

УДК 528:621.395.721.5

DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-6-28-34

## Исследование возможности высокоточного позиционирования с использованием смартфонов нового поколения

С. В. Долин<sup>1\*</sup>, А. В. Мареев<sup>1</sup>, Л. М. Мухоманова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: Sergeydolin@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования смартфона, оснащенного 2-частотной фазовой микросхемой. Выполнена оценка точности позиционирования смартфона Xiaomi Mi 8 с навигационным модулем BCM47755. Наличие двухчастотного модуля позволяет выполнять позиционирование методом Real Time Kinematic и Precise Point Positioning в ионосферно-свободной линейной комбинации фаз. Приведены результаты выполненных измерений относительным методом и методом PPP в статическом и кинематическом режимах. Измерения выполнялись по навигационным спутниковым системам GPS, Galileo и QZSS. Обработка измерений выполнялась в программном обеспечении RTKLIB и онлайн-сервисе CSRS-PPP. В результате эксперимента установлено, что смартфоны с 2-частотными навигационными модулями пригодны к выполнению высокоточных спутниковых определений. Среднеквадратическая погрешность определения координат (СКП) составила для относительного метода 0,01–0,02 м, а для метода PPP 0,3–0,5 м в статическом режиме. В перспективе смартфоны с модулями для высокоточного ГНСС-позиционирования смогут использоваться для решения геодезических производственных задач, стать частью новых сетевых методов ГНСС-позиционирования и систем геодезического мониторинга.

**Ключевые слова:** PPP, глобальные навигационные спутниковые системы, позиционирование смартфона, относительный метод, геодезический мониторинг, структурный мониторинг, коллаборативное позиционирование, CPP

### Введение

Профессиональное ГНСС-оборудование отличается высокой стоимостью. Такие устройства позволяют отслеживать фазы сигналов ГНСС на нескольких частотах. Это в свою очередь позволяет реализовывать высокоточные сетевые методы ГНСС, такие как Real-Time Kinematic (RTK) и Precise Point Positioning (PPP). Цена полностью готовых к работе профессиональных приемников начинается от 3 000 \$. Рынок геодезического оборудования насыщен малобюджетными ГНСС-модулями, цена которых начинается от 70 \$, при этом для неквалифицированного пользователя нет доступных и готовых к высокоточному позиционированию. Потенциальным кандидатом на эту роль может стать смартфон, оснащенный микросхемой с фазовым двухчастотным приемником. Такое устройство появилось в 2018 г. Одним из первых смартфонов с возможностью отслежива-

ния фаз навигационных сигналов ГНСС является Xiaomi Mi 8 с чипом BCM47755 [1].

Возможность высокоточного позиционирования при помощи смартфона в ближайшей перспективе позволит снизить затраты на оборудование профессиональных геодезистов. Исчезнет потребность в приобретении дополнительных устройств, таких как антенна, контроллер или модем. Смартфоны снабжены современными модулями связи и интерфейсами, необходимыми для реализации высокоточных сетевых методов ГНСС.

Доступность высокоточных методов позиционирования в перспективе откроет дорогу для развития принципиально новых пользовательских приложений, а также изменит сферу услуг, связанную с геодезией. Множество производственных задач, выполнение которых требует привлечения профессионального геодезиста с дорогостоящим оборудованием, смогут решаться неквалифициро-

ванными пользователями при помощи обычного смартфона.

Одним из новых применений для смартфона может стать геодезический мониторинг стабильности положения объектов природной среды и инженерных сооружений. Недорогие смартфоны, позволяющие определять собственное местоположение с сантиметровой точностью, могут использоваться в качестве ГНСС-датчиков или устройств эпизодического мониторинга. Это в свою очередь может дополнять системы геодезического мониторинга и повышать их наблюдаемость.

Цель исследования заключается в определении пригодности смартфонов с двухчастотной фазовой микросхемой к высокоточному позиционированию на основе ГНСС-методов PPP и RTK и оценки их применимости для выполнения геодезических работ.

### ГНСС-чипы для смартфонов

В 2018 г. компанией Broadcom выпущена микросхема BCM47755 для смартфонов, планшетов и других портативных устройств [2]. Микросхемы этого поколения дополнительно используют данные с акселерометров и магнитометров для улучшения качества позиционирования по ГНСС. BCM47755 принимает сигналы на двух частотах L1 и L5. Чип одновременно принимает следующие сигналы: GPS L1 C/A, L5; ГЛОНАСС R1; BeiDou B1; Galileo E1, E5a; QZSS L1, L5.

