت تعیین موقعیت مطلق دقیق استفاده شده است. نرم افزار GPSS شامل تمام برنامه‌ها و زیربرنامه‌های مورد نیاز تعیین موقعیت مطلق دقیق است که در محیط متلب تهیه شده است. استفاده از نرم‌افزارهای موجود مانند GIPSY و یا Bernese برای پردازش تعیین موقعیت مطلق دقیق بسیار مفید است، لیکن بررسی‌های عمیق‌تر فقط در صورتی امکان‌پذیر است که پژوهشگران بتوانند به راحتی پارامترهای دلخواه و مجهولات متفاوت را آزمایش کنند. نرم افزار GPSS از نظر برخی نکات فنی در تصحیح‌های انجام شده به مشاهدات، دارای ابهاماتی است که نیاز به یک بازبینی دارد. هدف از انجام این پایان‌نامه رفع این ابهامات و بهبود کیفیت نتایج بدست آمده می‌باشد. در این پایان‌نامه با اصلاح اثر جهش فاز (Phase Wind Up)، اصلاح تابع محاسبه‌ی موقعیت خورشید و اصلاح فیلتر کالمن نتایج بهتری بدست آمده است. در این پایان‌نامه با اضافه کردن تابعی جدید برای خواندن فایل‌های با فرمت SP3c، این قابلیت نیز به نرم‌افزار GPSS اضافه شده است. ساختار کلی نرم‌افزار GPSS و کارهای صورت گرفته در این پایان‌نامه که به صورت برجسته نمایان است در فلوچارت شکل ۱.۱ آمده است.

۱-۴ ساختار پایان‌نامه

فصل اول شامل تاریخچه‌ی تعیین موقعیت مطلق دقیق، کارهای صورت گرفته در پایان‌نامه به طور کلی و ساختار کلی پایان‌نامه می‌باشد.

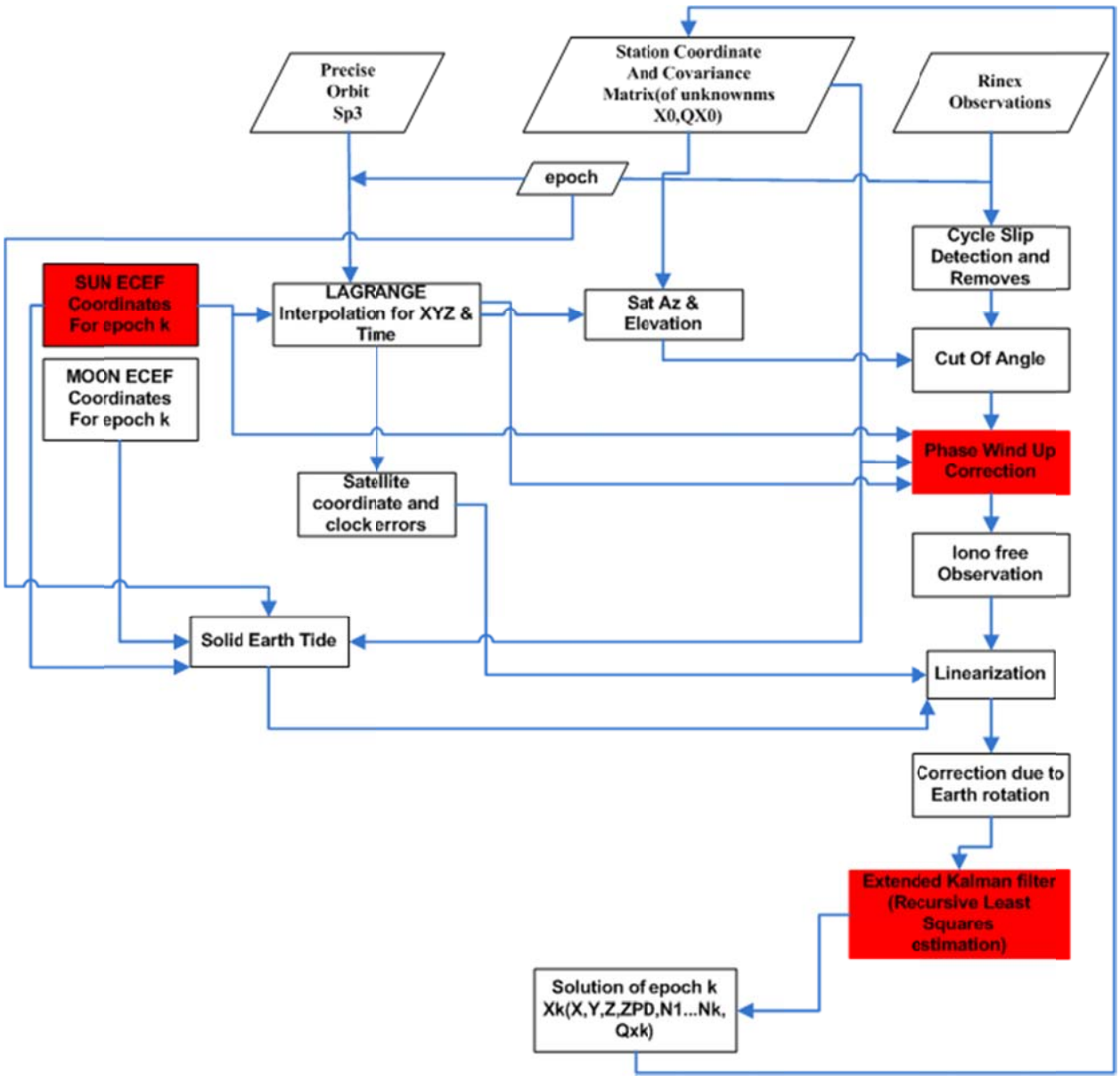
در فصل دوم سیگنال‌های سیستم تعیین موقعیت جهانی، پلاریزاسیون سیگنال‌های GPS و معادلات مشاهدات غیرتفاضلی مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل سوم به معرفی سرویس بین‌المللی IGS و محصولات آن پرداخته است.

