

**ТОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЖИМА
ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ PPP В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ
«GRAFNAV/ GRAFNET™». ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

Желанов А.А.¹, Шелковенков Д.А.¹, Жалило А.А.¹, Шокало В.М.¹,
Флерко С.Н.², Черевко В.С.²

¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. основ радиотехники, тел. (057) 702-13-06,

E-mail: gpsgroup@kture.kharkov.ua

²ООО «Европромсервис» (NovAtel Ukraine)

61058, Харьков, пр. Ленина, 5, офис 37, тел. (057) 755-61-91,
тел./факс (057) 758-56-86, E-mail: info@eps.com.ua

Precise Point Positioning (PPP) is a form of GPS/GNSS data post-processing that does not use a base station for differential corrections. It is performed using the observation data from one receiver, in conjunction with precise satellite orbit and clock files, which serve to minimize the error sources. In the report the preliminary results of PPP data post-processing research with application «GrafNav/ GrafNet™» software are submitted.

В настоящее время при выполнении геодезических работ требуется, как правило, сантиметровая точность координатных определений. Такой уровень точности достигается при дифференциальном методе обработки фазовых GPS/GNSS наблюдений. Для реализации дифференциального метода [1] обработки GPS/GNSS наблюдений необходимо, чтобы в пункте с неизвестными координатами и в пункте с известными координатами велись квазисинхронные наблюдения. Затем, при обработке формируются разностные уравнения фазовых наблюдений, благодаря которым компенсируются медленноменяющиеся составляющие эфемеридных, частотно-временных погрешностей, задержки в тропосферных и ионосферных слоях и др. При этом применение одинарных и двойных разностей наблюдений [1] позволяет (при определенных условиях) разрешить фазовые неоднозначности, что, в свою очередь, и позволяет достичь сантиметровую, миллиметровую точность. Существуют ограничения по удалению станций друг от друга, что может привести к невозможности разрешения фазовой неоднозначности и достижению требуемой точности. Отсюда следует, что заданной территории необходимо наличие развитой инфраструктуры сети опорных станций. В настоящее время на территории Украины действующая сеть перманентных станций весьма разрежена и не может осуществлять поддержку геодезических работ в полном объеме. Вследствие этого, потребителю при выполнении работ необходимо иметь дорогостоящий комплект оборудования, состоящий, как минимум, из двух двухчастотных приемников, один из которых используется в качестве базовой станции, требующей достаточной длительной процедуры «привязки». В этих условиях альтернативой является относительно недавно появившийся и вошедший в практику метод точного позиционирования PPP (Precise Point Positioning).

Важнейшей особенностью метода PPP [2, 3] является то, что он не требует наличия базовой станции для квазисинхронных наблюдений и дифференциальных коррекций. Для компенсации основных погрешностей данный метод предполагает использование высокоточных оценок орбит и часов спутников, а также оценок тропосферных и ионосферных параметров, межчастотных задержек в радиотрактах спутников. Данную информацию формируют в международных сервисных центрах обработки GPS/GNSS наблюдений, таких как IGS, EPN, JPL и др., которые используют наблюдения глобальных и региональных сетей станций и предоставляют ее в виде файлов с расширением *.sp3, *.clk – орбиты и часы спутников, а также IONEX – файлы для коррекции ионосферных погрешностей. Но при этом возникает проблема, связанная с задержкой получения данных файлов и точностью, которую они обеспечивают. Информация о точности оценок орбит, часов спутников и атмосферных параметров, и время, через которое данная информация доступна в Internet, представлена на сайте центра обработки GNSS наблюдений IGS (<http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/prods>).

В январе 2008 года в Украине на рынке продуктов обработки и анализа GPS/GNSS наблюдений появился программный комплекс (ПК) «GrafNav/GrafNet» версии 8.10 [4], который поддерживает ряд традиционных методов обработки GPS/GNSS данных, в том числе, и в режиме PPP. Целью данной работы является исследование точностных и эксплуатационных возможностей данного режима обработки в реализации ПК «GrafNav/GrafNet» версии 8.10, сравнение результатов независимого тестирования с заявленными производителем характеристиками [4] и их дополнение, выработка практических рекомендаций по применению режима PPP в задачах геодезии, кадастра, межевания земли, траекторных измерений и др. Исследования были проведены специалистами кафедры ОПТ ХНУРЭ с использованием наблюдений базовой GPS-станции ХНУРЭ (SURE), а также с использованием наблюдений, полученных при выполнении аэрофотосъемки на борту летательного аппарата (ЛА), предоставленных ООО «Аэрокосмическое агентство «МАГЕЛЛАН» и ЧП «ГЕОСКАНЕС», г. Киев.

