مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یکم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۲
Vol.1, No.2, Autumn 2013

جنبه‌هایی از تعیین موقعیت مطلق دقیق و معرفی نرم‌افزار GPSS

جمال عسگری*[۱]، فرزانه زنگنه‌نژاد[۲]، صفورا 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: ۱۳۹۲/۲/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۵/۲۵

چکیده

نرم‌افزار GPSS جعبه ابزار مطلب است که نگارندگان مقالهٔ حاضر آن را تهیه کرده‌اند. این جعبه ابزار حاوی توابع اساسی برای تعیین موقعیت دقیق و همچنین توابع جانبی برای پردازش و نمایش اطلاعات GPS و مدل‌های یونسفر و ترپسفر 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 مجهولات 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.

کلیدواژه‌ها: GPS، ترپسفر، PPP، EKF، GPSS.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: اصفهان، میدان آزادی، خ. هزار جریب، دانشگاه اصفهان، دانشکدهٔ فنی و مهندسی.
تلفن: ۰۳۱۱-۷۹۳۴۰۲۰

Email: Asgari@eng.ui.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.1.1.92]

۱- مقدمه

امروزه تعیین موقعیت مطلق دقیق (PPP)[1] به عنوان یکی از روش‌های مهم برای پردازش مشاهدات GPS مطرح شده است. PPP 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 بین‌المللی مانند IGS[2] می‌تواند گرفته شود. این روش در برخی مسائل مانند جابه‌جایی‌های بعد از زلزله [۱] 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 برخط PPP سازمان منابع طبیعی کاناداست [۲]. از دیگر مزایای این روش، برآورد آنی تأخیر ترپسفری در ایستگاه مستقل است. همچنین می‌توان از آن به عنوان ابزاری برای کنترل کیفیت مشاهدات در ایستگاه‌های دائم ملی استفاده کرد.

نرم‌افزار GPSS[3] شامل تمام برنامه‌ها و زیربرنامه‌های مورد نیاز برای PPP است که در محیط MATLAB تهیه شده است، و در این مقاله برخی از قابلیت‌های آن معرفی می‌شود. با توجه به توسعهٔ انجام شده در منبع [۳]، در این مقاله به برخی از نکات اساسی در PPP اشاره می‌شود. این نکات برای مسائل تحقیقاتی بسیار مهم‌اند. استفاده از نرم‌افزارهای موجود مانند GIPSY و یا Bernese برای پردازش PPP بسیار مفید است، لیکن بررسی‌های عمیق‌تر فقط در صورتی امکان‌پذیر است که پژوهشگران بتوانند به‌راحتی پارامترهای دلخواه و مجهولات متفاوت را آزمایش کنند.

در این مقاله جزئیات PPP، که بخش مهمی از آن مدل‌ها به تصحیحات مربوط می‌شوند، ارائه نشده است. خوانندهٔ علاقه‌مند می‌تواند به [۳، ۴ و ۵] مراجعه کند. به‌جای ارائهٔ کلیات روش PPP، در اینجا به نکات خاصی از آن اشاره شده است که می‌تواند برای محققان کاربرد داشته باشد. همچنین یکی از موارد پردازش طولانی‌مدت (دوساله) PPP نیز به عنوان نمونه ارائه شده است. پردازش تک فرکانسه PPP بسیار مورد علاقه هر پژوهشگر است و نتایج بهتر این پردازش ارتباط مستقیم به تکامل مدل‌های یونسفر دارد. در ادامه مقاله مثالی در این زمینه آورده شده است.

