

УДК656.368

**В.В. Конин, д.т.н.
А.С. Погурельский**

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ МИНИМАЛЬНЫХ ОБЪЕДИНЁННЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ GPS И ГЛОНАСС

Национальный авиационный университет, e-mail: pogurelskiy@gmail.com

Приводятся результаты исследования точности определения координат пользователя программным продуктом, реализующим одновременную обработку сигналов от спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС, в условиях работы с минимальным количеством доступных спутников объединённого созвездия.

Ключевые слова: спутниковая навигация, точность позиционирования, GPS, ГЛОНАСС, совместная обработка данных.

Введение

Ввиду параллельного функционирования на современном этапе двух (GPS и ГЛОНАСС), а в скором времени трёх (после развёртывания Galileo) глобальных спутниковых радионавигационных систем (СРНС), повышение эффективности их применения заключается в использовании методов и алгоритмов совместной обработки информации, поступающей от спутников всех доступных систем. С точки зрения пользователя, совместная обработка данных эквивалентна объединению орбитальных созвездий, обеспечивающему избыточность источников навигационных сигналов, крайне необходимую в условиях ограниченной видимости небесной полусферы. Реализация этой задачи в программном обеспечении пользовательского оборудования увеличивает целостность и доступность сервиса спутниковой навигации в целом.

Постановка задачи исследования

Доведённые до номинального значения орбитальные группировки GPS и ГЛОНАСС обеспечивают в любой точке земного шара общее число видимых навигационных спутников (НС) от 16 до 23. В таких условиях совместная обработка данных от всех доступных НС нецелесообразна, поскольку к принципиальному повышению точности не приводит, а только перегружает вычислительными операциями процессор приёмника. Однако в реальных условиях недостаточные по количеству видимых НС конфигурации возможны в условиях ограниченной видимости, при высоком значении отсекающего угла маски. Такие условия нередко возникают не только в горной местности, но также в условиях городской застройки.

В связи с этим научный и практический интерес представляют исследования точности позиционирования при совместном использовании сигналов систем GPS и ГЛОНАСС в таких конфигурациях, когда работа каждой из систем по отдельности невозможна, например, при следующем наборе: 3 спутника GPS и 2 спутника ГЛОНАСС. Также имеют интерес результаты определения координат пользователя при дополнении минимального рабочего набора из четырёх спутников одной системы несколькими из другой. Возможный выигрыш в точности определения координат пользователя в таком случае будет обусловлен уменьшением геометрического фактора ухудшения точности, зависящим от количества используемых НС и их расположения относительно пользователя.

Для формирования и исследования критичных конфигураций спутников GPS и ГЛОНАСС используем интерфейс навигационной станции, который позволяет отключать приём сигнала от любого спутника. С его помощью составим искусственно ограниченное созвездие и произведём запись навигационных данных. Обработку полученного набора навигационных данных выполним при помощи комплекса программ совместной обработки данных, поступающих от спутников GPS и ГЛОНАСС.

Поскольку системы GPS используют разные опорные системы WGS-84 и ПЗ-90.02 соответственно, то при определении координат пользователя необходимо предусмотреть переход к единой системе – WGS-84 [1,2].

Процесс исследования

Программа совместной обработки данных основана на методе, описанном в [3]. При совместной обработке данных от разных СРНС увеличивается количество неизвестных, которые должны быть определены. В частности, в произвольный момент времени неизвестна величина расхождения их системных шкал времени между собой. В связи с этим, используемая для обработки данных программа на алгоритмическом уровне имеет следующие ограничения к наборам спутников:

- каждая система должна быть представлена минимум двумя НС;
- суммарное количество НС не менее пяти.

Для сочетаний спутников систем GPS и ГЛОНАСС исследуем конфигурации: 3+2, 2+3, 3+3, 4+2 и 2+4 НС соответственно. Оценка точности позиционирования будет заключаться в определении абсолютной разницы с априори известными координатами расположения антенны приёмника. Для каждого решения определим разность по соответствующей координатной оси ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$) и суммарную пространственную ошибку определения координат $\Delta R = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$. Таким образом, в результате обработки продолжительной записи измерений до спутников заданной конфигурации будут сформированы массивы ошибок, которые могут быть представлены в виде временных графиков. Эти же данные будут подвергнуты статистической обработке, состоящей в определении максимальных и минимальных значений полученной выборки, вычислении математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического отклонения (СКО). Графические результаты исследования и результаты статистической обработки дополним изображением исследуемой конфигурации, полученным из рабочего окна интерфейса навигационного приёмника в момент записи.

