

Шабарова Виктория Александровна, студент,

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского, Россия, г. Нижний Новгород

Вьюшкова Юлия Борисовна, студент,

*Университет прикладных наук города Тампере,
Финляндия, г. Тампере*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАВИГАЦИОННЫХ ПРИЁМНИКОВ В РЕЖИМЕ RTK

Аннотация: Целью работы является оценка погрешности высокоточного навигационного оборудования массового распространения. В рамках работы была разработана методика оценки погрешности и проведён эксперимент на комплекте оборудования GPS HEX HERE+ RTK GNSS. В результате исследования был сделан вывод о том, что сильной разницы с использованием высокоточного режима RTK и без RTK нет.

Ключевые слова: GPS, DGPS, RTK, оценка погрешности, дифференциальное позиционирование, кинематика реального времени.

Annotation: The aim of the work was to estimate the error of common high-precision navigation equipment. As a part of the work, an error estimation methodology was developed. The experiment was conducted on a set of GPS HEX HERE + RTK GNSS equipment. As a result, it was concluded that there is no significant difference between measuring the geoposition in the high-precision RTK mode and with RTK turned off.

Keywords: GPS, DGPS, RTK, error analysis, differential positioning, real-time kinematics.

Методы глобального позиционирования прочно заняли место в повседневной жизни: навигационное оборудование сегодня устанавливается в телефоны, навигаторы автомобилей, морских и воздушных судов, в строительную и сельскохозяйственную технику, используется в геодезии и многих других областях научно-технической деятельности человека.

Большая часть навигационной аппаратуры массового распространения характеризуется невысокими точностными характеристиками, например, точность позиционирования автомобильного навигатора не превышает 6 м. Последние несколько лет на рынке стали доступны компактные и достаточно дешевые навигационные чипы высокоточной навигации и навигационные приемники на их основе. Применение такого оборудования позволит кардинально улучшить характеристики автономных транспортных систем, снизить затраты там, где необходимо высокоточное (точность выше 10 см) определение положения движущихся объектов. Основным сдерживающим фактором является отсутствие простых методов оценки погрешности высокоточного навигационного оборудования массового распространения. Разработка, освоение и внедрение доступных методов оценки погрешности высокоточного навигационного оборудования представляется актуальной задачей.

В рамках работы была разработана методика оценки погрешности высокоточного навигационного оборудования массового распространения и отработать данную методику на комплекте GPS HEX Here+ RTK GNSS S [1], установленном на квадрокоптере. Для сравнения необходимо оценить погрешность позиционирования как в высокоточном режиме (RTK), так и в обычном режиме (без RTK).

На точность определения координат существенное влияние оказывают ошибки, возникающие при выполнении процедуры измерений. Природа этих ошибок различна (неточное определение времени, ошибки вычисления орбит, инструментальная ошибка приемника, многопутность распространения сигнала,

ионосферные задержки сигнала, тропосферные задержки сигнала, геометрическое расположение спутников) [2; 3].

Наиболее эффективным средством исключения некоторых ошибок является дифференциальный способ наблюдений – DGPS.

Дифференциальное позиционирование (differential positioning, DGPS, DGLONASS)

Принцип метода заключается в том, что существует базовая станция с точно известными координатами. Так как позиция станции известна, то можно вычислить отклонения от фактического положения [2]. Эти отклонения (дифференциальные поправки) передаются любому количеству подвижных станций в режиме реального времени или постобработки для устранения многих ошибок в своих измерениях. Дифференциальные измерения могут быть гораздо более точными, чем обычные.

Кинематика в реальном времени

Кинематическое позиционирование в режиме реального времени (RTK) используется во многих работах, например в целях построения профилей местности. Является одним из методов DGPS.

Основные этапы при работе в режиме RTK [4]:

- 1) Базовая станция и ровер принимают сигналы от одного и того же созвездия спутников;
- 2) Базовая станция передает свои координаты и спутниковые измерения на ровер;
- 3) Ровер совместно обрабатывает измерения с базовой станции со своими измерениями и вычисляет координаты в режиме реального времени.

