

جنبه‌هایی از تعیین موقعیت مطلق دقیق و معرفی نرم‌افزار GPSS

جمال عسگری^{*}^۱، فرزانه زنگنه‌نژاد^۲، صفوارا زمین‌پرداز^۳

۱- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشگاه اصفهان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئودزی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۵/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۴/۲۴

چکیده

نرم‌افزار GPSS جعبه ابزار مطلب است که نگارندگان مقاله حاضر آن را تهیه کرده‌اند. این جعبه ابزار حاوی توابع اساسی برای تعیین موقعیت دقیق و همچنین توابع جانی برای پردازش و نمایش اطلاعات GPS و مدل‌های یونسfer و ترپسfer است. در این مقاله، علاوه بر معرفی این جعبه ابزار جنبه‌هایی از تعیین موقعیت مطلق دقیق (PPP) بررسی شده است. مسائلی خاص که در PPP پیش می‌آید و نحوه مواجه شدن با این مسائل از اهداف این مقاله است. برخی از این مشکلات مانند تشکیل مدل دینامیک به نوع مجھولات وابسته‌اند و برخی دیگر به ماهیت مسئله برمی‌گردند که در این مقاله به آنها پرداخته شده است. آشنایی با این مسائل برای انجام پروژه‌های تحقیقاتی در این زمینه بسیار مهم است.

.GPSS، EKF، PPP، GPS، ترپسfer، GPS

* نویسنده مکاتبه گشته: اصفهان، میدان آزادی، خ. هزار جریب، دانشگاه اصفهان، دانشکده فنی و مهندسی.
تلفن: ۰۳۱۱-۷۹۳۴۰۲۰

شده است. پردازش تک فرکانسه PPP بسیار مورد علاقه هر پژوهشگر است و نتایج بهتر این پردازش ارتباط مستقیم به تکامل مدل های یونسfer دارد. در ادامه مقاله مثالی در این زمینه آورده شده است.

۲- مدل ریاضی

مشاهده اساسی در روش PPP اندازه گیری عاری از یونسfer کد و فاز است. دستیابی دقت های بالا نیاز به زمان بیشتر و اعمال تصحیحات دقیق در مشاهدات دارد. در این میان خطای ساعت گیرنده و تأخیر ترپسfer، از مجهولات این روش اند، که برآورد می شوند. مشاهده عاری از یونسfer را می توان به یکی از دو صورت زیر تشکیل داد [۵]:

$$\begin{cases} L_3^k = \left(\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}\right) L_1^k - \left(\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}\right) L_2^k \\ P_3^k = \left(\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}\right) P_1^k - \left(\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}\right) P_2^k \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این روش، k اندیس ماهواره، L_1 و L_2 مشاهدات فاز بر روی باندهای L_1 و L_2 و f_1 و f_2 و فرکانس آنها و P_1 و P_2 اندازه گیری شبه فاصله کد بر روی این دو موج هستند. با استفاده از این مشاهدات خطای یونسfer تا حد زیادی حذف می شود و مقدار باقی مانده در حد چند میلی متر است که عملاً تأثیر چندانی بر مجهولات برآورد شده ندارد. البته امکان تشکیل با مشاهده L_5 (سیگنال جدید GPS) نیز وجود دارد [۱۵].

روش دوم برای تشکیل معادلات عاری از یونسfer، ترکیب مشاهدات کد و فاز بدین صورت است [۶]:

$$P_{IF, L_i} = \frac{P_i + L_i}{2} \quad (i=1,2) \quad \text{رابطه (۲)}$$

-
- 1.Precise Point Positioning
 - 2.International GNSS Service
 - 3.GPS Software

۱- مقدمه

امروزه تعیین موقعیت مطلق دقیق^۱ (PPP) به عنوان یکی از روش های مهم برای پردازش مشاهدات GPS مطرح شده است. PPP روشهای قدرتمند برای برآورد مختصات هر ایستگاه مستقل با استفاده از اطلاعات مدار دقیق ماهواره ها و تصحیح خطای ساعت ماهواره هاست که اطلاعات لازم آن از سرویس های بین المللی مانند IGS^۲ می تواند گرفته شود. این روش در برخی مسائل مانند جابه جایی های بعد از زلزله [۱] و اتصال نقاط شبکه های محلی و نقشه برداری موردنی به سیستم ITRF بسیار مورد استقبال قرار گرفته است. از روش های آسان برای این کار، ارسال فایل خام GPS به سرویس برخط PPP سازمان منابع طبیعی کانادا است [۲]. از دیگر مزایای این روش، برآورد آنی تأخیر ترپسferی در ایستگاه مستقل است. همچنین می توان از آن به عنوان ابزاری برای کنترل کیفیت مشاهدات در ایستگاه های دائم ملی استفاده کرد.

