

В. С. Бессонов¹, Н. С. Чухлеб¹, С. В. Долин¹✉

Исследование подавления многолучевости на смартфонах нового поколения с компактным устройством типа чок-ринг

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: lentavs2@gmail.com

Аннотация. В работе исследуется эффективность компактного устройства типа чок-ринг, разработанного для подавления многолучевости при высокоточном ГНСС-позиционировании с использованием смартфонов нового поколения. Актуальность обусловлена ростом возможностей мобильных устройств в области ГНСС-измерений. Однако их точность ограничена нестабильностью фазового центра антенны и сильным влиянием ошибок многолучевости, особенно в городской среде. Устройство, изготовленное методом 3D-печати и покрытое токопроводящим покрытием, адаптировано под особенности использования чок-ринг антенн совместно со смартфонами. Экспериментальные измерения выполнены на геодезическом пункте NSKE с использованием смартфона Huawei P40 Pro. Обработка данных проведена в программных пакетах JAVAD Justin, G-Nut/Anubis и RTKLIB. Результаты показали, что применение чок-ринг антенны сокращает время достижения субдециметровой точности с 20-30 до 7-14 минут, снижает среднеквадратическую ошибку позиционирования и увеличивает долю фиксированных решений с 17,96 % до 36,08 %. Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования компактных устройств типа чок-ринг для повышения качества ГНСС-сигналов, принимаемых смартфонами.

Ключевые слова: навигация, ГНСС, позиционирование, чок-ринг, смартфоны нового поколения, многолучевость

V. S. Bessonov¹, N. S. Chukhleb¹, S. V. Dolin¹✉

A study on multipath suppression on a new generation of smartphones with a compact choke ring device

¹Siberian state university of geosystems and technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: lentavs2@gmail.com

Abstract: This study investigates the effectiveness of a compact choke ring device designed to suppress multipath errors in high-precision GNSS positioning using new-generation smartphones. The relevance of this research stems from the growing capabilities of mobile devices in GNSS measurements. However, their accuracy is limited by the instability of the antenna phase center and significant multipath errors, particularly in urban environments. The device, fabricated via 3D printing and coated with a conductive layer, is specifically adapted for integration with smartphones in choke ring antenna applications. Experimental measurements were carried out at the NSKE geodetic site using a Huawei P40 Pro smartphone. Data processing was performed using the JAVAD Justin, G-Nut/Anubis, and RTKLIB software packages. Results demonstrate that the use of the choke ring antenna reduces the time required to achieve sub-decimeter positioning accuracy from 20-30 minutes to 7-14 minutes, decreases the root-mean-square positioning error, and increases the percentage of fixed solutions from 17.96% to 36.08%. The findings indicate that compact choke ring devices are promising for enhancing the quality of GNSS signals received by smartphones.

Keywords: navigation, GNSS, positioning, choke ring, new generation smartphones, multipath

Введение

Активное развитие мобильных устройств, способных принимать и обрабатывать кодовые и фазовые сигналы глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), открывает возможности для высокоточного позиционирования в геодезии. Первым смартфоном, способным принимать кодовые и фазовые сигналы на двух частотах, является смартфон Xiaomi Mi8, оснащенный микросхемой Broadcom BCM47755. Стала возможна реализация высокоточных ГНСС-методов: Precise Point Positioning (PPP) и относительный метод.

Главным ограничением в реализации высокоточного позиционирования остается проблема неоднозначного положения фазового центра смартфона. Антенные модули смартфонов располагаются вдоль рамки корпуса устройства, что приводит к сильным фазовым искажениям и выражается в ошибки многолучевости [1]. В конструкции смартфона располагаются датчики, являющиеся источниками дополнительного шума. Смартфоны подвержены эффекту многолучевости сильнее геодезических ГНСС-приемников. Особенно сильное влияние ошибка многолучевого распространения оказывает в городской местности.

Для снижения влияния эффекта многолучевости используются антенны типа чок-ринг [2]. Кольца чок-ринг антенны создают высокий импеданс для сигналов, приходящих под низкими углами. Чок-ринг антенны применяются на пунктах ФАГС, PrinNet, EFT-CORS, сети IGS.