По состоянию на 2023 г. BCM47755 утратил свою актуальность и более не выпускается. Компания Broadcom не рекомендует его к использованию. Актуальной версией ГНСС-чипа является BCM47765 [3]. Существует еще одна версия ГНСС-чипа от Broadcom – BCM4778 (третье поколение). В нем реализована усовершенствованная технология подавления многопутности. Энергоэффективность чипа увеличена в 5 раз по сравнению с предыдущими поколениями [4]. После выпуска BCM47755 другие производители микроэлектроники также представили двухчастотные микросхемы для смартфонов. Например, компания Qualcomm разработала модуль со встроенным ГНСС-приемником Snapdragon X35 5G Modem-RF System [5].

### Методика исследования

Оценка пригодности смартфонов с 2-частотными микросхемами к высокоточным спутниковым определениям выполнялась путем сравнения с эталонным геодезическим приемником. В ходе исследования сравнивались оценки координат, полученные по ГНСС-наблюдениям со смартфона с оценками координат при помощи эталонного приемника.

Средняя квадратическая погрешность позиционирования смартфона рассчитывалась по формулам:

$$RMS_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{i_{ref}} - E_{i_{obs}})^2}{n}}; \quad (1)$$

$$RMS_N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_{i_{ref}} - N_{i_{obs}})^2}{n}}; \quad (2)$$

$$RMS_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{i_{ref}} - U_{i_{obs}})^2}{n}}; \quad (3)$$

где  $E_{i_{ref}}$ ,  $N_{i_{ref}}$ ,  $U_{i_{ref}}$  – эталонные координаты на эпоху наблюдений  $i$ ;  $E_{i_{obs}}$ ,  $N_{i_{obs}}$ ,  $U_{i_{obs}}$  – оценки координат смартфона на эпоху наблюдений  $i$ ;  $n$  – количество измерений.

В качестве исследуемого смартфона использовался Xiaomi Mi 8 с чипом BCM47755. В качестве эталона использовался профессиональный геодезический приемник Stonex S800A. Исследуемое устройство устанавливалось на геодезический пункт NSKE, расположенный на крыше лабораторного корпуса Сибирского государственного университета геодезии и технологий (СГУГиТ). Эталонные координаты пункта NSKE определены по результатам суточных измерений приемником Stonex S800A. Обработка измерений эталонного приемника выполнялась в сервисе CSRS-PPP [6].

Для реализации относительного метода в качестве базовой станции выбран пункт

фундаментальной астрономо-геодезической сети NSK1 [7]. Расстояние между пунктами NSK1 и NSKE составляет 8,5 км.

На базовой станции установлена антенна JAV\_RINGANT\_G3T JAVC. Высота антенны 0,147 м. ГНСС-приемник базовой станции JAVAD E\_GGD ODYSSEY с внутренним стандартом частоты. Экспериментальная установка представляла собой корпус от антенны типа choke-ring, внутри которого закреплялся исследуемый смартфон, с внешним источником питания для увеличения продолжительности сеанса наблюдений. Вид экспериментальной установки изображен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид экспериментальной установки

Сеанс записи измерений с исследуемого смартфона выполнялся в течение 20 часов. Обработка измерений выполнена в статическом и кинематическом режимах для относительного метода и метода PPP. ГНСС-измерения со смартфона записаны при помощи программы Geo++ RINEX Logger [8]. Обработка относительным методом производилась в программном обеспечении (ПО) RTKLIB [9, 10] с маской

возвышения  $10^\circ$ . Обработка измерений методом PPP выполнена в онлайн-сервисе CSRS-PPP. Параметры фазового центра антенны приемника в смартфоне и схема его расположения взяты из работ [11] и [12]. Фазовый центр антенны смартфона редуцирован на центр пункта NSKE. Схема расположения фазового центра антенны относительно корпуса смартфона представлена на рис. 2.