نرم افزار^۳ GPSS^۴ شامل تمام برنامه ها و زیر برنامه های مورد نیاز برای PPP است که در محیط MATLAB تهیه شده است، و در این مقاله برخی از قابلیت های آن معرفی می شود. با توجه به توسعه انجام شده در منبع [۳]، در این مقاله به برخی از نکات اساسی در PPP اشاره می شود. این نکات برای مسائل تحقیقاتی بسیار مهم اند. استفاده از نرم افزار های موجود مانند GIPSY و یا Bernese برای پردازش PPP بسیار مفید است، لیکن بررسی های عمیق تر فقط در صورتی امکان پذیر است که پژوهشگران بتوانند به راحتی پارامترهای دلخواه و مجهولات متفاوت را آزمایش کنند. در این مقاله جزئیات PPP، که بخش مهمی از آن مدل ها به تصحیحات مربوط می شوند، ارائه نشده است. خواننده علاقه مند می تواند به [۳، ۴ و ۵] مراجعه کند. به جای ارائه کلیات روش PPP، در اینجا به نکات خاصی از آن اشاره شده است که می تواند برای محققان کاربرد داشته باشد. همچنین یکی از موارد پردازش طولانی مدت (دو ساله) PPP نیز به عنوان نمونه ارائه

تعریف شده است. این سیستم غیردوار است که محورهای آن تحت تاثیر دوران زمین نیستند ولی در لحظه t محورهای هر دو سیستم بر هم منطبقاند.

موقعیت ماهواره در سیستم ECEF، $x^k(t - \tau^k)$ می‌تواند به این صورت نیز بیان شود:

$$x^k(t - \tau^k) = x^k(t) - \dot{x}^k(t) \tau^k \quad (6)$$

که در آن $\dot{x}^k(t)$ بردار سرعت ماهواره است که آن را می‌توان بدین شکل محاسبه کرد:

$$\dot{x}^k(t) = \frac{x^k(t + \varepsilon) - x^k(t)}{\varepsilon}$$

کمیت ε زمانی نسبتاً کوتاه، مثلاً $1/10$ ثانیه است. سپس:

$$x_I^k(t - \tau^k) = R_3(\omega_e \tau^k)(x^k(t) - \dot{x}^k(t) \tau^k) \quad (7)$$

و نیز:

$$(8)$$

$$\rho(x_I^k(t - \tau^k), x_{rI}(t)) = \|x_I^k(t - \tau^k) - x_{rI}(t)\|$$

که $x_{rI}(t)$ بردار موقعیت ایستگاه در سیستم ECSF است. حال بردار بین ایستگاهی (ماهواره-گیرنده) به شکلی که در پی می‌آید بسط داده می‌شود. به دلیل اینکه لحظه t مبدأ زمان برای تعریف سیستم ECSF در نظر گرفته شده است، پس:

$$(9)$$

$$\begin{aligned} x_I^k(t - \tau^k) - x_{rI}(t) &= \\ &= R_3(\omega_e \tau^k)(x^k(t) - \dot{x}^k(t) \tau^k) - x_{rI}(t) \\ &= R_3(\omega_e \tau^k)(x^k(t) - \dot{x}^k(t) \tau^k - R_3(-\omega_e \tau^k)x_{rI}(t)) \\ &= R_3(\omega_e \tau^k)(x^k(t) - \dot{x}^k(t) \tau^k - (I + H\omega_e \tau^k)x_{rI}(t)) \\ &= R_3(\omega_e \tau^k)(x^k(t) - x_{rI}(t) - (\dot{x}^k(t) + H\omega_e x_{rI}(t))\tau^k) \\ &= R_3(\omega_e \tau^k)(\rho u - \frac{\rho}{c} v_r) \end{aligned}$$

-
- 1.Extended Kalman Filter
 - 2.Zeith Path Delay
 - 3.Earth Centered Earth Fixed
 - 4.Barth Centered Space Fixed

این ترکیب نیز عاری از یونسفر است و به علاوه، نویز کد در آن کاهش پیدا می‌کند. حسن این ترکیب، دستیابی سریع‌تر به جواب در مقایسه با روش قبل است، لیکن با وزن‌دهی مناسب کد و فاز در روند فیلتر کالمن^۱ استفاده شده در PPP، ترکیب رابطه (۱) ارجحیت دارد.