В процессе исследований были проведены следующие экспериментальные работы и исследования:

1) Оценка координат станции SURE дифференциальным методом относительно IGS-станции KHAR (ННЦ «Институт метрологии», база ~1300 м) за сутки и с разделением суточного набора наблюдений на интервалы по 3 часа, это позволило оценить точность определения координат за более короткие периоды наблюдений;

2) Оценка координат станции SURE в режиме PPP за сутки и с интервалом 3 часа;

3) Оценка координат траектории полета ЛА при аэрофотосъемке дифференциальным методом;

4) Оценка координат траектории полета ЛА в режиме PPP;

5) Сравнительный анализ полученных результатов.

Оценки координат станции SURE относительно станции KHAR были получены по результатам наблюдений 28 марта 2008 года. Погрешности «привязки» координат SURE составили $\sim 2 \div 5$ мм (СКО), что позволило принять эти оценки в качестве эталонных координат.

При PPP-режиме обработки статических наблюдений использовались наиболее точные оценки орбит и часов спутников (тип: final), а также оценки значений межчастотные задержек в трактах спутников (DCB – Differential Code Bias). Файлы оценок атмосферных параметров IONEX не использовались, так как в обработку принимались двухчастотные GPS/GNSS наблюдения.

Дополнительно был проведен анализ наблюдений с применением ПК «Octava_PPA» [5], который позволяет провести высококачественную предварительную обработку наблюдений, включая контроль их. Это дало возможность провести анализ изменения точности при обработке а) «сырой» информации и б) после предварительной обработки этих же наблюдений с использованием ПК «Octava_PPA».

Ниже на рис.1 представлены отклонения по плановым координатам между PPP-решением и дифференциальным за сутки и с интервалом 3 часа. На рис. 2 представлены отклонения по высоте для станции SURE с интервалом 3 часа в зависимости от режима обработки.

При исследовании возможностей режима PPP при обработке кинематических наблюдений используемые бортовые GPS данные ЛА были обработаны с в дифференциальном и PPP-режиме, а также с применением ПК «Octava_PPA». Погрешности оценки параметров траектории полета ЛА, рассчитанной дифференциальным методом с применением ПК «GrafNav/GrafNet», не превысили $5 \div 10$ см, что позволило принять такую оценку траектории ЛА в качестве эталонной. В результате были получены невязки PPP и эталонных решений на субметровом уровне точности как по плановым координатам, так и по высоте.

При исследовании возможностей режима PPP при обработке кинематических наблюдений используемые бортовые GPS данные ЛА были обработаны с применением ПК «GrafNav/GrafNet» в дифференциальном и PPP-режиме, а также с применением ПК «Oc-

tava_PPA». Погрешности оценки параметров траектории полета ЛА, рассчитанной дифференциальным методом с применением ПК «GrafNav/GrafNet», не превысили $5 \div 10$ см, что позволило принять такую оценку траектории ЛА в качестве эталонной.

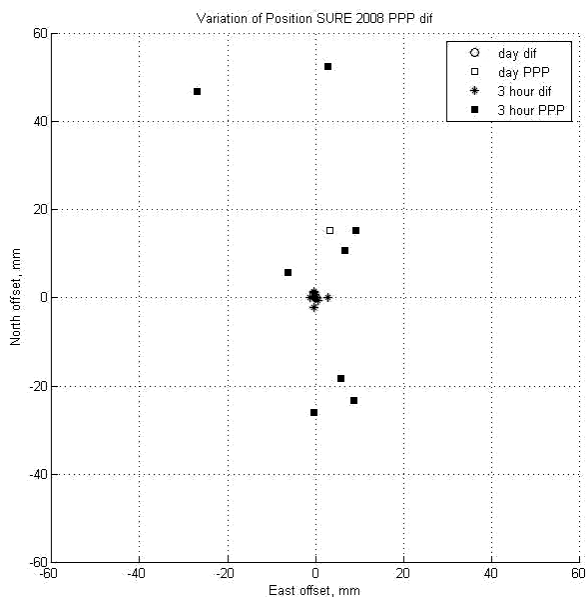


Рис. 1. Отклонения решений по плановым координатам в зависимости от режима позиционирования за сутки и для трехчасовых сессий