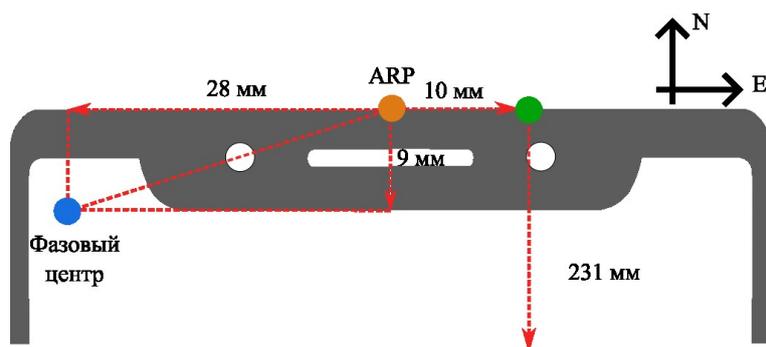


Рис. 2. Схема расположения фазового центра (с редукицией на пункт наблюдения); ARP – точка относимости антенны (Antenna Reference Point)

**Результаты эксперимента**

Результаты оценки СКП позиционирования исследуемого смартфона представлены в табл. 1 и 2. Для относительного метода обработка выполнялась в режиме разрешения

неоднозначностей. Значения СКП позиционирования исследуемого смартфона определены в топоцентрической системе E (East), N (North), U (Up).

В табл. 3 представлены средние значения разностей координат.

Таблица 1

СКП относительного метода

Статический режим			Кинематический режим		
Разрешение неоднозначности 18,6 %			Разрешение неоднозначности 3,9 %		
E, м	N, м	U, м	E, м	N, м	U, м
0,010	0,023	0,011	0,271	0,158	0,300

Таблица 2

СКП метода PPP

Статический режим			Кинематический режим		
E, м	N, м	U, м	E, м	N, м	U, м
0,288	0,403	0,527	0,692	0,833	0,915

Таблица 3

Средние значение разностей координат за весь период наблюдений

	Статический режим		Кинематический режим	
	Относительный метод	PPP	Относительный метод	PPP
E, м	0,010	0,247	0,152	0,428
N, м	-0,022	-0,390	-0,103	-0,290
U, м	-0,005	0,496	0,256	0,800

СКП позиционирования исследуемого смартфона в кинематическом режиме укладывается в интервал 50 см (3D СКП) для относительного метода. Это позволяет сделать вывод о пригодности смартфона к точной навигации в режиме реального времени. Пространственная СКП позиционирования в статическом режиме относительного метода составила 2,7 см. В работе [12] исследователи добились схожего результата при позиционировании методом RTK, получив после времени сходимости для плавающего решения значения СКП E: 0,035 м, N: 0,02 м, U: 0,043 м; для пространственного СКП 4,3 см соответственно. В работе [13] исследователям при позиционировании методом PPP удалось выполнить разрешение неоднозначности на частотах L1 и L5 и получить пространственную СКП, равную 9 см. Из этого следует, что смартфоны уже пригодны к выполнению некоторых видов геодезических определений. Например, такая точность достаточна для определения плановых координат съемочного обоснования для топографических съемок. Такой точности достаточно для определения границ участков в целях кадастрового учета.

Низкий процент разрешения неоднозначности для относительного метода и отсутствие разрешения неоднозначности в методе PPP напрямую связаны с отсутствием фазированной антенны в смартфоне вместе с сильным влиянием эффекта многопутности.

Для метода PPP полученные значения СКП как в статическом, так и в кинематическом режимах не пригодны для выполнения каких-либо геодезических работ, за исключением рекогносцировки и исследования пунктов. Но важно отметить тот факт, что наличие в смартфоне чипа, способного обрабатывать двухчастотные фазовые измерения, значительно повышает точность позиционирования пользователя в сравнении с другими смартфонами, в которых устанавливается одностотный кодовый ГНСС-модуль.

*Исследование выполнено при поддержке госбюджетной НИР «Автоматический геодезический мониторинг природной среды и инженерных сооружений средствами малобюджетных высокоточных датчиков вертикальных перемещений в условиях Крайнего Севера» (FEFS-2023-0003).*

## Заключение

Смартфоны, оснащенные микросхемами с поддержкой двухчастотных фазовых ГНСС-измерений, могут занять центральное место в сетевых системах позиционирования нового поколения, например, в перспективной системе коллаборативного высокоточного ГНСС-позиционирования [14]. В этой системе смартфоны или иные устройства с поддержкой двухчастотных фазовых ГНСС-измерений будут основными источниками корректирующей информации. Их применение позволит обеспечивать широкое покрытие территорий навигационным полем и сделает высокоточное определение местоположения доступнее широкому пользователю.