۲- مدل ریاضی

مشاهدهٔ اساسی در روش PPP اندازه‌گیری عاری از یونسفر کد و فاز است. دستیابی دقت‌های بالا نیاز به زمان بیشتر و اعمال تصحیحات دقیق در مشاهدات دارد. در این میان خطای ساعت گیرنده و تأخیر ترپسفر، از مجهولات این روش‌اند، که برآورد می‌شوند. مشاهدهٔ عاری از یونسفر را می‌توان به یکی از دو صورت زیر تشکیل داد [۵]:

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

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 فرکانس آنها و P_1 و P_2 اندازه‌گیری شبه‌فاصلهٔ کد بر روی این دو موج هستند. با استفاده از این مشاهدات خطای یونسفر تا حد زیادی حذف می‌شود و مقدار باقی‌مانده در حد چند میلی‌متر 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 یونسفر، ترکیب مشاهدات کد و فاز بدین صورت است [۶]:

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

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.1.1.92]

این ترکیب نیز عاری از یونسفر است و به علاوه، نویز کد در آن کاهش پیدا می‌کند. حسن این ترکیب، دستیابیِ سریع‌تر به جواب در مقایسه با روش قبل است، لیکن با وزن‌دهی مناسب کد و فاز در روند فیلتر کالمن EKF[1] استفاده شده در PPP، ترکیب رابطه (۱) ارجحیت دارد.

در این مسئله بردار مجهولات بدین صورت خواهد بود:

رابطه (۳) $$X = [\, x_r^T,\ N,\ c\delta t_r\ ,\ ZPD\ ]^T$$

که در آن x_r بردار موقعیت ایستگاه، N بردار ابهام فازها برای تمام ماهواره‌ها، δt_r خطای ساعت گیرنده و ZPD تأخیر قائم[2] ترپسفر هستند.

رابطه (۱) را می توان به این صورت نوشت:

رابطه (۴) $$\begin{cases} L_3^k = \rho^k - c\delta t_r + \lambda N^k + M\ ZPD + \varepsilon_Q \\ P_3^k = \rho^k - c\delta t_r + M\ ZPD + \varepsilon_p \end{cases}$$

که در آن ρ^k فاصلهٔ هندسی ماهواره تا گیرنده، c سرعت نور ، λ طول موج L_3، N^k ابهام فاز ماهوارهٔ kام، و M تابع تصویر تروپسفری 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 مجهولات 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:

رابطه (۵) $$x_I^k(t-\tau^k) = R_3(\omega_e\tau^k)\, x^k(t-\tau^k)$$

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[3] است و ω_e سرعت دوران زمین. $x_I^k(t-\tau^k)$ بردار موقعیت ماهواره در لحظهٔ $(t-\tau^k)$ در یک سیستم ECSF[4] است که این سیستم در لحظه t تعریف شده است. این سیستم غیردوّار است که محورهای آن تحت تاثیر دَوَران 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:

رابطه (۶) $$x^k(t-\tau^k) = x^k(t) - \dot{x}^k(t)\,\tau^k$$

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 ۰/۱ ثانیه است. سپس:

رابطه (۷) $$x_I^k(t-\tau^k) = R_3(\omega_e\tau^k)(x^k(t) - \dot{x}^k(t)\,\tau^k)$$

و نیز:

رابطه (۸) $$\rho(x_I^k(t-\tau^k), x_{r\,I}(t)) = \left\| x_I^k(t-\tau^k) - x_{r\,I}(t) \right\|$$

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:

رابطه (۹)

$$\begin{aligned} x_I^k(t-\tau^k) - x_{r\,I}(t) &= \\ &= R_3(\omega_e\tau^k)\,(x^k(t) - \dot{x}^k(t)\,\tau^k) - x_r(t) \\ &= R_3(\omega_e\tau^k)(x^k(t) - \dot{x}^k(t)\tau^k - R_3(-\omega_e\tau^k)\,x_r(t)) \\ &= R_3(\omega_e\tau^k)(x^k(t) - \dot{x}^k(t)\tau^k - (I + H\omega_e\tau^k)\,x_r(t)) \\ &= R_3(\omega_e\tau^k)\left(x^k(t) - x_r(t) - (\dot{x}^k(t) + H\omega_e x_r(t))\tau^k\right) \\ &= R_3(\omega_e\tau^k)\,(\rho u - \frac{\rho}{c}\upsilon_r) \end{aligned}$$

