

Р. А. Соколов¹, Д. А. Рябко¹, С. В. Долин¹✉

Разработка мобильного приложения для записи ГНСС-измерений со смартфонов нового поколения

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: sergeydolin@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке мобильного приложения с открытым исходным кодом для записи и трансляции необработанных данных глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) со смартфонов нового поколения. Приложение позволяет записывать двухчастотные измерения в формате RINEX 3.04 и поддерживает их отправку на сервис постобработки CSRS-PPP.

Ключевые слова: ГНСС, навигация, позиционирование, RTCM, RINEX

R. A. Sokolov¹, D. A. Ryabko¹, S. V. Dolin¹✉

Development of a mobile application for recording GNSS measurements from next-generation smartphones

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: sergeydolin@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the development of an open-source mobile application for recording and broadcasting raw data from global satellite navigation systems (GNSS) from next-generation smartphones. The application allows you to record dual-frequency measurements in the RINEX 3.04 format and supports sending them to the CSRS-PPP post-processing service.

Keywords: GNSS, navigation, positioning, RTCM, RINEX

Введение

Появление на рынке массового потребителя смартфонов, способных принимать кодовые и фазовые ГНСС-измерения на двух частотах, позволило исследовать возможность высокоточного ГНСС-позиционирования. Однако отсутствие программного обеспечения, с открытым исходным кодом, для записи или передачи ГНСС-измерений, сильно ограничивает их использование.

Для решения геодезических задач представлен ряд приложений, позволяющих осуществлять запись измерений в формате RINEX [1] с использованием мобильных устройств, например GEO++ RINEX Logger [2], однако существующие решения характеризуются закрытостью исходного кода, что ограничивает возможность их верификации и адаптации под прикладные задачи, поэтому возникает необходимость в разработке программного обеспечения с открытым исходным кодом, что позволит расширить область использования смартфонов нового поколения.

Методы и материалы

Для обеспечения совместимости с существующей инфраструктурой обработки ГНСС-данных приложение реализует два стандарта обмена измерениями: RINEX 3.04 – для записи необработанных измерений в файл с последующей постобработкой; RTCM 3.2 (MSM4) [3] – для трансляции измерений в реальном времени по протоколу TCP/IP.

Формат RINEX предоставляет независимое от типа приемника представление наблюдений, включая кодовую и фазовую псевдодальность, доплеровский сдвиг и отношение сигнал/шум для всех поддерживаемых спутниковых систем и несущих частот. В рамках разработки реализована генерация корректных RINEX-файлов на основе необработанных данных, доступных через Android GNSS Raw Measurements API (требуется Android 7.0 и выше).

Протокол RTCM 3.2, а именно сообщения типа MSM4 (Multiple Signal Message 4), используется для формирования потоковых данных, совместимых с программными пакетами реального времени, такими как RTKLIB [4]. Эти сообщения передаются по TCP/IP и содержат грубые и точные псевдодальности, фазовые измерения и информацию о качестве сигнала для всех комбинаций спутник–сигнал, зарегистрированных в текущую эпоху.

Базовый метод расчета псевдодальности приложения в виде стандартного уравнения измерений представлен в формуле 1.

$$\rho = c(dt_r - dt_s) \quad (1)$$

где:

ρ – кодовая псевдодальность, м;

c – скорость света, м/с;

dt_r – время приема сигнала на смартфоне, с учетом поправок часов, с;

dt_s – время отправки сигнала со спутника, с.

Из-за аппаратных ограничений смартфона время приема сигнала для второй частоты идентично времени приема для первой частоты, поэтому при расчете тем же методом она получается идентичной.

Для того чтобы исключить равенство псевдодальностей на двух сигналах, псевдодальность для второй частоты рассчитывается методом последовательных приближений на основе разницы времени отправки и приема сигнала, а также координат спутника, вычисленных с помощью бортовых эфемерид.

Бортовые эфемериды автоматически скачиваются с сайта IGS [5] перед началом измерений. Производится распаковка и извлечение данных для дальнейших расчетов.

Определение координат спутников в инерциальной системе отсчета осуществляется решением уравнения Кеплера для эллиптической орбиты с последующим преобразованием в земную систему координат с учетом прецессии орбитальной плоскости.

Фазовые псевдодальности записываются в циклах, по одному методу как для первой, так и для второй частоты. Метод расчета фазовых псевдодальностей представлен в формуле 2.

$$\Phi_C = \Phi + \text{целое} \left(\frac{\rho}{\lambda} - \Phi \right) \quad (2)$$

где:

Φ_C – фазовая псевдодальность с учетом целочисленной неоднозначности в циклах;

Φ – фазовая псевдодальность, рассчитанная по накопленной разности фаз (измеренная фаза в метрах), в циклах;

λ – длина волны сигнала, м.