در این مسئله بردار مجہولات بدین صورت خواهد بود:

$$X = [x_r^T, N, c\delta t_r, ZPD]^T \quad (3)$$

که در آن x_r بردار موقعیت ایستگاه، N بردار ابهام فازها برای تمام ماهواره‌ها، δt_r خطای ساعت گیرنده و ZPD تأخیر قائم^۲ تریسfer هستند.

رابطه (۱) را می‌توان به این صورت نوشت:

$$\begin{cases} L_3^k = \rho^k - c\delta t_r + \lambda N^k + M ZPD + \varepsilon_Q \\ P_3^k = \rho^k - c\delta t_r + M ZPD + \varepsilon_p \end{cases} \quad (4)$$

که در آن ρ^k فاصله هندسی ماهواره تا گیرنده، c سرعت نور، λ طول موج L_3 ، N^k ابهام فاز ماهواره k ، M تابع تصویر تریسferی است. ε_Q و ε_p به ترتیب نویز مشاهدات فاز و کد هستند. یکی از نکات اساسی در PPP استفاده از اطلاعات مدار و ساعت دقیق است، که این امر سبب کاهش فراوان خطای ساعت و مدار ماهواره‌ها می‌شود. حال رابطه (۴) حول مقدار تقریبی مجہولات بسط داده می‌شود که جزئیات آن در منابع [۳] و [۴] آمده است.

در این نرمافزار اثر دوران زمین بر روی مختصات ماهواره‌ها بدین شکل اعمال شده است:

$$x_I^k(t - \tau^k) = R_3(\omega_e \tau^k) x^k(t - \tau^k) \quad (5)$$

که در آن، τ^k زمان طی طریق موج از ماهواره تا گیرنده، و $x^k(t - \tau^k)$ بردار موقعیت ماهواره در سیستم ECEF^۳ است و ω_e سرعت دوران زمین. $(x_I^k(t - \tau^k) - x_I^k(t))$ در یک بروز موقعیت ماهواره در لحظه $(t - \tau^k)$ در یک سیستم^۴ است که این سیستم در لحظه t

$$\rho = \rho (1 - u^T \frac{v_r}{c}) \quad \text{رابطه (12)}$$

پس از دیفرانسیل گیری از رابطه (11) و صرف نظر کردن از جملات با ضریب $\frac{1}{c^2}$, این روابط به دست می‌آیند [۳]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial X^k} = u^T - \frac{v_r^T}{c} \\ \frac{\partial \rho}{\partial X_r} = -u^T + \frac{v_r^T}{c} \end{cases} \quad \text{رابطه (13)}$$

که سیستم معادلات (4) پس از خطی کردن، به صورتی که در پی می‌آید خواهد شد:

$$\begin{bmatrix} L_3^k - L_3^k(o) \\ P_3^k - P_3^k(o) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \varepsilon_Q^k \\ \varepsilon_p^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -u^T + \frac{v_r^T}{c} & \lambda & 1 & M \\ -u^T + \frac{v_r^T}{c} & 0 & 1 & M \end{bmatrix} (X - X(o)) \quad \text{رابطه (14)}$$

علامت (o) نشانگر مقادیر محاسباتی کمیت‌های مذکور است. معادلات ذکر شده به همراه مدل دینامیک مرتبط با مجھولات مسئله در فیلتر کالمون EKF وارد می‌شوند و می‌توان پردازش اپک به اپک را به همراه به روزرسانی مشاهدات و مجھولات و ماتریس کوواریانس مجھولات با خود داشت.

۳- برخی از مشکلات مسئله PPP

از مسائل مهم در PPP, نحوه انتخاب مدل دینامیک و همچنین انتخاب وزن مشاهدات است که می‌تواند به ارتفاع ماهواره و یا SNR مشاهدات وابسته باشد. در این مسئله، اضافه شدن و یا از دست رفتن ماهواره‌ها، عامل تعیین‌کننده ابعاد مشاهدات، مجھولات و ماتریس‌های کوواریانس است که در منبع [۳] نحوه مواجه شدن با آن بررسی شده است.