فصل چهارم با معرفی اصول تعیین موقعیت مطلق دقیق شروع می‌شود، در ادامه مدل تصحیحات تعیین موقعیت مطلق دقیق که به طور کلی شامل تصحیحات وابسته به ماهواره، تصحیحات وابسته به جابجایی ایستگاه، تصحیحات وابسته به اتمسفر و تصحیحات وابسته به گیرنده می‌باشد، معرفی می‌شود. در این فصل همچنین کلیه‌ی توابعی که در نرم‌افزار GPSS برای مدل کردن تصحیحات تعیین موقعیت مطلق استفاده شده است معرفی می‌گردد.

فصل پنجم اصلاحات صورت گرفته در این پایان‌نامه را بررسی می‌کند، در این فصل همچنین نتایج بدست آمده بعد از انجام اصلاحات صورت‌گرفته در نرم‌افزار GPSS با نتایج قبلی نرم‌افزار و نتایج بدست‌آمده از سایت آنی NRCAN مقایسه شده است.

فصل ششم شامل پیشنهادات و نتیجه گیری از پایان نامه می‌باشد. در این فصل با مروری کلی بر روی پایان نامه، نتیجه گیری کلی و پیشنهادات برای کارهای آینده صورت می‌گیرد.



شکل ۱.۱ : فلوچارت نرم‌افزار GPSS

فصل دوم

سیگنال‌های سیستم تعیین موقعیت جهانی

۲-۱ سیستم تعیین موقعیت جهانی

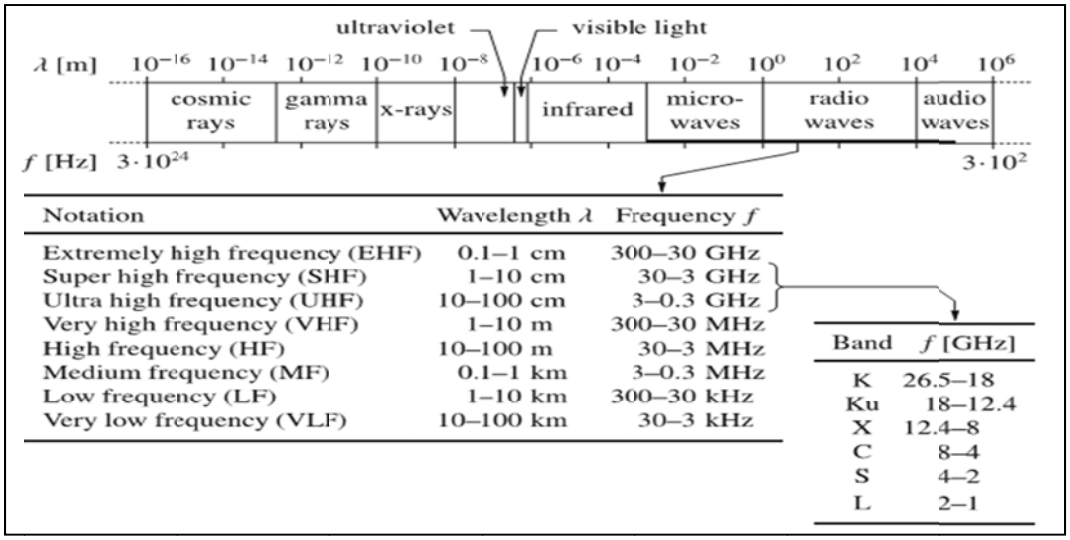
سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) توسط ارتش ایالات متحده با هدف تعیین موقعیت آنی در هر شرایط آب و هوایی در سراسر جهان ایجاد شد. این سیستم اولین سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی است که دقت‌های امروزی را برای کارهایی چون نقشه برداری، ناوبری، ژئودزی و ژئوفیزیک ارائه داده است. هم زمان با ظهور GPS شوروی سابق سیستم مشابهی به نام GLONASS[1] را معرفی کرد. امروزه سیستم‌های دیگری چون سیستم گالیله (Galileo) اتحادیه اروپا وسیستم کامپس (Compass) چین در حال توسعه هستند.