Возникает необходимость повышения качества фиксируемых ГНСС-сигналов на смартфонах. Позиционирование с ГНСС-приемниками совместно с чок-ринг антенной позволяет снизить влияние эффекта многолучевости. Использование смартфонов совместно со стандартными чок-ринг антеннами неудобно и малоэффективно из-за отсутствия возможности помещения среднего фазового центра антенн смартфона в плоскость колец чок-ринг антенны. Подобные устройства типа чок-ринг для смартфонов не известны. Необходима разработка компактного устройства подавления многолучевости типа чок-ринг для смартфонов.

Методы и материалы

Для снижения влияния ошибки многолучевости на смартфонах нового поколения была спроектирована и напечатана на 3D принтере компактная чок-ринг антенна (рис. 1). Нанесено токопроводящее покрытие на поверхность колец. Высота колец составляет $\lambda/4$, где λ – длина принимаемой волны. Для защиты от внешних факторов разработан купол для чок-ринг антенны (рис. 2). Подан патент на изобретение «Компактное устройство подавления многолучевости для смартфонов нового поколения» С.В. Долин, В.С. Бессонов, Н.С. Чухлеб.

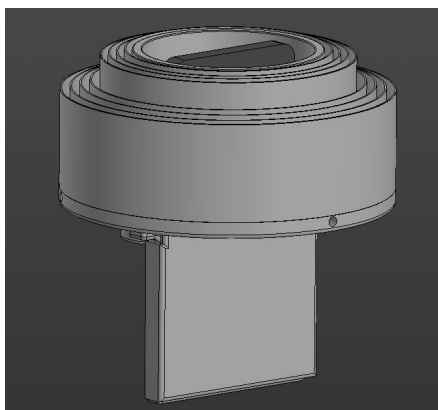


Рис. 1. Компактная чок - ринг антенна



Рис. 2. Компактная чок - ринг антенна с защитным куполом

Измерения проводились на геодезическом пункте NSKE, установленном на крыше лабораторного корпуса Сибирского государственного университета гео-систем и технологий (СГУГиТ), относительным методом, со смартфоном Huawei P40 Pro. Смартфон записывал кодовые и фазовые измерения. Координаты базовых станций NSKN, NSKP, NSVB, NSV2, PDKV определялись обработкой суточных измерений методом PPP, с использованием онлайн-сервиса CSRS-PPP.

Данные для учета смещения фазового центра антенн смартфона Huawei P40 Pro взяты из статьи [3].

Обработка часовых файлов наблюдений выполнялась в программах JAVAD Justin, G-Nut/Anubis и открытой программной библиотеки RTKLIB. Среднеквадратическая ошибка (СКО) вычислялась по формуле Гаусса:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}} \quad (1)$$

где $\Sigma\Delta^2$ – сумма квадратов погрешностей измеренных значений; n – количество измерений.

Результаты

По результатам обработки часовых файлов наблюдений в программе Justin, достижение субдециметровой точности достигается за 20-30 минут на смартфоне Huawei P40 Pro без чок-ринг антенны и за 7-14 минут на смартфоне с использованием чок-ринг антенны (рис. 3-6).

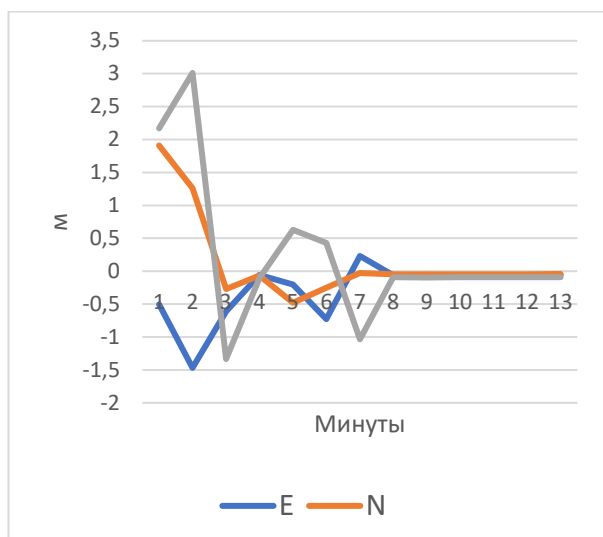


Рис. 3. Отклонения координат относительным методом с базовой станцией NSKP от эталонных координат пункта NSKE