После записи измерений пользователь получает возможность непосредственно из мобильного приложения инициировать их отправку на сервис постобработки CSRS-PPP [6] (Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning). Данные передаются в стандартном RINEX-формате, что обеспечивает совместимость с внешними сервисами обработки и позволяет получать высокоточные координаты методом постобработки.

Параллельно реализована и тестируется функция трансляции необработанных наблюдений в реальном времени в формате RTCM 3.2, а именно сообщений типа Multiple Signal Message 4 (MSM4), передаваемых по протоколу TCP/IP. Тестирование проводится с использованием модуля RTKNAVI из программного пакета RTKLIB, который поддерживает прием и обработку RTCM-потокa для выполнения решений в реальном времени.

Структура сообщения MSM4 в соответствии со спецификацией RTCM 10403.2 представлена в табл. 1.

Таблица 1

Структура RTCM 3.2 MSM4

Раздел сообщения	Содержимое	Выделенный объем, бит
Заголовок сообщения	Номер сообщения (1074 для GPS, 1094 для Galileo)	12
	GPS-время	30
	IODS (Issue of Data station)	3
	Индикатор коррекции часов	2
	Индикатор внешних часов	2
	Индикатор сглаживания	1
	Маска спутников	64
	Маска сигналов	32
	Маска ячеек	Количество сигналов * Количество спутников

Раздел сообщения	Содержимое	Выделенный объем, бит
Спутниковые данные	Целая часть грубой псевдодальности, мс	8*Количество спутников
	Дробные миллисекунды грубых псевдодальностей	10*Количество спутников
Данные сигналов	Точная кодовая псевдодальность	15*Количество сигналов
	Точная фазовая псевдодальность	22*Количество сигналов
	Индикатор непрерывного слежения за фазой	4*Количество сигналов
	Индикатор неоднозначности половин цикла	1*Количество сигналов
	Отношение сигнал/шум	6*Количество сигналов

Оптимизация протокола передачи данных RTCM направлена на минимизацию объема передаваемой информации при сохранении точности, что обусловлено требованиями к пропускной способности каналов связи в реальном времени.

В заголовке сообщения GPS-время кодируется как количество 250-миллисекундных интервалов, прошедших с начала текущей GPS-недели. Маска спутников включает все спутники, для которых в текущую эпоху получены измерения; маска сигналов – все типы сигналов, зарегистрированные от этих спутников; маска ячеек определяет допустимые комбинации «спутник-сигнал».

Грубые псевдодальности передаются в целых миллисекундах с целью минимизации объема сообщения. Они используются как опорные значения для восстановления точных псевдодальностей на стороне приемника. Целая часть грубой псевдодальности масштабируется делением на коэффициент 1024 и округляется до целого числа в соответствии с рекомендациями стандарта [3].

Дробная компонента грубой псевдодальности вычисляется как разность между текущим и предыдущим значением измеренной дальности и масштабируется коэффициентом 2^{-34} . Точные кодовые псевдодальности формируются для каждой комбинации «спутник-сигнал», указанной в маске ячеек, и кодируются тем же масштабным коэффициентом.

Фазовые измерения, изначально получаемые в циклах, преобразуются в метры и представляются в виде масштабированной разности между фазовой псевдодальностью и опорной (грубой) псевдодальностью. Масштабный коэффициент для фазовых данных составляет 2^{-29} что соответствует разрешению порядка 0.1 мм.

Результаты

Результаты тестирования свидетельствуют о корректной работе системы: обеспечено создание валидных RINEX-файлов (рис. 1) для задач постобработки и развернута потоковая передача измерительной информации в стандарте RTCM.

```

3.04      OBSERVATION DATA      M: Mixed      RINEX VERSION / TYPE
GNSS      20251008 144527 UTC    PGM / RUN BY / DATE
MOBILE_GNSS      MARKER NAME
MOBILE      MARKER TYPE
MOBILE_USER      HUAWEI ELS-NX9      OBSERVER / AGENCY
NA      NA      NA      REC # / TYPE / VERS
NA      NA      ANT # / TYPE
      450179.5843 3644518.1002 5197650.2929      APPROX POSITION XYZ
      0.0000      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
G 8 C1C L1C D1C S1C C5X L5X D5X S5X      SYS / # / OBS TYPES
E 8 C1C L1C D1C S1C C5X L5X D5X S5X      SYS / # / OBS TYPES
J 8 C1C L1C D1C S1C C5X L5X D5X S5X      SYS / # / OBS TYPES
      END OF HEADER

> 2025 10 8 14 47 42.9990000 0 10
G01 22028548.054 115760803.9098 -160.201 29.000 22028551.351 86444770.3011 -159.999
G02 22422401.894 117830520.0028 378.661 22.000
G07 23510534.596 123548695.7582 814.256 31.000
G08 24486799.741 128679004.2174 866.328 22.000 24486789.249 96091424.9984 865.863
G17 21460919.215 112777893.9326 -269.635 15.000
G30 21616375.395 113594822.1527 647.190 21.000
E26 25394077.846 133446782.6586 -241.271 15.000 25394059.259 -238.501
E33 27894943.832 146588922.4989 -481.822 23.000
J02 40623190.850 213476312.8516 116.748 22.000 40623193.848 159414145.1853 117.462
J03 40334465.231 211959049.2648 140.408 18.000 40334481.120 158281174.5963 140.477

```

Рис. 1. Фрагмент RINEX-файла записанного с устройства

После проверки технического функционала был разработан дизайн (рис. 2).