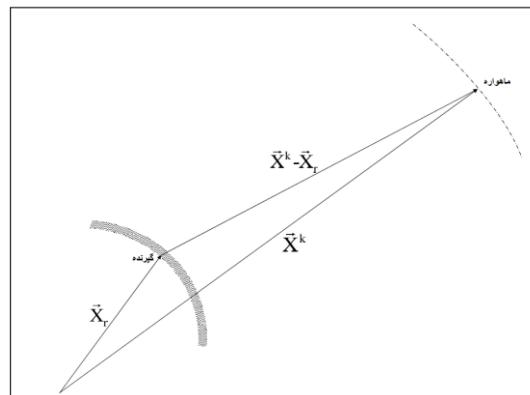
از نکات مهم در طراحی مدل دینامیک، رفتار نوسان‌ساز گیرنده است؛ در صورتی که تغییرات این

که در آن از این رابطه استفاده شده است:

$$R_3(-\omega_e \tau^k) = \begin{bmatrix} 1 & \omega_e \tau^k & 0 \\ -\omega_e \tau^k & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ = I + \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \omega_e \tau^k = I + H \omega_e \tau^k,$$

$$v_r = \dot{x}^k(t) + H \omega_e x_r(t) \quad \text{رابطه (10)}$$

در آن، v_r نشانگر سرعت نسبی گیرنده-ماهواره در سیستم مرجع گردان (چارچوب مرجع بسته به زمین یا Earth-Fixed) است. ρ فاصله هندسی بین گیرنده و ماهواره در لحظه t و u بردار واحد در جهت گیرنده-ماهواره است.



شکل ۱. هندسه ماهواره-گیرنده

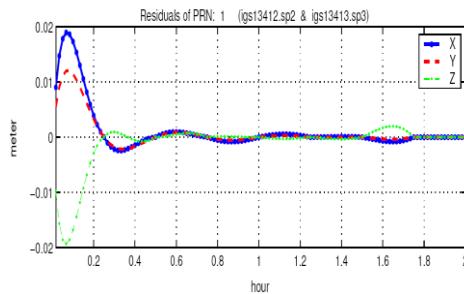
فاصله هندسی را در این سیستم اینترسیپال می‌توان این گونه نوشت:

$$\begin{aligned} \rho &= \left\| R_3(\omega_e \tau^k) (\rho u - \frac{\rho}{c} v_r) \right\| \\ &= \left\| (\rho u - \frac{\rho}{c} v_r) \right\| \end{aligned}$$

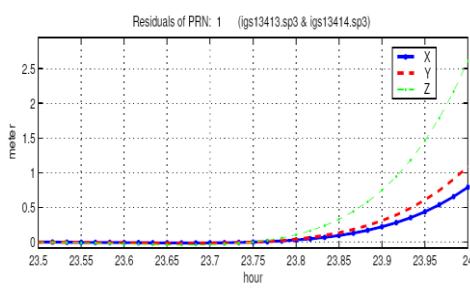
$$\rho^2 = \rho^2 + \frac{\rho^2}{c^2} \|v_r\|^2 - 2\rho u^T \frac{\rho}{c} v_r \quad \text{رابطه (11)}$$

جواب رابطه (11) با صرف نظر کردن از $\frac{1}{C^2}$ به این صورت خواهد بود:

مشکل دیگر، به انtrapولاسیون مدارات دقیق مربوط می‌شود. هنگامی که افمریس روزانه استفاده شود، در هنگام درون‌یابی در کناره‌ها ($0h:0m$) و ($23h:45m$) فقدان اطلاعات در یک طرف دقت درون‌یابی را کاهش می‌دهد، که به دو روش می‌توان با آن مقابله کرد: کاهش درجه چندجمله‌ای در کناره‌ها و یا عدم استفاده از آخرین اطلاعات. برای تخمین این بایاس در مدار دقیق، مختصات یک ماهواره یک بار با استفاده از اطلاعات یک روز و بار دیگر با استفاده از اطلاعات روز قبل و روز بعد محاسبه شده است. نتایج در شکل‌های ۳ و ۴ آمده است. برای ساعت ۲۴ اختلاف به بیش از ۲ متر می‌رسد، زیرا اطلاعات ساعت ۲۴ در افمریس دقیق روزانه موجود نیست.