К сожалению, существующая инфраструктура для высокоточного ГНСС-позиционирования не позволяет реализовать аппаратные возможности современных смартфонов. Аппаратная часть смартфонов способна обеспечивать точность позиционирования до десяти сантиметров в режиме реального времени на основе только ГНСС-измерений. Таким образом, существует потребность в развитии новых методов, алгоритмов и программ для спутникового позиционирования.

Точность определения координат исследуемым смартфоном недостаточна для выполнения геодезического мониторинга. Для мониторинга требуются устройства, обеспечивающие погрешность в пространственных координатах меньше сантиметра, однако оценка СКП позиционирования смартфоном ненамного меньше требуемой. Достижение сантиметрового уровня точности позиционирования смартфоном представляется возможным в ближайшем будущем для устройств с микросхемами нового поколения и с применением дополнительных программных и аппаратных средств подавления многопутности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Как работает двухчастотный GPS в Xiaomi Mi 8 [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://ru.gadget-info.com/90093-how-xiaomi-mi-8s-dual-frequency-gps-works> (дата обращения: 16.04.2023).
2. BCM47755 : official site Broadcom [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.broadcom.com/products/wireless/gnss-gps-socs/bcm47755> (accessed: 02.05.2023).
3. BCM47765 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.everythingrf.com/products/gnss-soc/broadcom/817-950-bcm47765> (accessed: 02.05.2023).
4. BCM4778 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://docs.broadcom.com/doc/4778-PB1> (accessed: 02.05.2023).
5. Snapdragon X35 5G Modem-RF System [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.qualcomm.com/products/technology/modems/snapdragon-x35-5g-modem-rf-system> (accessed: 16.09.2023).
6. CSRS-PPP [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.canada.ca/en.html> (accessed 25.04.2023).
7. Пункт ФАГС NSK1 : официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rgs-centre.ru/fags-profile/NSK1> (дата обращения: 02.05.2023).
8. Geo++ Rinex Logger : Precise Satellite Positioning [Electronic resource]. – Germany, 2020. – Mode of access: <https://apkpure.com/geo-rinex-logger/de.geopp.rinexlogger> (accessed: 25.04.2023).
9. Dolin S. V. Application of Differential Code Biases in Multi-GNSS Measurements in Real-Time Precise Point Positioning // Gyroscopy and Navigation. – 2023. – Vol. 13 (4). – P. 276–282. – DOI 10.1134/S2075108722040034.
10. RTKLib : An Open Source Program Package for GNSS Positioning Electronic program / Developer T. Takasu. – Japan, 2013.
11. Netthonglang C., Thongtan T., Satirapod C. GNSS Precise Positioning Determinations Using Smartphones // 2019 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS). – 2019. – DOI:10.1109/APCCAS47518.2019.8953132.
12. Zeng, S., Kuang C., Yu W. Evaluation of Real-Time Kinematic Positioning and Deformation Monitoring Using Xiaomi Mi 8 Smartphone // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12(1). – P. 435. – DOI 10.3390/app12010435.
13. Aggrey J. Bisnath S., Naciri N., Shinghal G., Yang S. Multi-GNSS precise point positioning with next-generation smartphone measurements // Journal of Spatial Science. – 2019. – Vol. 65 (1). – P. 1–20. – DOI 10.1080/14498596.2019.1664944.
14. Долин С. В. Глобальный PPP-RTK. Система коллаборативного высокоточного позиционирования [Электронный ресурс] : Вебинар [видео] // YouTube. – 2023. – Режим доступа: <https://youtu.be/EPpIUW0bLBY?si=rhfEufUhSfwo7Lrd>.

Об авторах

*Сергей Владимирович Долин* – ассистент кафедры космической и физической геодезии.

*Артем Владимирович Мареев* – кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии.

*Лариса Максимовна Михаханова* – студент.

Получено 02.10.2023

© С. В. Долин, А. В. Мареев, Л. М. Михаханова, 2023

**Research of the possibility of high-precision positioning  
with new generation smartphones**

*S. V. Dolin<sup>1</sup>\*, A. V. Mareev<sup>1</sup>, L. M. Mikhakhanova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: [Sergeydolin@mail.ru](mailto:Sergeydolin@mail.ru)

**Abstract.** The paper presents the results of a research of a smartphone equipped with a dual-frequency phase-chip. The positioning accuracy of the Xiaomi Mi 8 smartphone with the BCM47755 navigation module was assessed. The presence of a dual-frequency module allows positioning using the Real Time Kinematic (RTK) and Precise Point Positioning (PPP) methods in an ionospheric-free linear combination of phases. The results of measurements performed using the relative and PPP methods in static and kinematic modes are presented.