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.1.1.92]

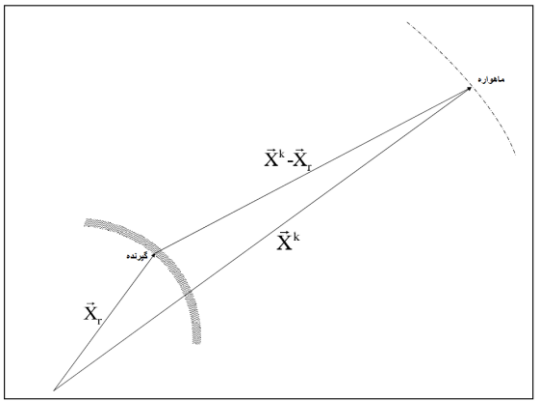
که در آن از این رابطه استفاده شده است:

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

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

$$\upsilon_r = \dot{X}^k(t) + H\omega_e X_r(t) \qquad \text{رابطه (۱۰)}$$

در آن، υ_r نشانگر سرعت نسبی گیرنده-ماهواره در سیستم مرجع‌گردان (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 ـ گیرنده

فاصلهٔ هندسی را در این سیستم اینرشیال می‌توان این گونه نوشت:

$$\rho = \left\| R_3(\omega_e\tau^k)\,(\rho u - \frac{\rho}{c}\upsilon_r) \right\| = \left\| (\rho u - \frac{\rho}{c}\upsilon_r) \right\|$$

$$\rho^2 = \rho^2 + \frac{\rho^2}{c^2}\|\upsilon_r\|^2 - 2\rho u^T\frac{\rho}{c}\upsilon_r \qquad \text{رابطه (۱۱)}$$

جواب رابطه (۱۱) با صرف‌نظر کردن از $\frac{1}{C^2}$ به این صورت خواهد بود:

$$\rho = \rho\,(1 - u^T\frac{\upsilon_r}{c}) \qquad \text{رابطه (۱۲)}$$

پس از دیفرانسیل‌گیری از رابطهٔ (۱۱) و صرف‌نظر کردن از جملات با ضریب $\frac{1}{c^2}$، این روابط به دست می‌آیند [۳]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\rho}{\partial X^k} = u^T - \dfrac{\upsilon_r^T}{c} \\ \dfrac{\partial\rho}{\partial X_r} = -u^T + \dfrac{\upsilon_r^T}{c} \end{cases} \qquad \text{رابطه (۱۳)}$$

که سیستم معادلات (۴) پس از خطی کردن، به صورتی که در پی می‌آید خواهد شد:

$$\begin{bmatrix} L_3^k - L_3^k(o) \\ P_3^k - P_3^k(o) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \varepsilon_Q^k \\ \varepsilon_p^k \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} -u^T + \dfrac{\upsilon_r^T}{c} & \lambda & 1 & M \\ -u^T + \dfrac{\upsilon_r^T}{c} & 0 & 1 & M \end{bmatrix}(X - X(o)) \qquad \text{رابطه (۱۴)}$$