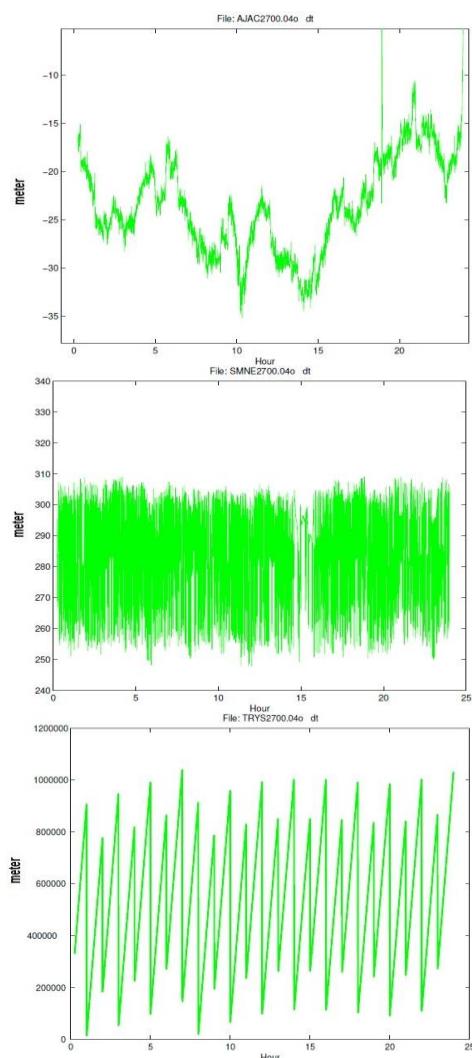
شکل ۳. اختلاف مختصات PRN01 در ابتدای روز، بدون استفاده از اطلاعات روز قبل (igs13413.sp3) و با استفاده از اطلاعات روز قبل (igs13412.sp3+ igs13413.sp3).



شکل ۴. اختلاف مختصات PRN01 در انتهای روز، بدون استفاده از اطلاعات روز بعد (igs13413.sp3) و با استفاده از اطلاعات روز بعد (igs13413.sp3+ igs13414.sp3)

ولی اختلاف در شروع روز در حد ۱-۲ سانتی‌متر است که می‌توان چشم پوشید. در برآورد ترپسفر شکل ۵ از افمریس روز بعد استفاده نشده است. اثر ۲

نوسان‌ساز زیاد باشد، بایستی این مسئله در ماتریس کوواریانس مجھولات در نظر گرفته شود. شکل ۲ نوسانات ساعت سه گیرنده Leica CRS1000، Trimble 4000SSI و AshtechZ-XII3 می‌دهد، که رفتار متفاوت نوسان‌سازها در آن کاملاً مشخص است. همچنین طراحی فیلتر برای تعیین موقعیت استاتیک و کینماتیک متفاوت خواهد بود. تعیین موقعیت کینماتیک با تنظیم مناسب پارامترهای فیلتر کالمون، انجام‌شدنی است. در این حالت مقدار نسبتاً بزرگ واریانس برای مختصات، بایستی در نظر گرفته شود؛ البته بزرگی این مقدار وابسته به دینامیک حرکت است.

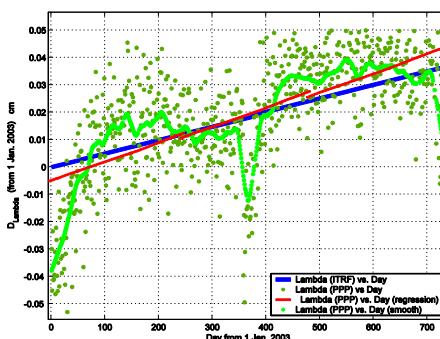


شکل ۲. تغییرات خطای ساعت گیرنده‌های مختلف

و در نتیجه مقدار اثر تروپوسفر تر (میزان بخار آب) قابل محاسبه است؛ سپس با استفاده از پیش‌بینی مشاهدات در فیلتر کالمون، به راحتی می‌توان مقدار آن را با دقت نسبتاً خوبی برای زمان‌های آتی پیش‌بینی کرد، زیرا میزان تغییرات بخار آب در کوتاه‌مدت، کم است [۵]. شکل ۵ نمونه‌ای از برآورد تروپوسفر را با استفاده از نرم‌افزار GPSS نشان می‌دهد که مقدار برآورد شده با نتایج نرم‌افزار Bernese مقایسه شده است.