سیستم تعیین موقعیت جهانی یک سیستم یک‌طرفه[2] و غیر فعال[3] است، بدین معنی که گیرنده فقط سیگنال ارسالی از ماهواره را دریافت می‌کند و سیگنالی به طرف ماهواره نمی‌فرستد.

۲-۲ امواج الکترومغناطیسی

در حال حاضر ماهواره‌های سیستم تعیین موقعیت جهانی امواج را در سه فرکانس (L1=1575.42 MHz، L2=1227.6 MHz و L5=1176.45) ارسال می‌کنند که موج L5 تنها توسط ماهواره های بلوک IIF ارسال می‌شود. هر سه فرکانس در باند L از طیف امواج الکترومغناطیسی قرار دارند. طیف امواج الکترومغناطیسی در جدول ۱.۲ نشان داده شده است.

[1] GLObal NAvigation Satellite System
[2] One-way ranging
[3] Passive



Notation	Wavelength λ	Frequency f
Extremely high frequency (EHF)	0.1–1 cm	300–30 GHz
Super high frequency (SHF)	1–10 cm	30–3 GHz
Ultra high frequency (UHF)	10–100 cm	3–0.3 GHz
Very high frequency (VHF)	1–10 m	300–30 MHz
High frequency (HF)	10–100 m	30–3 MHz
Medium frequency (MF)	0.1–1 km	3–0.3 MHz
Low frequency (LF)	1–10 km	300–30 kHz
Very low frequency (VLF)	10–100 km	30–3 kHz