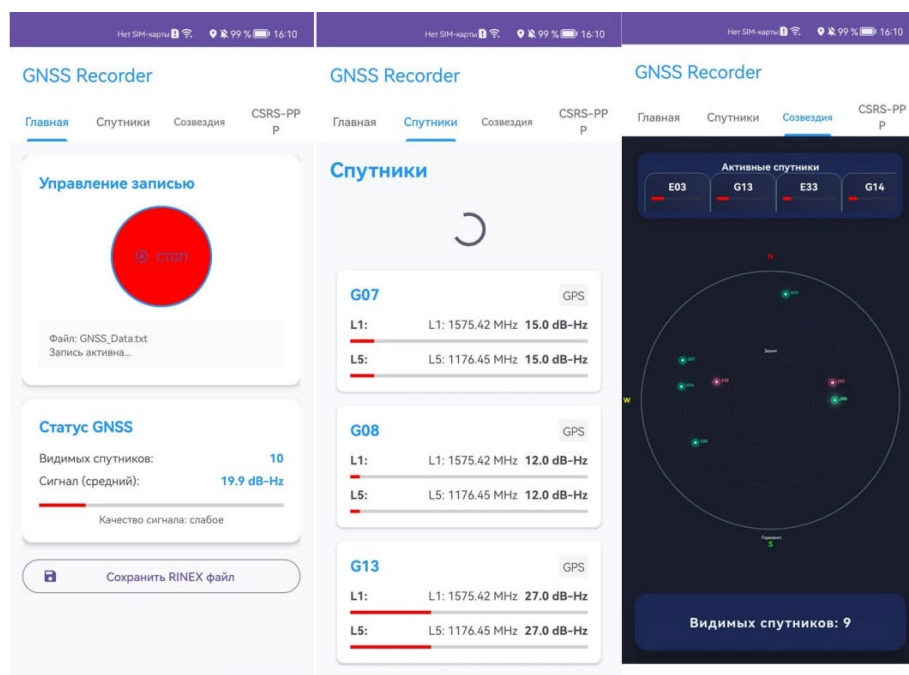


Рис. 2. Дизайн приложения

В ходе тестов приложение смогло сформировать и отправить RTCM сообщения формата MSM4:

- D3004C – начало фрейма данных и объем полезной нагрузки;
- 43207B00415680000000000000 – заголовок;
- 0000A100A0000020 – маска спутников;
- 37500093 – маска сигналов;
- 0880 – маска ячеек;
- 098BC0009CD0800A97F800A5 – грубые псевдодальности;

– 16B0000000000000D3FFF7FFE020C800000000000000004020C2808321E4
BCDF9EF23E67C700EEF10A – данные измерений;

Обсуждение

Экспериментальные данные свидетельствуют о наличии артефактов кодирования в RTCM-потоке, проявляющихся в предельных значениях (насыщении или обнулении) полей точных измерений. Данный эффект, вероятно, обусловлен несоответствием динамических диапазонов исходных данных и формата их представления в сообщениях MSM.

Заключение

В данной версии приложения реализован основной функционал, в частности запись двухчастотных ГНСС-измерений в RINEX файлы и возможность отправлять их на постобработку на сервис CSRS-PPP.

В перспективе приложение будет интегрировано в состав сервиса коллаборативного позиционирования, что позволит обеспечить совместное использование данных от множества пользовательских устройств для повышения точности и надежности навигационных решений.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке СЧ НИР "ГЕОТЕХ-КВАНТ 3".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gurtner W. The Receiver Independent Exchange Format Version 3.04. - 1 изд. - Boulder: UNAVCO, 2018. - 100 с.
2. Geo++ Rinx Logger: Precise Satellite Positioning [Electronic resource] – Germany, 2020. – Mode of access: <https://apkpure.com/geo-rinx-logger/de.geopp.rinxlogger> (accessed 15.10.2025)
3. Radio Technical Commission for Maritime Services RTCM Standard 10403.2. 1 изд. - Arlington: Radio Technical Commission for Maritime Services, 2013. - 255 с.
4. RTKLib: An Open-Source Program Package for GNSS Positioning Electronic program / Developer T. Takasu – Japan, 2013.
5. IGS BKG [Electronic resource]. – Mode of access: <https://igs.bkg.bund.de/> (accessed 10.10.2025)
6. CSRS-PPP [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.canada.ca/en.html> (accessed 20.10.2025)

© Р. А. Соколов, Д. А. Рябко, С. В. Долин, 2026