The measurements were carried out using GPS, Galileo and QZSS navigation satellite systems. Measurement processing was performed in RTKLIB software and the CSRS-PPP online service. As a result of the experiment, it was established that smartphones with dual-frequency navigation modules are suitable for performing high-precision satellite determinations. The RMS for determining coordinates was 0.01–0.02 meters for the relative method, and 0.3–0.5 meters for the PPP method in static mode. In the future smartphones with modules for high-precision GNSS positioning will be able to be used to solve geodetic production problems and become a part of new network methods of GNSS positioning and geodetic monitoring systems.

**Keywords:** PPP, global navigation satellite systems, smartphone positioning, relative method, geodetic monitoring, structural monitoring, collaborative positioning, CPP

## REFERENCES

1. How dual-frequency GPS works in Xiaomi Mi 8. (2019). Retrieved from <https://ru.gadget-info.com/90093-how-xiaomi-mi-8s-dual-frequency-gps-works> (accessed April 16, 2023) [in Russian].
2. BCM47755. (n. d.). Retrieved from <https://www.broadcom.com/products/wireless/gnss-gps-socs/bcm47755> (accessed May 02, 2023).
3. BCM47765. (n. d.). retrieved from <https://www.everythingrf.com/products/gnss-soc/broadcom/817-950-bcm47765> (accessed May 02, 2023).
4. BCM4778. (n. d.). Retrieved from <https://docs.broadcom.com/doc/4778-PB1> (accessed May 02, 2023).
5. Snapdragon X35 5G Modem-RF System. (n. d.). Retrieved from <https://www.qualcomm.com/products/technology/modems/snapdragon-x35-5g-modem-rf-system> (accessed September 16, 2023).
6. CSRS-PPP. (n. d.). Retrieved from <https://www.canada.ca/en.html> (accessed April 25, 2023).
7. Items of basic astronomical and geodetic network (BAGN) NSK1. (n. d.). Retrieved from <https://rgs-centre.ru/fags-profile/NSK1> (accessed May 02, 2023) [in Russian].
8. Geo++ Rinex Logger: Precise Satellite Positioning. (2020). Germany. Retrieved from <https://apkpure.com/geo-rinex-logger/de.geopp.rinexlogger> (accessed April 25, 2023).
9. Dolin, S. V. (2023). Application of Differential Code Biases in Multi-GNSS Measurements in Real-Time Precise Point Positioning. *Gyroscope and Navigation*, 13(4), 276–282. DOI 10.1134/S2075108722040034.
10. Takasu, T. (Developer). (2013). RTKLib: An Open Source Program Package for GNSS Positioning Electronic program. Japan.
11. Netthonglang, C., Thongtan, T., & Satirapod, C. (2019). GNSS Precise Positioning Determinations Using Smartphones. *2019 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)*. DOI:10.1109/APCCAS47518.2019.8953132.
12. Zeng, S., Kuang, C., & Yu, W. (2022). Evaluation of Real-Time Kinematic Positioning and Deformation Monitoring Using Xiaomi Mi 8 Smartphone. *Applied Sciences*, 12(1), P. 435. DOI 10.3390/app12010435.
13. Aggrey, J. Bisnath, S., Naciri, N., Shinghal, G., & Yang, S. (2019). Multi-GNSS precise point positioning with next-generation smartphone measurements. *Journal of Spatial Science*, 65(1), 1–20. DOI 10.1080/14498596.2019.1664944.
14. Dolin, S. V. (2023). Global PPP-RTK. Collaborative high-precision positioning system (video). *YouTube*. Retrieved from <https://youtu.be/EPpIUW0bLBY?si=rhfEufUhfwo7Lrd> [in Russian].

## Author details

*Sergei V. Dolin* – Assistant, Department of Space and Physical Geodesy.

*Artem V. Mareev* – Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy.

*Larisa M. Mikhakhanova* – Student.

Received 02.10.2023

© S. V. Dolin, A. V. Mareev, L. M. Mikhakhanova, 2023