Band	f [GHz]
K	26.5–18
Ku	18–12.4
X	12.4–8
C	8–4
S	4–2
L	2–1

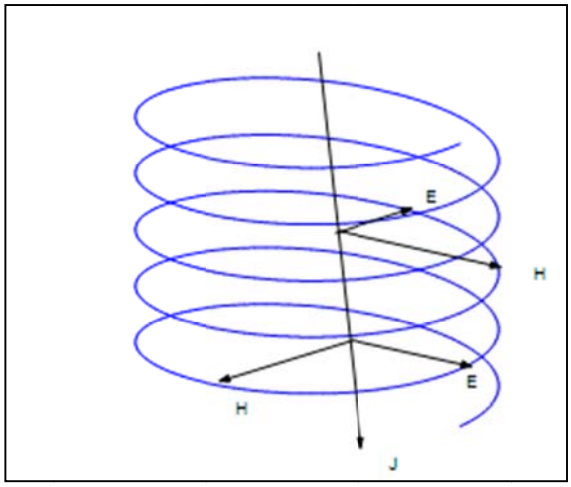
جدول ۲. ۱: طیف امواج الکترومغناطیسی

۲-۳ پلاریزاسیون[۴] سیگنال‌های GPS

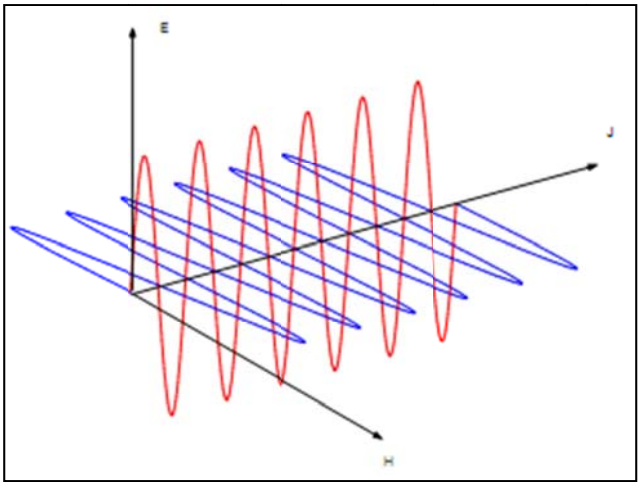
هر موج الکترومغناطیسی شامل دو میدان الکتریکی و مغناطیسی می‌باشد. رفتار بردار میدان الکتریکی در فضا نوع پلاریزاسیون موج را تعیین می‌کند، در صورتی که با حرکت موج در فضا نوک بردار میدان الکتریکی در یک امتداد باشد پلاریزاسیون را خطی، اگر نوک میدان با حرکت موج محیط یک دایره را بپیماید پلاریزاسیون را دایروی و در صورتی که با حرکت موج در فضا نوک میدان الکتریکی محیط یک بیضی را بپیماید پلاریزاسیون را بیضوی گویند. خاصیت دیگر پلاریزاسیون دایروی و بیضوی جهت آن است، در صورتی که جهت حرکت موج از قاعده دست راست تبعیت کند پلاریزاسیون را راست‌گرد و چنان‌چه عکس آن باشد پلاریزاسیون را چپ‌گرد گویند.

ماهواره‌های GPS از پلاریزاسیون دایروی راست‌گرد[۵] (RHCP) برای ارسال امواج استفاده می‌کنند. شکل ۱.۲ پلاریزاسیون دایروی راست‌گرد و شکل ۲.۲ پلاریزاسیون خطی را نشان می‌دهد.

[4] Polarization
[5] Right Hand Circular Polarization



شکل ۱.۲: پولاریزاسیون دایروی راستگرد[۳]



شکل ۲. ۲: پولاریزاسیون خطی[۳]

۲-۴ معادلات مشاهدات در سیستم تعیین موقعیت جهانی

کمیت‌های قابل مشاهده در GPS فاز موج حامل و کد می‌باشند، هر دو نوع مشاهدات کد و فاز موج حامل در تعیین موقعیت مطلق دقیق[۶] مورد استفاده قرار می‌گیرند. معادلات مشاهدات به‌صورت زیر است[۱].

$$P^{k}_{r,i} = \rho_r^{\,k} + d\rho_{orb} - (\delta t_r - \delta t^k)c + \delta ion^{k}_{r,i} + \delta trop^{k}_{r} + \delta m_{r,P}{}^{k} + c(b_{r,i} + b^{k}_{i}) + \varepsilon_P \qquad (۱.۲)$$

$$L^{k}_{r,i} = \rho_r^{\,k} + d\rho_{orb} - (\delta t_r - \delta t^k)c + \lambda_i N^{k}_{r,i} - \delta ion^{k}_{r,i} + \delta trop^{k}_{r} + \delta m_{r,\Phi}{}^{k} + c(b_{r,i} + b^{k}_{i}) + \varepsilon_\Phi \qquad (۲.۲)$$