Таблица 1. Разница в точности DGPS и RTK [4]

Источники погрешности измерения при определении местоположения приемника по GNSS-системам с применением Differential GPS и Real Time Kinematic (RTK). Причина ошибки	ОШИБКА БЕЗ КОРРЕКЦИИ	ОШИБКА С DGPS	ОШИБКА С RTK
Данные эфимериса	2.1 м	0.1 м	2.5-5.0 см
Часы спутника	2.1 м	0.1 м	2-5 см
Эффекты ионосферы	4.0 м	0.2 м	10-20 см
Эффекты тропосферы	0.7 м	0.2 м	10-20 см
Отражение сигнала	1.4 м	1.4 м	Определяется типом антенны
Влияние приемника	0.5 м	0.5 м	Определяется типом приемника
Общее RMS-значение	5.3 м	1.5 м	Менее 10 см
Общее RMS-значение (фильтрованное)	5.0 м	1.3 м	1-2 см

Как видно из таблицы 1, более точными являются измерения с помощью RTK, так как в них учитывается фаза несущего сигнала.

Для проведения практической работы был использован приемник «HERE+ RTK GNSS» [5].

Чтобы использовать HERE + на беспилотном летательном аппарате, необходимо использовать следующее оборудование: компьютер, телеметрические модули, here + ровер модуль, here + базовая антенна, here + база, штатив (подставка) [5].

Для проведения испытаний необходимо использовать ноутбук с операционной системой Ubuntu. Она основана на Debian GNU/Linux. Для того чтобы взаимодействовать с квадрокоптером, необходимо установить на ноутбук QGroundControl. Он обеспечивает полный контроль полета и конфигурации для Pixhawk4 [6].

Был проведен следующий эксперимент:

- на плоской крыше здания нарисован равнобедренный треугольник со сторонами 2 x 1 м (см. рисунок 1)



Рисунок 1. Трасса перемещения ровера с навигационным приёмником

- эксперимент проводился несколько дней. В каждом измерении ровер находился в одной из вершин треугольника;

Погода на время проведения экспериментов:

- 4 июня 2020 года – Солнце;
- 5 июня 2020 года – пасмурно, облака, дождь;
- 8 июня 2020 года - Солнце;
- 9 июня 2020 года – Солнце.

Поочерёдно проведены измерения в RTK-режиме и без RTK. В каждой вершине и в каждом режиме ровер находился 20-30 минут.

Лог-файлы всех измерений были получены и проанализированы с помощью программы FlightPlot:

А) для каждого измерения определены координаты вершин треугольника;

Б) после чего пересчитаны координаты вершин в прямоугольную систему координат (x, y, z);

Погрешность преобразования координат из градусов в метры 0,1 м.

В) для каждой вершины треугольника рассчитаны среднее координат в прямоугольной системе координат, СКО и максимальное отклонение от среднего:

- для серии;

- для всех серий.

Средняя квадратическая погрешность является удобным показателем точности измерений навигационных элементов, так как устойчива при изменении количества измерений и чувствительна к большим отклонениям, т. е. учитывает их.

Рассмотрим положение 1 точки в режиме RTK и без RTK в каждый день проведения эксперимента и по всем сериям. (Таблица 2 и Таблица 3).

Таблица 2. Первая точка в режиме без RTK

1 точка без RTK				
		Среднее координат (м)	СКО (м)	Максимальное отклонение от среднего (м)
4 июня	X	2552580.930	0.30488114	1.229
	Y	2463376.670	0.54169374	1.278
	Z	5283123.891	0.6328953	1.985
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
5 июня	X	2552575.535	0.63862927	1.219
	Y	2463370.611	0.33853943	0.821
	Z	5283114.557	1.12976450	2.279
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
8 июня	X	2552578.095	0.50582724	1.010
	Y	2463372.748	0.18046152	0.464
	Z	5283118.459	0.27777294	0.694
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
9 июня	X	2552579.444	0.29256237	0.668
	Y	2463374.147	0.51374518	1.035
	Z	5283120.890	0.28269349	0.847
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
По всем сериям	X	2552578.501	0.435	1.229
	Y	2463373.544	0.394	1.278
	Z	5283119.449	0.581	2.279

Таблица 3. Первая точка RTK

1 точка RTK				
		Среднее координат (м)	СКО (м)	Максимальное отклонение от среднего (м)
4 июня	X	2552578.283	0.368325812	0.915
	Y	2463366.152	0.337803933	1.720
	Z	5283108.485	0.695541488	1.626
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
8 июня	X	2552579.149	0.734486115	1.635
	Y	2463367.613	0.501168299	1.195
	Z	5283111.387	0.876644291	1.748
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
9 июня	X	2552583.026	0.591181171	0.915
	Y	2463371.213	0.484184968	1.720
	Z	5283118.749	0.945027473	1.626
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
По всем сериям	X	2552580.153	0.565	1.635
	Y	2463368.326	0.441	1.720
	Z	5283112.874	0.839	1.748

Рассмотрим положение 2 точки в режиме RTK и без RTK в каждый день проведения эксперимента и по всем сериям. (Таблица 4 и Таблица 5).