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

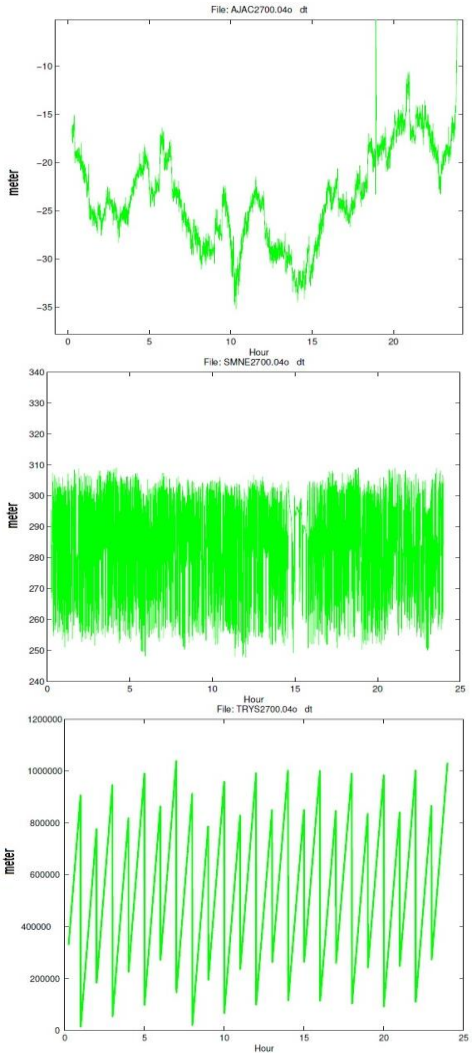
۳- برخی از مشکلات مسئله PPP

از مسائل مهم در PPP، نحوهٔ 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 تعیین‌کنندهٔ ابعاد مشاهدات، مجهولات و ماتریس‌های واریانس ـ کوواریانس است که در منبع [۳] نحوهٔ مواجه شدن با آن بررسی شده است.

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

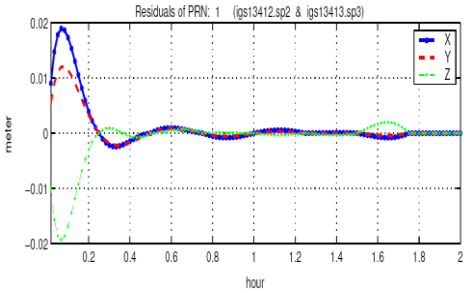
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.1.1.92]

نوسان‌ساز زیاد باشد، بایستی این مسئله در ماتریس کوواریانس مجهولات در نظر گرفته شود. شکل ۲ نوسانات ساعت سه گیرنده Leica CRS1000 ، AshtechZ-XII3 و Trimble 4000SSI را نشان 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 کالمن، انجام‌شدنی است. در این حالت مقادیر نسبتاً بزرگ واریانس برای مختصات، بایستی در نظر گرفته شود؛ البته بزرگی این مقدار وابسته به دینامیک حرکت است.

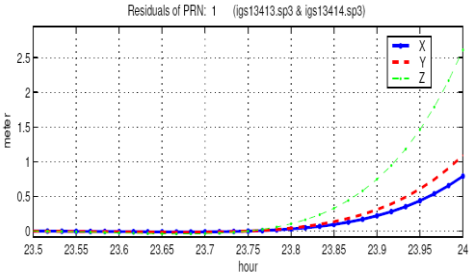


شکل ۲. تغییرات خطای ساعت گیرنده‌های مختلف

مشکل دیگر، به انترپولاسیون مدارات دقیق مربوط می‌شود. هنگامی که افمریس روزانه استفاده شود، در هنگام درون‌یابی در کناره‌ها (0h:0 m) 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)

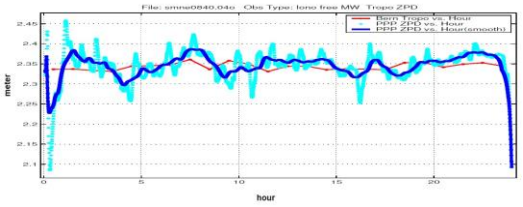
ولی اختلاف در شروع روز در حد ۱-۲ سانتی‌متر است که می‌توان چشم پوشید. در برآورد ترپسفر شکل ۵ از افمریس روز بعد استفاده نشده است. اثر ۲

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.1.1.92]

متری انترپولاسیون در انتهای روز در شکل ۵ در برآورد ترپسفر به خوبی نمایان است. خطای سانتی‌متریک ابتدای روز به دلیل حل ابهام فاز در ابتدای برآورد، مشکلی ایجاد نخواهد کرد.