Конфигурация 3GPS+2ГЛОНАСС.

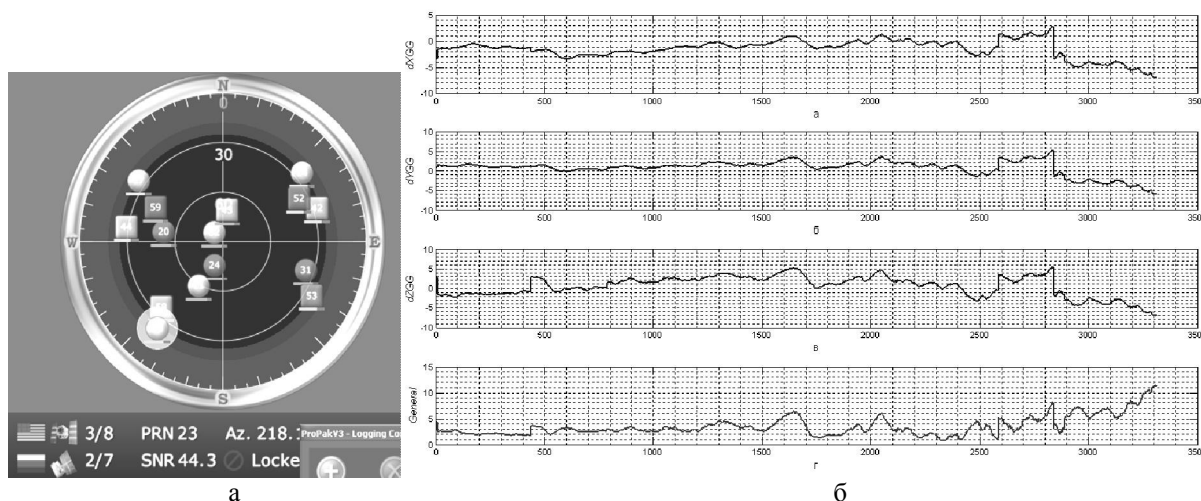
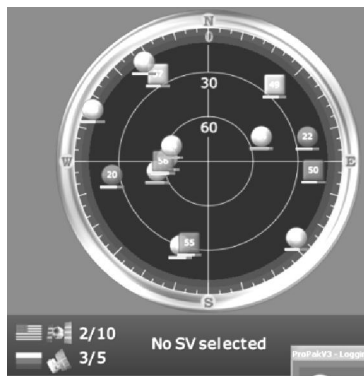


Рис. 1. Сформированная конфигурация 3GPS+2ГЛОНАСС (а) и точность позиционирования (б)

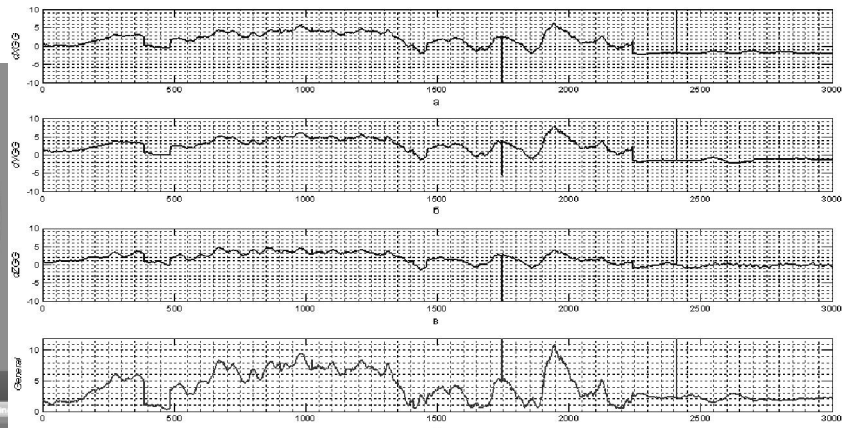
Таблица 1

Параметр	Точность вдоль соответствующей оси			
	ΔX	ΔY	ΔZ	R
Объём выборки	3310	3310	3310	3310
Макс. значение, м	2.767	5.356	5.489	11.460
Мин. значение, м	-7.004	-5.842	-6.938	0.939
Мат. ожидание, м	-1.366	0.822	0.590	3.574
Дисперсия, м	2.955	3.652	6.719	3.437
СКО, м	1.719	1.911	2.592	1.854