[6] Precise Point Positioning

که در آن‌ها

r : اندیس مربوط به گیرنده

i =1,2 : به ترتیب مربوط به $L1$ و $L2$

K : اندیس مربوط به ماهواره

ρ_r^k : فاصله ی هندسی بین ماهواره و گیرنده

$d\rho_{orb}$: تاخیر مداری

δt_r : خطای ساعت گیرنده

δt^k : خطای ساعت ماهواره

c : سرعت نور

λ_i : طول موج L_i

$N^k{}_i$: ابهام فاز بروی L_i مربوط به ماهواره K

$\delta ion^k{}_{r,i}$: تاخیر یونسفر

$\delta trop^k{}_r$: تاخیر تروپسفر

$\delta m_{r,\Phi}{}^k$: اثر چند مسیری روی فاز

$\delta m_{r,P}{}^k$: اثر چند مسیری روی کد

ε_Φ : نویز مشاهدات فاز

ε_P : نویز مشاهدات کد

$b_{r,i}$: بایاس گیرنده

$b^k{}_i$: بایاس ماهواره

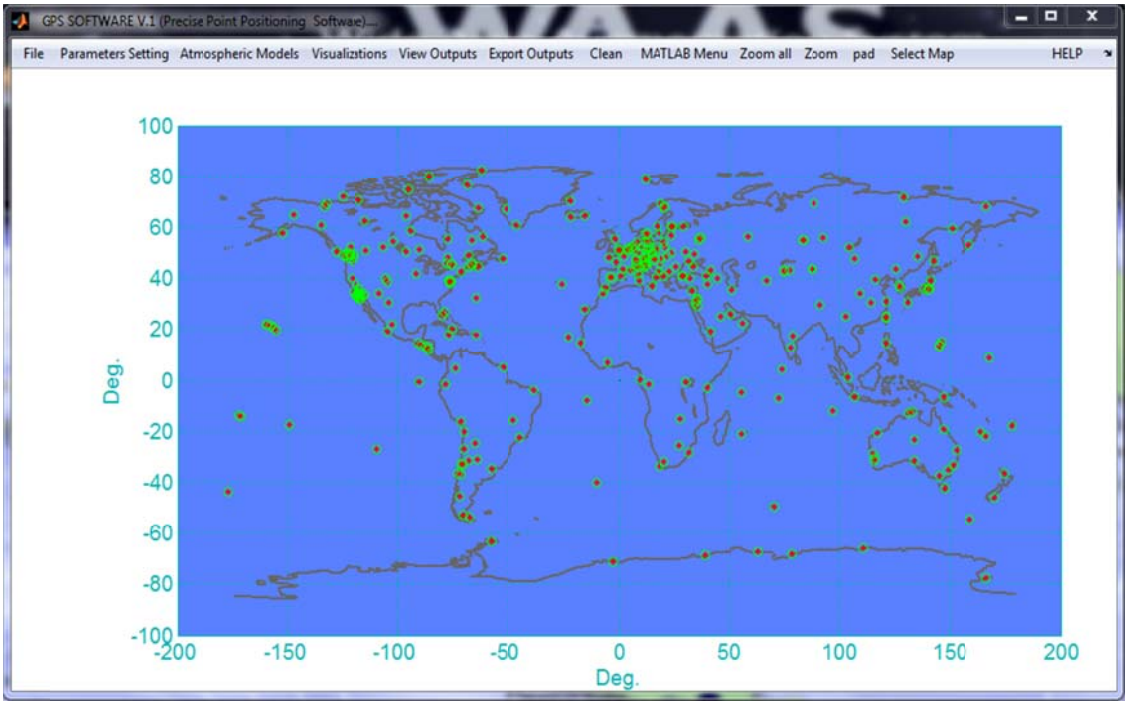
فصل سوم

معرفی سرویس بین المللی GNSS

۳-۱ سرویس بین المللی GNSS

سرویس بین المللی GNSS[۷] متشکل از بیش از ۳۵۰ ایستگاه دائمی مجهز به گیرنده‌های دو فرکانسه در سراسر جهان می‌باشد که محصولاتی چون افمریس دقیق[۸] ماهواره و ساعت ماهواره را برای سیستم‌های GPS و GLONASS تأمین می‌کند (شکل ۱.۳). فایل‌های افمریس ماهواره و سایر محصولات این سرویس که در ادامه آمده است را می‌توان از طریق پایگاه اینترنتی http://igscb.jpl.nasa.gov بدست آورد.

[7] Global Navigation Satellite System
[8] Precise ephemeris



شکل ۳. ۱: ایستگاه‌های دائمی سرویس بین المللی GNSS

۳-۲ محصولات اصلی سرویس بین المللی GNSS

۳-۲-۱ محصولات هفتگی

- افمریس دقیق ماهواره در فرمت SP3 و با فایل‌هایی با پیشوند igs و ساعت ماهواره در فرمت clk
- پارامترهای دوران زمین شامل (حرکت قطب، نرخ حرکت قطب و طول روز در فرمت SINEX)
- مختصات و سرعت ایستگاه‌های ردیابی

۳-۲-۲ محصولات روزانه و کسر روزانه[9]

- افمریس دقیق ماهواره در فرمت SP3 با فایل‌های روزانه با پیشوند igr و ساعت ماهواره در فرمت clk
- افمریس دقیق ماهواره در فرمت SP3 با فایل‌های کسر روزانه با پیشوند igu و ساعت ماهواره در فرمت clk
- پارامترهای دوران زمین شامل (حرکت قطب، نرخ حرکت قطب و طول روز در فرمت SINEX)

[9] Sub-daily