۴- برآورد تأخیر تروپسفر

در بسیاری از موارد، بایاس‌های موجود در GPS به عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و اتمسفری استفاده می‌شوند؛ مثلاً اثر Phase Wind Up 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.



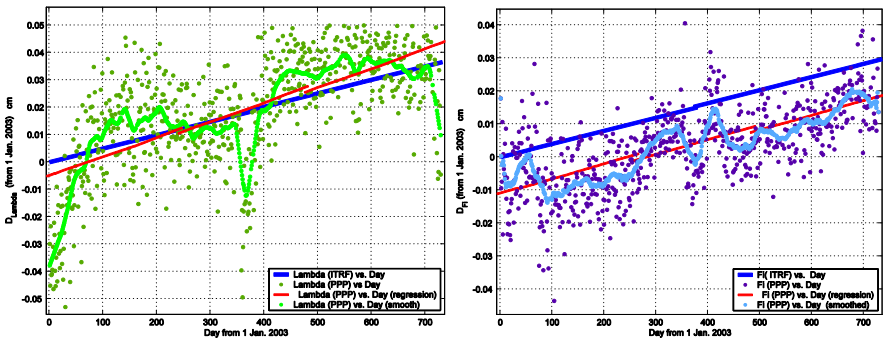
شکل ۵. مقدار ZPD برای ایستگاه SMNE روز ۸۴ سال ۲۰۰۴ و مقایسه آن با خروجی Bernese

تأخیر تروپسفری 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 محاسبهٔ آنی (Real time) تروپسفر است، زیرا محاسبات به صورت بازگشتی است و با ورود هر اپک مشاهداتی، بلافاصله مقدار ZPD و در نتیجه مقدار اثر تروپسفر تر (میزان بخار آب) قابل محاسبه است؛ سپس با استفاده از پیش‌بینی مشاهدات در فیلتر کالمن، به‌راحتی 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 تروپسفر 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 [۹] و IGS نیز از این مختصات در محاسبات خود استفاده می‌کند. در نتیجه افمریس‌های IGS با ITRF سازگارند.

در اینجا پردازش روزانهٔ PPP به مدت دو سال با استفاده از نرم‌افزار GPSS انجام شده است؛ ایستگاه SMNE از ایستگاه‌های شبکهٔ دائم فرانسه بدین منظور مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این پردازش طولانی، بررسی تکرارپذیری نتایج حاصل از PPP و مقایسهٔ آن با جابه‌جایی نقاط با استفاده از حل ITRF است. شکل ۶ نشانگر این مقایسه برای مؤلفه‌های مسطحاتی است. خطوط برازش داده شده به حل PPP تا مقدار زیادی با حل ITRF، همخوانی دارند.



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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.1.1.92]

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

روش	ایستگاه	مدل RGP			مدل IGS			مدل Klobuchar		
		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

۶- پردازش تک‌فرسانه PPP

پردازش تک‌فرکانسهٔ 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 سانتی‌متریک 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 دسی‌متریک را با این روش داشت. در اینجا با استفاده از نرم‌افزار GPSS و استفاده از سه مدل یونسفری، پردازش PPP تک‌فرکانس انجام شده است. این 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 شدهٔ 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 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 بایستی مدنظر قرار گیرد. به‌علاوه، 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 آوردن 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 به‌کار برده شده باشد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.1.1.92]

۸- منابع

[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.

[11] Neta, B., Sagovac, C., Danielson, D. and Clynch, J., 1996. *Fast Interpolation for Global Positioning System (GPS) Satellite Orbits.*www.math.nps.navy.mil/~bneta/interp.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] Øvstedal 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.*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.1.1.92]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.1, No.1, Autumn 2013
93-100

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.

Correspondence Address: Faculty of Engineering, Isfahan University, Hezar Jarib Str., Azadi Squ., Isfahan. Tel: +98 311 7934020
Email: Asgari @ eng.ui.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.1.1.92]