۵- چارچوب مرجع جهانی و تعیین موقعیت مطلق دقیق

با ایجاد سرویس IGS و همکاری آن با سرویس بین‌المللی دوران زمین (IERS)، ارتباط بین GPS و ITRF بیشتر شده است، زیرا IERS مختصات نقاط و سرعت آنها را در چارچوب ITRF ارائه می‌دهد [۶] و IGS نیز از این مختصات در محاسبات خود استفاده می‌کند. در نتیجه افمریس‌های IGS با ITRF سازگارند. در اینجا پردازش روزانه PPP به مدت دو سال با استفاده از نرم‌افزار GPSS انجام شده است؛ ایستگاه SMNE از ایستگاه‌های شبکه دائم فرانسه بدین منظور مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این پردازش طولانی، بررسی تکرارپذیری نتایج حاصل از PPP و ITRF مقایسه آن با جایه‌جایی نقاط با استفاده از حل است. شکل ۶ نشانگر این مقایسه برای مؤلفه‌های مسطحاتی است. خطوط برآش داده شده به حل PPP تا مقدار زیادی با حل ITRF، همخوانی دارند.

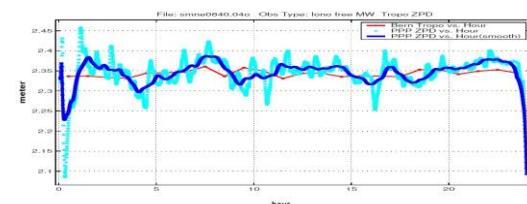


شکل ۶. حل PPP و مقایسه آن با مقادیر جایه‌جایی حاصل از ITRF برای ایستگاه SMNE
شکل سمت چپ مؤلفه شرقی است و شکل سمت راست مؤلفه شمالی

متري انترپلاسيون در انتهای روز در شکل ۵ در برآورد تروپوسفر به خوبی نمایان است. خطای سانتی‌متریک ابتدای روز به دلیل حل ابهام فاز در ابتدای برآورد، مشکلی ایجاد نخواهد کرد.

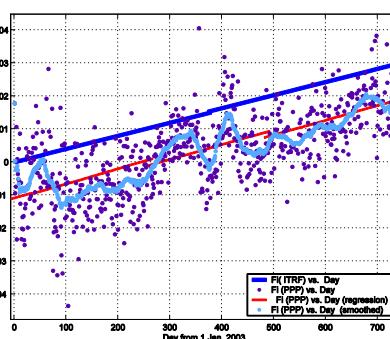
۴- برآورد تأخیر تروپوسفر

در بسیاری از موارد، بایاس‌های موجود در GPS به عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و Phase Wind Up می‌شوند؛ مثلاً اثر برای اندازه‌گیری میزان چرخش راکت [۷] و اثر چند مسیری برای اندازه‌گیری ارتفاع هواپیما [۸] استفاده شده‌اند. همین امر در مورد مطالعات هواشناسی با استفاده از GPS نیز صادق است.



شکل ۵. مقدار ZPD برای ایستگاه SMNE روز ۸۴ سال ۲۰۰۴ و مقایسه آن با خروجی Bernese

تأخير تروپوسفری را معمولاً با استفاده از مشاهدات تفاضلی دوگانه در ایستگاه‌های دائم برآورد می‌کنند. در PPP نیازی به اطلاعات سایر ایستگاه‌ها نیست و ZPD به عنوان یکی از مجهولات برآورد می‌شود. از ویژگی‌های مثبت PPP، سادگی محاسبه آنی (Real time) تروپوسفر است، زیرا محاسبات به صورت بازگشتی است و با ورود هر اپک مشاهداتی، بلا فاصله مقدار ZPD



شکل ۶. حل PPP و مقایسه آن با مقادیر جایه‌جایی حاصل از ITRF برای ایستگاه SMNE
شکل سمت چپ مؤلفه شرقی است و شکل سمت راست مؤلفه شمالی

جدول ۱. خطای مؤلفه‌های مسطحاتی و ارتفاعی نقاط شبکه پس از اعمال مدل‌های یونسفری برای PPP تکفرکانس

روش	ایستگاه	RGP مدل			IGS مدل			Klobuchar مدل		
		E	N	h	E	N	h	E	N	h
PPP	SMNE	0.07	-0.27	-0.14	0.27	-0.06	-0.62	0.23	-0.67	0.97
	CHIZ	0.39	-0.33	0.13	0.48	-0.05	-0.10	0.58	-0.61	1.26
	MLVL	0.12	-0.31	-0.07	0.14	-0.05	0.44	0.21	-0.66	0.92
C/A code مطلق	SMNE	-0.06	1.17	6.00	-0.02	1.40	5.49	0.23	0.72	6.88
	CHIZ	0.23	1.41	6.57	0.33	1.54	6.12	0.52	0.96	7.80
	MLVL	0.14	1.28	6.43	0.22	1.50	5.98	0.45	0.81	7.30

مشاهدات کد است. بدین ترتیب استفاده از PPP تکفرکانس مشخصاً به حل مطلق کد برتری دارد.

