

Экспериментальное исследование точности GNSS RTK. Часть 1. Форматы данных

Д. Е. Мещеряков, Г. А. Фокин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

mecherikovvvv@gmail.com, grihafokin@gmail.com

Аннотация. Целью экспериментального исследования является комплексная оценка точности позиционирования системами GNSS RTK. Формулируется задача организации измерений в глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС) с системой дифференциальной коррекции (СДК) «кинематика реального времени» RTK (Real Time Kinematic). Для проведения эксперимента с базовой станцией поправок и RTK ровером используется программно-аппаратный комплекс геодезического класса PrinCe. Приводятся форматы измерений RINEX и порядок их постобработки с оценкой координат в RTKLIB.

Ключевые слова: GNSS RTK, NMEA, RINEX, RTCM, PrinCe, RTKLIB, позиционирование

I. ВВЕДЕНИЕ

Достижение метровой и дециметровой точности позиционирования в сотовых сетях 5G и беспроводных локальных сетях WiFi IEEE 802.11az открывает широкие возможности их практического использования [1]–[3]. Однако остается целый ряд сценариев, включая определение местоположение (ОМП) транспортных средств [4], где требуется сантиметровая точность оценок координат в реальном времени. На сегодня такая точность доступна преимущественно глобальным навигационным спутниковым системам (ГНСС) с системами дифференциальной коррекции (СДК) [5].

Наибольшее распространение получили системы GNSS (Global Navigation Satellite System) класса «кинематика реального времени» RTK [6]. Вторичная обработка ГНСС измерений и поправок СДК [7] в проприетарных комплексах геодезического класса типа PrinCe [8], [9] позволяет достичь сантиметровой точности оценок координат (ОК) [10]. Однако в более доступных решениях GNSS RTK [11] такая точность в реальном времени пока недоступна [12]. Для исследования методов и средств повышения точности позиционирования системами GNSS RTK можно воспользоваться открытой библиотекой RTKLIB [13]. В ней используются форматы данных первичных измерений RINEX [14] и оценок координат NMEA [15]. Для анализа порядка постобработки измерений в RTKLIB в настоящей работе выполняется анализ форматов данных, используемых для экспериментального исследования точности позиционирования GNSS RTK.

Материал далее организован следующим образом. В разделе II представлены форматы измерений RINEX и оценок координат NMEA. В разделе III приводится порядок постобработки измерений RINEX в библиотеке RTKLIB. В заключении IV формулируется задача сравнения оценок координат, полученных в комплексе PrinCe с результатами постобработки в RTKLIB.

II. ФОРМАТЫ ГНСС ИЗМЕРЕНИЙ И ПОПРАВК

A. Формат RINEX

Формат RINEX (Receiver Independent Exchange Format) [14] служит для обмена данными GNSS, хранения первичных «сырых» измерений и навигационных сообщений. В ходе эксперимента используются файлы с расширениями .obs (наблюдения) и .nav (навигационные сообщения). Файл наблюдений .obs (табл. 1 и 2) содержит первичные «сырые» измерения с ГНСС приёмника: псевдодальности, фазы несущей, доплеровские сдвиги и отношения сигнал/шум. Описание структуры заголовка и данных строки файла наблюдений представлено в табл. 1 и 2 соответственно. Пример самого файла наблюдений .obs приведен на рис. 1.

ТАБЛИЦА I. СТРУКТУРА ЗАГОЛОВКА ФАЙЛА НАБЛЮДЕНИЙ

Параметр	Пример	Описание
RINEX VERSION / TYPE	3.04, OBSERVATION DATA, M: Mixed	версия формата, тип данных, тип систем
PGM / RUN BY / DATE	PrinCe, PrinCe, 20251210 084702 UTC	программа, исполнитель, дата создания
MARKER NAME / NUMBER	nlosstena	название и номер маркерной точки
OBSERVER / AGENCY	PrinCe, PrinCe	наблюдатель и организация
REC # / TYPE / VERS	3732841, I90VR, 1.1.11	серийный номер, модель, версия прошивки приёмника
ANT # / TYPE	3732841, PRNI90VR, NONE	серийный номер и тип антенны
APPROX POSITION XYZ	2763114.1311, 1626871.7158, 5495080.2130	приблизжённые координаты в системе ECEF, м
ANTENNA: DELTA H/E/N	1.3817, 0.0000, 0.0000	смещения антенны (высота, восток, север)
SYS # / OBS TYPES	G 24 C1C L1C D1C S1C ...	список систем и типов измерений: G – GPS, R – GLONASS, E – Galileo, C1C, L1C, D1C, S1C – типы данных