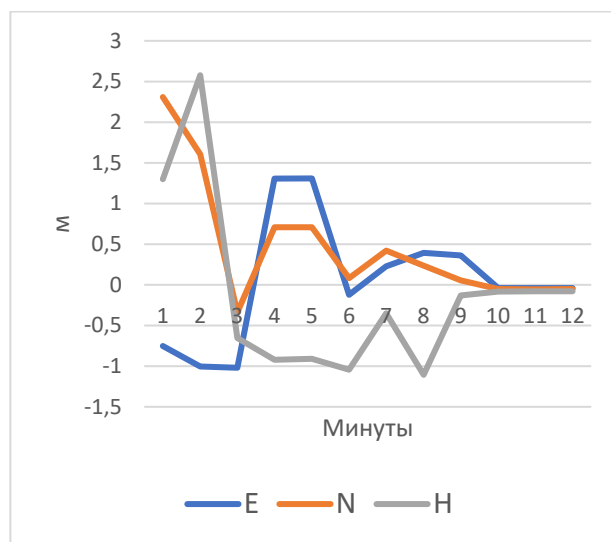


Рис. 4. Отклонения координат относительным методом с базовой станцией NSVB от эталонных координат пункта NSKE

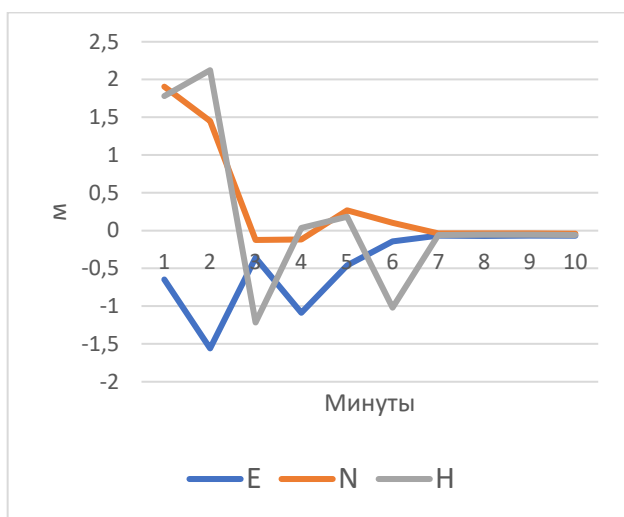


Рис. 5. Отклонения координат относительным методом с базовой станцией NSV2 от эталонных координат пункта NSKE

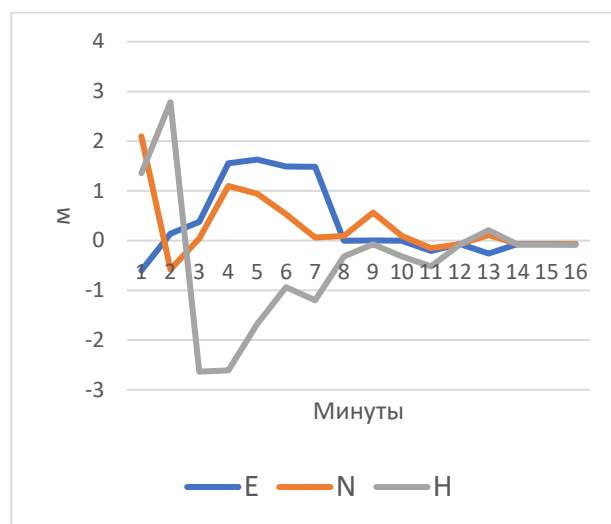


Рис. 6. Отклонения координат относительным методом с базовой станцией PDKV от эталонных координат пункта NSKE

По результатам обработки через программу G-Nut/Anubis, снижение коэффициента сигнал-шума составило 4-6 дБ. Эффект многолучевости изменился незначительно на частоте L1 и увеличился с использованием чок-ринг антенны на частоте L5 (рис. 7).