Конфигурация 2GPS + 3 ГЛОНАСС



а



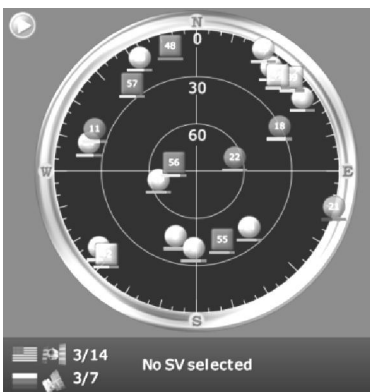
б

Рис. 2. Сформированная конфигурация 2GPS+3ГЛОНАСС (а) и точность позиционирования (б)

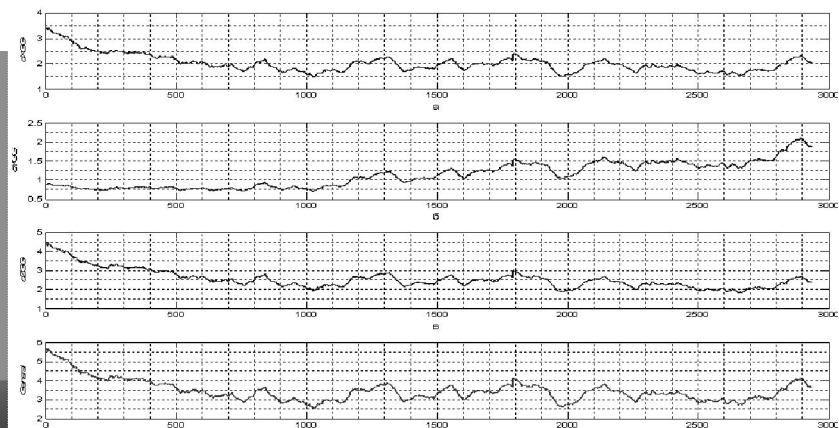
Таблица 2

Параметр	Точность вдоль соответствующей оси			
	ΔX	ΔY	ΔZ	R
Объем выборки	3185	3185	3185	3185
Макс. значение, м	34.01	24.83	54.61	90.08
Мин. значение, м	-10.40	-5.48	-13.46	0.28
Мат. ожидание, м	1.073	1.687	1.541	3.802
Дисперсия, м	4.836	4.627	6.923	14.309
СКО, м	3.292	2.762	3.596	4.828

Конфигурация 3GPS + 3 ГЛОНАСС



а



б

Рис. 3. Сформированная конфигурация 3GPS+3ГЛОНАСС (а) и точность позиционирования (б)

Таблица 3

Параметр	Точность вдоль соответствующей оси			
	ΔX	ΔY	ΔZ	R
Объем выборки	2934	2934	2934	2934
Макс. значение, м	3.422	2.110	4.422	5.664
Мин. значение, м	1.478	0.704	1.834	2.527
Мат. ожидание, м	2.017	1.134	2.542	3.460
Дисперсия, м	0.120	0.108	0.227	0.298
СКО, м	0.347	0.329	0.477	0.546