۷- نتایج و پیشنهادها

با گسترش ایستگاه‌های دائم در کشور، کاربرد PPP برای کنترل کیفیت مشاهدات ایستگاه‌های دائم نیز باشیست مدنظر قرار گیرد. به علاوه، استفاده از PPP در جابه‌جایی‌های پس از زلزله، رانش زمین و برآورد مقدار بخار آب اتمسفر نیز مفید است.

استفاده از PPP برای کاربران حرفه‌ای و به‌دست اوردن دقت بالا در آن مستلزم آشنایی کامل با جزئیات این تکنیک است. در این مقاله، برخی از مسائل و مشکلاتی که در حین توسعه نرم‌افزار PPP ممکن است با آن مواجه شد، بررسی گردیده است که آشنایی با آن حتی برای کسانی که قصد تهیه چنین برنامه‌ای را ندارند نیز مفید است. طراحی فیلتر در PPP یکی از مسائل مهمی است که به نوع گیرنده، مجهولات و نوع تعیین موقعیت وابسته است. همچنین در این روش انترپولاسیون در ابتدا و انتهای روز اهمیت دارد، که نقش آن با استفاده از یک مثال تشریح شده است. از مسائل مهم تحقیقاتی در این زمینه، PPP کینماتیک است که برای تعیین موقعیت و سرعت ماهواره‌ها به کار می‌رود. PPP تکفرکانس نیز بسیار مورد توجه است. دستیابی به جواب‌های دقیق در این حالت می‌تواند بیانگر کارایی مدل یونسفر به کار برده شده باشد.

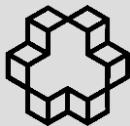
۶- پردازش تکفرسانه PPP

پردازش تکفرکانسه PPP، یکی از مواردی است که تحقیقات زیادی در مورد آن انجام گرفته است [۱۶، ۱۷ و ۱۹] و تکامل آن، ارتباط مستقیم با پیشرفت مدل‌های یونسفری دارد، زیرا در این روش امکان تشکیل مشاهدات عاری از یونسفر وجود ندارد. در هر حال در این روش، رسیدن به دقت‌های سانتی‌متريک امکان‌پذیر نیست، زیرا هیچ روش کاملاً کارایی برای مدلیزه کردن یونسفر وجود ندارد. مدل‌های یونسفری تا حد زیادی، دقت PPP تکفرکانس را بالا می‌برند و می‌توان انتظار تعیین موقعیت دسی‌متريک را با این روش داشت. در اينجا با استفاده از نرم‌افزار GPSS و استفاده از سه مدل یونسفری، پردازش PPP تکفرکانس انجام شده است. اين مدل‌ها عبارت‌اند از:

- مدل محلی چندجمله‌ای که با استفاده از ایستگاه‌های دائم فرانسه RGP محاسبه شده است؛
- مدل جهانی هارمونیک که با استفاده از ایستگاه‌های IGS، به‌وسیله این سرویس جهانی ارائه شده است؛ و
- مدل استاندارد منتشر شده Klobuchar که ضرایب آن به‌وسیله پیام‌های ناوبری GPS ارسال می‌گردند. نتایج در جدول ۱ آمده است. این جدول بیانگر تفاوت حل PPP تکفرکانس و حل مطلق با استفاده از