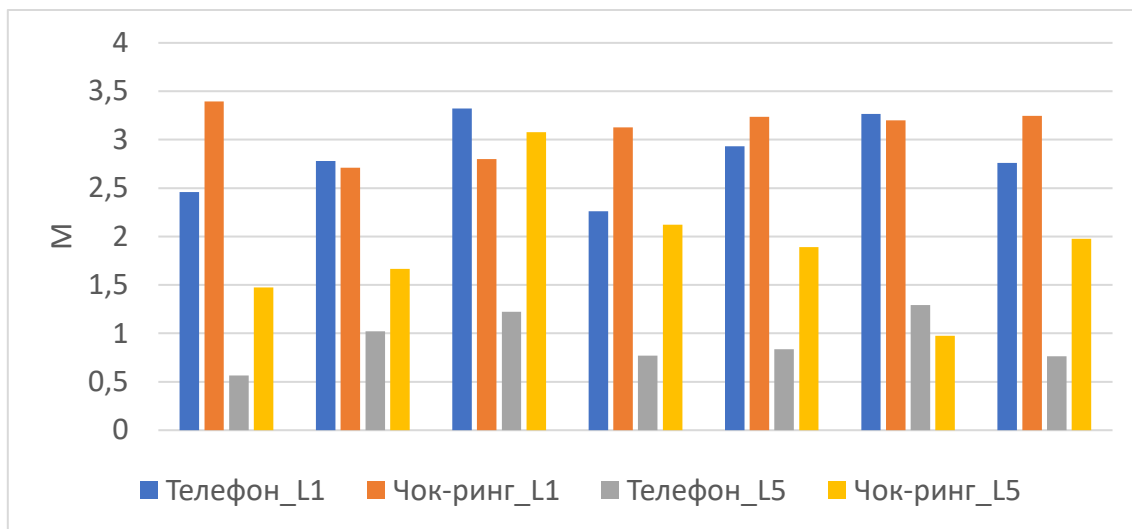


Рис. 7. Значения эффекта многолучевости

В результате обработки измерений через RTKLIB, СКО позиционирования смартфона с использованием чок-ринг антенны, составили 0,8374 м по направлению север, 0,3929 м по направлению восток и 1,1777 м по высоте за 120 мин. Ошибки позиционирования смартфона без использования чок-ринг антенны, составили 0,8945 м по направлению север, 0,5273 м по направлению восток и 4,0067 м по высоте за 120. СКО позиционирования в таком случае повысилась на 1,5251 м. Процент фиксированного решения составил 17,96% для смартфона без использования чок-ринг антенны и 36,08% для смартфона совместно с чок-ринг антенной.

Обсуждение

Результат обработки в программе Justin показал, что время получения значений целых сантиметров сократилось в 2 раза при использовании чок-ринг антенны. Результат обработки в программе RTKLIB показал снижение СКО по каждому направлению и повышение процента нахождения фиксированного решения на смартфоне с использованием чок-ринг антенны в 2 раза. Что доказывает повышение качества фиксируемых ГНСС-сигналов на смартфоне с использованием чок-ринг антенны. Повышение значения эффекта многолучевости на частоте L5 с использованием чок-ринг антенны связано с расположением антенны смартфона, принимающей сигналы на частоте L5, в нижней части корпуса, за пределами колец чок-ринг антенны.

Заключение

В ходе исследования выявлено, что использование чок-ринг антенны со смартфонами нового поколения помогает повысить качество фиксируемых сигналов и процент нахождения фиксированных решений. Что позволяет уменьшить время достижения сантиметровой точности позиционирования и СКО измерений координат. Дальнейшее развитие будет направлено на повышение эффективности антенны типа чок-ринг для смартфонов, путем улучшения качества фиксируемых сигналов на частоте L5, и повышения эргономики использования смартфонов нового поколения совместно с компактным устройством подавления многолучевости для смартфонов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке СЧ НИР «ГЕОТЕХ-КВАНТ-3».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Картгеоцентр, 2004. - 355 е.: ил.
2. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.: ил.
3. Долин С.В., Маликов А.О., Чухлеб Н.С., Бессонов В.С. Высокоточное ГНСС-позиционирование при использовании смартфона с учетом смещения фазового центра его антенны. Гироскопия и навигация. 2025;33(3):30-22. EDN: HGPYBF

© В. С. Бессонов, Н. С. Чухлеб, С. В. Долин, 2026