Конфігурація 4GPS + 2 ГЛОНАСС

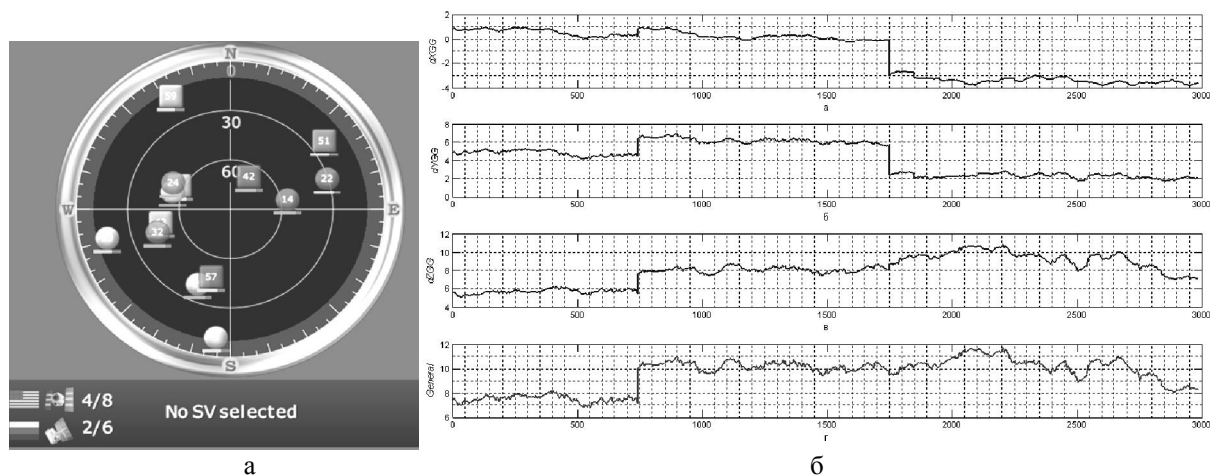


Рис. 4. Сформированная конфигурация 4GPS+2ГЛОНАСС (а) и точность позиционирования (б)

Таблица 4

Параметр	Точность вдоль соответствующей оси			
	ΔX	ΔY	ΔZ	R
Объём выборки	2985	2985	2985	2985
Макс. значение, м	0.969	6.953	10.842	11.694
Мин. значение, м	-3.823	1.767	5.120	6.800
Мат. ожидание, м	-1.170	4.239	7.990	9.507
Дисперсия, м	3.594	2.982	2.367	1.705
СКО, м	1.896	1.727	1.538	1.306

Конфігурація 2GPS + 4 ГЛОНАСС

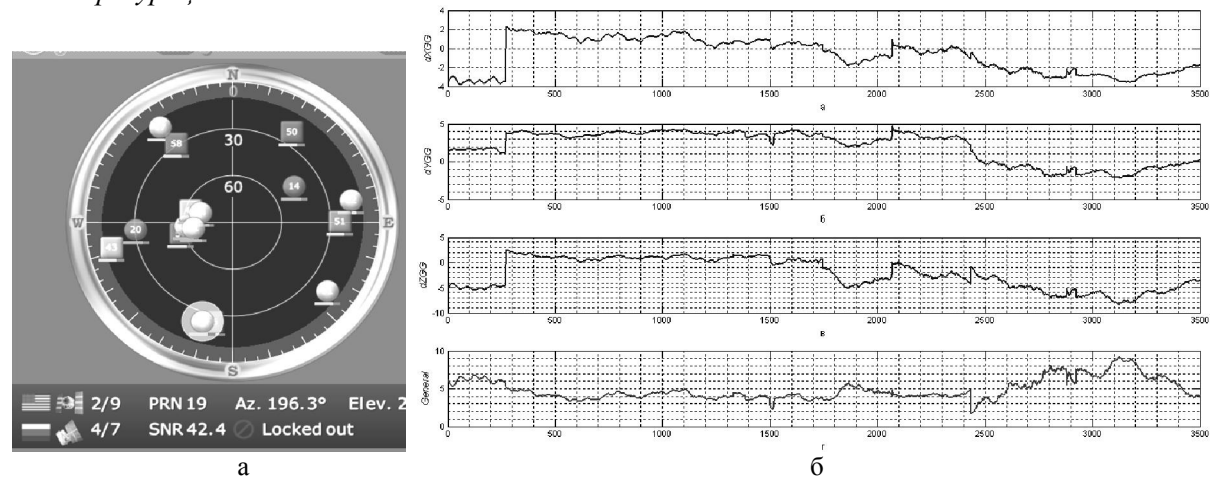


Рис. 5. Сформированная конфигурация 2GPS+4ГЛОНАСС (а) и точность позиционирования (б)