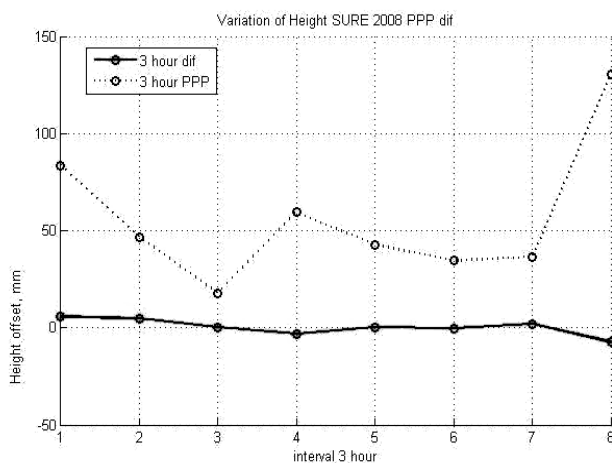


Рис. 2. Отклонения PPP- решения по высоте от эталонного для трехчасовых сессий

В результате были получены невязки PPP и эталонных решений на субметровом уровне точности как по плановым координатам, так и по высоте.

Сравнительный анализ полученных результатов оценки точностных характеристик режима PPP, реализованного в ПК «GrafNav/GrafNet», позволил сделать следующие выводы:

1) Режим точного позиционирования PPP имеет перспективы широкого практического использования в Украине, является в ряде практических случаев альтернативой и дополнением к дифференциальным методам точного позиционирования, не требует уста-

новки и использования базовых станций. При этом для обработки измерительной информации требуется использовать точные орбиты и часы спутников, оценки тропосферных и ионосферных параметров, межчастотные задержки в радиотрактах навигационных спутников и др.

2) Режим PPP, реализованный в ПК «GrafNav/GrafNet», позволяет получить субдециметровый/сантиметровый уровень точности для статических наблюдений и субметровый уровень точности для кинематических наблюдений. Для статических наблюдений оценки погрешностей определений плановых координат соответствуют оценкам, заявленным в [4], однако погрешности определения вертикальной составляющей превышают заявленные характеристики и достигают величины 5 см при суточных наблюдениях и 10-12 см при трехчасовых сеансах. Отдельные выбросы оценок на метровом уровне при кинематической съемке связаны с изменением геометрического фактора и эволюциями ЛА во время движения (полета). Использование дополнительной информации о динамике движения ЛА, по-видимому, позволит исключить аномальные выбросы оценок и улучшить представленные результаты, однако это требует дополнительных исследований.

3) Серьезный недостаток режима PPP – зависимость от точности и доступности точных продуктов IGS, что в свою очередь, приводит к задержке обработки до 2 недель. Кроме того, как показало тестирование, для достижения сантиметровой точности длительность сеанса наблюдений для обработки в PPP-режиме увеличивается в 2 и более раз по сравнению с длительностью сеанса наблюдений в дифференциальном режиме;

4) Использование ПК «Octava_PPA» позволило выполнить полный препроцессинг и анализ первичных GPS наблюдений, полученных в статическом и кинематическом режимах съемки. Это позволило улучшить точность результатов обработки в статическом режиме на 5÷10%. При обработке кинематических наблюдений погрешности определения параметров движения ЛА возрастают до метрового уровня и в этом случае использование ПК «Octava_PPA» не дало улучшения точности, по крайней мере, для анализируемой сессии измерений.

Представленные здесь результаты являются предварительными. Планируется проведение более детальных и расширенных исследований характеристик PPP режима, в частности, зависимости от применяемых типов точных эфемерид и часов (ultra rapid, rapid, final(precise)), коррекций тропосферных и ионосферных параметров для одно-, двухчастотной статической и кинематической информации и с изменением интервала времени наблюдений (1, 3, 6, 12, 24 часа).

Литература

1. Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтнеггер, Д. Коллінз; Пер. з англ. третього вид. Під ред. Я.С. Яцківа. – Київ: Наукова думка, 1995. – 380 с.

2. Analyzing the Performance Characteristics of a Precise Point Positioning System / Mohamed Abdel-Salam, Yang Gao, and Xiaobing Shen. – Portland. ION GPS 2007. – pp. 1893-1899.

3. Precise Positioning with Undifferenced Data / Y. Gao and K. Chen. – The European Navigation Conference, 2004. – pp. 1-9.

4. Static Precise Point Positioning Accuracy in GrafNav 8.10 / Waypoint Products Group, NovAtel Inc. January 2008. www.novatel.com/Documents/, <http://eps.com.ua/>

5. Features and service performance of multifunctional software toolkit “OCTAVA” for processing and analysis of GPS/GNSS observations / Zhalilo A., Shelkovenkov D.– GEOS 2007 Conference Proceedings, Prague, Czech Republic, 1st – 2nd March 2007, pp. 102-110.