Таблица 4. Вторая точка без RTK

2 точка без RTK				
		Среднее координат (м)	СКО (м)	Максимальное отклонение от среднего (м)
4 июня	X	2552582.241	0.3672814	0.996
	Y	2463373.957	0.4126333	1.060
	Z	5283121.828	0.9373801	2.221
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
5 июня	X	2552579.186	0.3421954	0.774
	Y	2463369.953	0.2444113	0.674
	Z	5283115.200	0.1738751	0.531

		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
8 июня	X	2552580.709	0.2954512	0.803
	Y	2463372.025	0.2660227	0.809
	Z	2552580.709	0.3137967	0.898
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
9 июня	X	2552581.997	0.2090556	0.580
	Y	2463373.630	0.2327259	0.834
	Z	5283120.680	0.2563162	0.723
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
По всем сериям	X	2552581.033	0.303	0.996
	Y	2463372.391	0.289	1.060
	Z	4600484.604	0.420	2.221

Таблица 5. Вторая точка RTK

2 точка RTK				
		Среднее координат (м)	СКО (м)	Максимальное отклонение от среднего (м)
4 июня	X	2552583.482	0.313726211	1.763
	Y	2463367.959	0.288088039	1.511
	Z	5283115.217	0.276341759	1.030
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
8 июня	X	2552584.133	0.372936878	1.749
	Y	2463368.795	0.496053866	1.594
	Z	5283117.337	0.375940594	1.179
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
9 июня	X	2552585.648	0.172104056	1.763
	Y	2463370.033	0.320687289	1.511
	Z	5283119.942	0.26542711	1.030
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
По всем сериям	X	2552584.421	0.286	1.763
	Y	2463368.929	0.368	1.594
	Z	5283117.498	0.306	1.179

Рассмотрим положение 3 точки в режиме RTK и без RTK в каждый день проведения эксперимента и по всем сериям. (Таблица 6 и Таблица 7).

Таблица 6. Третья точка без RTK

3 точка без RTK				
		Среднее координат (м)	СКО (м)	Максимальное отклонение от среднего (м)
4 июня	X	2552581.678	0.405197143	1.075
	Y	2463375.385	0.393022712	1.100
	Z	5283120.869	0.683219049	2.164
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
8 июня	X	2552580.554	0.297791827	0.745
	Y	2463374.735	0.370431322	0.841
	Z	5283117.892	0.219633762	0.530
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
9 июня	X	2552579.147	0.234738447	0.993
	Y	2463374.257	0.465437433	1.181
	Z	5283118.357	0.712344949	1.749
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
По всем сериям	X	2552580.459	0.313	1.075
	Y	2463374.792	0.410	1.181
	Z	5283119.039	0.538	2.164

Таблица 7. Третья точка RTK

3 точка RTK				
		Среднее координат (м)	СКО (м)	Максимальное отклонение от среднего (м)
4 июня	X	2552582.338	0.200370596	1.040
	Y	2463370.003	0.252272265	0.652
	Z	5283117.492	0.261007558	0.822
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
8 июня	X	2552583.465	0.268671926	0.629
	Y	2463370.902	0.323491175	0.946
	Z	5283117.492	0.437740704	1.150
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
9 июня	X	2552582.357	0.156731986	0.601
	Y	2463369.322	0.282406286	1.132
	Z	5283115.657	0.494427195	1.588
		Среднее координат	СКО	Максимальное отклонение от среднего
По всем сериям	X	2552582.720	0.209	1.040
	Y	2463370.076	0.286	1.132

	Z	5283116.880	0.398	1.588
--	---	-------------	-------	-------

Таблица 8. Сравнение СКО всех серий в режимах без RTK и RTK

1 точка		
	без RTK (м)	RTK (м)
X	0.435	0.565
Y	0.394	0.441
Z	0.581	0.839

2 точка		
	без RTK (м)	RTK (м)
X	0.303	0.286
Y	0.289	0.368
Z	0.420	0.306

3 точка		
	без RTK (м)	RTK (м)
X	0.313	0.209
Y	0.410	0.286
Z	0.538	0.398

По полученным координатам были рассчитаны средние координаты, СКО и максимальное отклонение от среднего. Для рассчитанных значений был построен график, представленных на рисунке 2. Верхний треугольник в режиме без RTK, нижний режим с RTK.