Таблица 5

Параметр	Точность вдоль соответствующей оси			
	ΔX	ΔY	ΔZ	R
Объём выборки	3566	3566	3566	3566
Макс. значение, м	2.308	4.771	2.614	9.264
Мин. значение, м	-3.793	-2.221	-8.287	1.709
Мат. ожидание, м	-0.734	1.973	-2.207	4.899
Дисперсия, м	3.137	4.392	9.099	1.920
СКО, м	1.771	2.096	3.016	1.386

Выводы

Полученные результаты исследования точности позиционирования при работе с минимально возможными конфигурациями спутников объединённого созвездия GPS и ГЛОНАСС подтверждают главное преимущество используемого метода – это возможность предоставления пользователю оценки координат в условиях, когда приёмник, ориентированный на работу только с системой GPS или только системой ГЛОНАСС, перестаёт определять координаты пользователя. Это происходит из-за нехватки источников навигационной информации. В используемом методе необходимыми дополнительными источниками выступают НС другой системы. Точность решения навигационной задачи при таком подходе была исследована на конфигурациях 3 спутника GPS + 2 спутника ГЛОНАСС (рис. 1), 2 GPS+3ГЛОНАСС (рис. 2), 3GPS+3ГЛОНАСС (рис. 3), 4GPS+2ГЛОНАСС (рис. 4) и 2GPS+4ГЛОНАСС (рис.5). Результаты статистической обработки выборок ошибки определения местоположения приёмника относительно известных координат расположения приёмника приведены в табл.1 – 5.

Анализ полученных результатов показывает, что среднее отклонение оценки координат по каждой координатной оси не превышает 8 м. Для среднего значения суммарной пространственной ошибки получен уровень отклонения до 10 м.

Среднее значение СКО составило 1.5 м, что позволяет утверждать о том, что с вероятностью 95% отклонение в определении местоположения не превышало значение 3 м., а в 99% - 3,7 м. Максимальное значение СКО на уровне 4,8 м имело место для конфигурации 2GPS+3ГЛОНАСС (рис. 2). Таким образом, в данных условиях с вероятностью 95% отклонение в определении местоположения не превышало значение 9,5 м., а в 99% - 11,9 м. Дополнительно исследованный коэффициент асимметрии при анализе полученных выборок указал на нормальный закон распределения ошибки с более острой вершиной.

При исследовании конфигурации 2GPS+3ГЛОНАСС (рис. 2) дважды наблюдались непродолжительные резкие скачки ошибки одновременно по всем координатам. Они явились причиной максимального скачка пространственной ошибки в этом эксперименте до уровня 90 м. В остальных случаях наблюдаемые пики ошибок не превышали значение 10 м. В программном обеспечении навигационных приёмников подобные проявления могут быть исключены применением алгоритмов сглаживания выдаваемых координат.

Исследованные результаты получены в условиях работы с крайне ограниченным количеством видимых спутников для интервалов записи порядка 3000 с. Тем не менее, обеспечиваемый программным продуктом уровень точности удовлетворяет требованиям большинства практических применений и не выходит за пределы, установленные разработчиками систем GPS и ГЛОНАСС.

В целом результат исследования точности вычисления позиции при работе с минимально возможными конфигурациями спутников объединённого созвездия GPS и ГЛОНАСС подтверждает правильность используемых алгоритмов совместной обработки и свидетельствует о возможности использования реализующей его программы в условиях значительного ограничения видимости небесной полусферы.

Список литературных источников

1. Руководство по всемирной геодезической системе WGS-84 (Doc. 9674 – AN/946) – ICAO. - 2002. – 149 с.
2. Система геодезических параметров Земли (ПЗ-90): Справочный документ / Под ред. Хвостова. – М.: КНИЦ РФ, 1998. – 37 с.
3. О. С. Погурельский. Дослідження ефективності навігаційних визначень при використанні систем GPS та ГЛОНАСС / О. С. Погурельський, В. В. Конін. // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2009» - Т. 1. – Київ. – 2009. – С. 7.25 - 7.28