- منابع -

- [11] Neta, B., Sagovac, C., Danielson, D. and Lynch, J., 1996. *Fast Interpolation for Global Positioning System (GPS) Satellite Orbits.* www.math.nps.navy.mil/~bneta/inter.p.ps.
- [12] UNAVCO, The University NAVSTAR Consortium: <http://www.unavco.org/unavco.html>.
- [13] Schaer, S., 1999. *Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System.* Ph.D. thesis, Astronomical Institute of the University of Berne, Berne, Switzerland.
- [14] Odijk, D., 2001. *Instantaneous GPS Positioning under Geomagnetic Storm Conditions.* GPS Solutions, 5(2), 29-42.
- [15] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Wasle, E., 2008. *GNSS - Global Navigation Satellite Systems.* Springer-Verlag Wien.
- [16] Le, AQ., Tiberius, CCJM., Van der Marel and H., Jakowski, N., 2008. *Use of Global and Regional Ionosphere Maps for Single-Frequency Precise Point Positioning.* International Association of Geodesy Symposia, 133(4), 759-769, DOI: 10.1007/978-3-540-85426-5_87.
- [17] Le, AQ. and Tiberius, CCJM., 2007. *Single-frequency Precise Point positioning with Optimal Filtering.* GPS Solutions, 11(1), 61-96.
- [18] Bisnath S.B., Beran T. and Langley RB, 2002. *Precise Platform Positioning with a Single GPS Receiver.* GPS World, April 2002, 42-49.
- [19] Øvstdal O., 2001. *Absolute Positioning with Single Frequency GPS Receivers.* GPS Solutions, 5(4), 33-44.
- [20] Moreno, B., Radicella, S., de Lacy, M C., Herraiz, M. and Rodriguez-Caderot, G., 2011. On the Effects of the Ionospheric Disturbances on Precise Point Positioning at Equatorial Latitudes. *GPS Solutions, Online FirstTM*, 23 December 2010.
- [1] Bevis , M., 2010. *Researchers Show How far South American Cities Moved in Quake.* <http://researchnews.osu.edu/archive/chilequakemap.htm>. & <http://researchnews.osu.edu/archive/chilemoves.htm>.
- [2] Natural Resources Canada: *Online Global GPS Processing Service (CSRS-PPP).* http://www.geod.nrcan.gc.ca/products-produits/ppp_e.php.
- [3] Asgari, J., 2005. *Etude de Modèles Prédictifs dans un Réseau de Stations GPS Permanents.* Ph.D. thesis, Ecole Doctorale Astronomie & Astrophysique d'Ile de France, Paris Observatory, France.
- [4] Kouba, J., 2009. *A Guide to Using International GNSS Service (IGS) Products.* <http://igscb.jpl.nasa.gov/components/usage.html>.
- [5] Witchayangkoon, B., 2000. *Elements of GPS Precise Point Positioning.* Ph.D. thesis, Department of Spatial Information Science and Engineering, University of Maine, Orono, Maine, USA.
- [6] Gao, Y. and Wojciechowski, A., 2004. *High Precision Kinematic Positioning using Single Dual-frequency GPS Receiver.* ISPRS-2004.
- [7] García-Fernández, M., Markgraf, M., and Montenbruck, O., 2008. *Spin Rate Estimation of Sounding Rockets Using GPS Wind-up.* GPS Solutions, 12(3), 155-161.
- [8] Xu, G., 2003. *GPS Theory, Algorithms and Applications.* Springer Verlag.
- [9] Boucher, C. and Altamimi, Z., 1996. *ITRF and its Relationship to GPS.* GPS World, 7 (9), pp. 71-74. <http://lareg.ensg.ign.fr/CIAG/WITRF/ITRF-GPS.html>.
- [10] Teunissen, P., Jonkman, N. and Tiberius, C., (1998) *Weighting GPS dual frequency observations : Bearing the cross of cross-correlation.* GPS Solutions, 2 (2), 28-37.



A Few Aspects of Precise Point Positioning and Presentation of GPSS Toolbox

Asgari J.*¹, Zangane Nejad F.², Zaminpardaz S.³

1- Assistant Prof., Faculty of Engineering, Isfahan University

2- M.Sc. Student in Geodesy, Faculty of Engineering, Isfahan University

3- M.Sc. Student in Geodesy, Faculty of Engineering, Tehran University

Abstract

Some theoretical and numerical problems of Precise Point Positioning (PPP) and the methods to resolve these problems are among the main objectives of this paper. In this conjunction a GPS toolbox is presented. GPSS is a MATLAB® GPS software for PPP, which was developed by the first author. Furthermore other supplementary functions were embedded in this toolbox for GPS data processing, and demonstration of ionospheric and tropospheric models. Dynamic model construction's difficulties depend on the unknowns while other problems are related to the nature of PPP. Understanding these problems is important for investigations and research in this field

Keywords: GPS, Troposphere, PPP, EKF, GPSS.