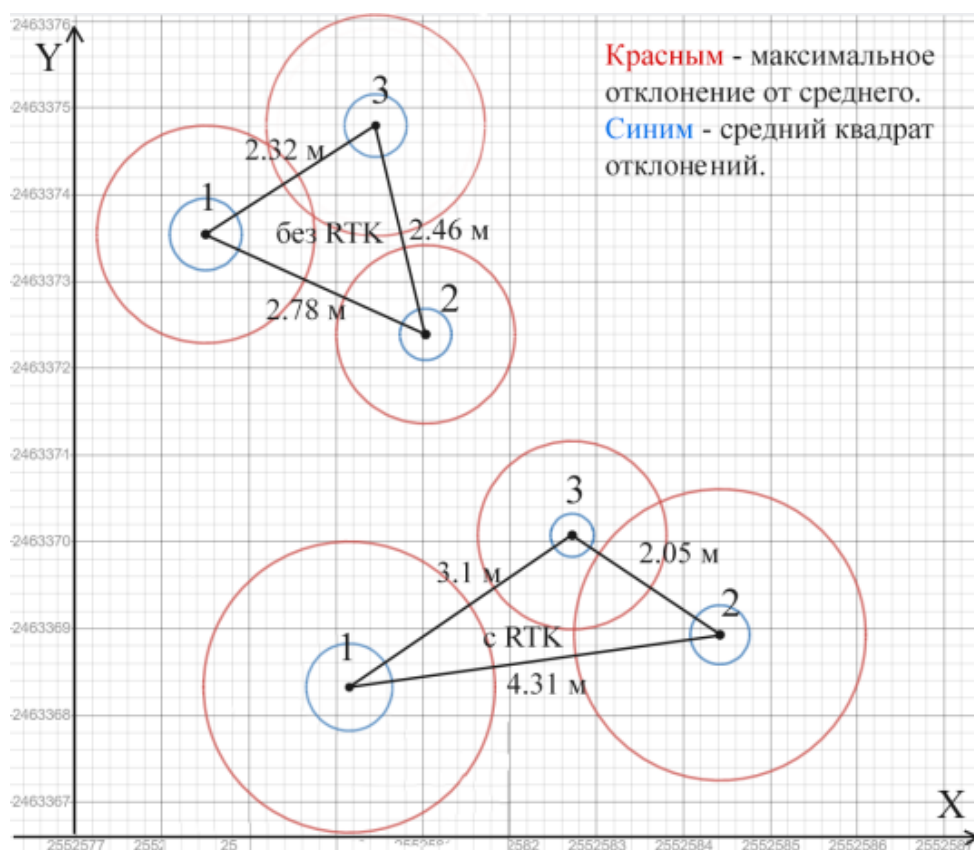


Рисунок 2. График практически полученных треугольников

Вывод.

В ходе проведения экспериментов была оценена погрешность позиционирования как в высокоточном режиме (RTK), так и в обычном режиме (без RTK).

Из результатов экспериментов следует, что существенной разницы в точности позиционирования в обоих режимах - нет. Было установлено:

- на точность позиционирования существенным образом влияет уровень осадков и облачность;

- в разных режимах позиционирования наблюдаются искажения геометрической фигуры, образуемой точками, в которых проводились измерения, искажения сторон фигуры и ее смещение, определяемое калибровкой места расположения базовой станции RTK.

Предложенная методика может быть применена для оценки погрешности другого высокоточного навигационного оборудования.

Библиографический список:

1. Chapter 5 - Resolving Errors » Real-Time Kinematic (RTK) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapt..> (Дата обращения 10.06.2020г).
2. GPS and GNSS for Geospatial Professionals [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1828> (Дата обращения 10.06.2020г).
3. Шебшаевич В.С., Григорьев М.Н., Кокина Э.Г., Мищенко И.Н., Шишман Ю.Д. Дифференциальный режим сетевой спутниковой радионавигационной системы // Зарубежная радиоэлектроника. 1989. 1. С. 5√32.
4. GNNS Solution HEX, Taiwan [Электронный ресурс]. – URL: <https://psv4.userapi.com/c848120/u62004637/docs/d12/0..> (Дата обращения 10.06.2020г).
5. Here+ RTK GPS [Электронный ресурс]. – URL: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-here-plus-gr..> (Дата обращения 10.06.2020г).
6. The open standards for drone hardware [Электронный ресурс]. – URL: <https://pixhawk.org/> (Дата обращения 10.06.2020г).