ТАБЛИЦА II. СТРУКТУРА ДАННЫХ ФАЙЛА НАБЛЮДЕНИЙ

Параметр	Пример	Описание
Идентификатор спутника	G07	GPS, номер спутника 07
Псевдодальность С1С (м)	22684421.141	измеренная дальность на частоте L1
Фаза несущей L1C (циклы)	119207446.270	фазовые измерения на L1
Доплеровский сдвиг D1C (Гц)	-2478.363	изменение частоты сигнала
Отношение сигнал/шум S1C (dB-Hz)	43.750	качество сигнала

```

3.04 OBSERVATION DATA M: Mixed RINEX VERSION / TYPE
PrinCe 20251210 080703 UTC PGM / RUN BY / DATE
lossreda MARKER NAME
lossreda MARKER NUMBER
PrinCe PrinCe OBSERVER / AGENCY
3732841 3732841 REC # / TYPE / VERS
3732841 PRN100VR NONE ANT # / TYPE
2761892.0874 1626462.0761 5495095.8131 APPROX POSITION XYZ
1.3817 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
COMMENT
#IACB ANT PHASCENTER
G 24 C1C L1C D1C S1C C1P L1P D1P S1P C20 L20 D20 S20 C2X SVS / # / OBS TYPES
L1X D1X S1X C1X L1P D1P S1P C20 L20 D20 S20 C2X SVS / # / OBS TYPES
R 12 C1C L1C D1C S1C C1C L2C D2C S2C C2P L2P D2P S2P SVS / # / OBS TYPES
E 12 C1X L1X D1X S1X C1X L2X D2X S2X C2X L2P D2P S2P SVS / # / OBS TYPES
J 12 C1C L1C D1C S1C C1X L2X D2X S2X C20 L20 D20 S20 C2X SVS / # / OBS TYPES
C 30 C2I L2I D2I S2I C1Q L1Q D1Q S1Q C7I L7I D7I S7I C7Q SVS / # / OBS TYPES
L7Q D7Q S7Q C6I L6I D6I S6I C6Q L6Q D6Q S6Q C1X L1X SVS / # / OBS TYPES
D1X S1X C1X L1X D1X S1X SVS / # / OBS TYPES
1.000 INTERVAL
2025 12 10 8 7 22.0000000 G05 TIME OF FIRST OBS
G SVS / PHASE SHIFT
R SVS / PHASE SHIFT
E SVS / PHASE SHIFT
J SVS / PHASE SHIFT
C SVS / PHASE SHIFT
C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000 GLOMSSA COD/PHS/BIS
END OF HEADER
> 2025 12 10 8 7 22.0000000 0 37
G05 21691554.851 11398979.862 -1360.061 46.250 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
087 21462594.239 112786682.674 -1734.575 45.750 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
088 22670812.465 119135907.685 532.953 38.250 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 22670812.123

```

Рис. 1. Пример содержания файла наблюдений .obs

Файл навигационных сообщений .nav (табл. 3) содержит эфемеридные данные и поправки часов спутников [16]. Эфемериды – точные параметры орбиты спутника, позволяют рассчитать его положение в любой момент времени в системе координат Земли. Пример файла навигационных сообщений .nav приведен на рис. 2.

ТАБЛИЦА III. НАВИГАЦИОННОЕ СООБЩЕНИЕ СПУТНИКА GPS

Параметр	Описание
Строка 1	идентификатор спутника, эпоха передачи, поправки часов (a0, a1, a2)
Строки 2–8	орбитальные параметры: IODE – номер эфемериды; Crs, Delta n, M0 – параметры орбиты; Cus, e, Cus, sqrt(A) – эксцентриситет и большая полуось; Toe – эпоха эфемерид; Cis, Omega0, Cis, i0 – наклонение и долгота узла; Crs, omega, Omega dot – аргумент перигея и скорость узла; IDOT – скорость изменения наклонения.

```

3.04 N: GNSS NAV DATA M: Mixed RINEX VERSION / TYPE
PrinCe PrinCe 20251210 080703 UTC PGM / RUN BY / DATE
18 LEAP SECONDS
END OF HEADER
G05 2025 12 10 8 0 -2.25225463510D-04 -6.82121026330D-13 0.00000000000D+00
1.17000000000D+02 1.90312500000D+01 4.38732560680D-09 1.84537106999D+00
9.55536961555D-07 5.41844672989D-03 3.98233532906D-06 5.15365766144D+03
2.95200000000D+05 5.21540641785D-08 -7.16554866815D-01 -1.67638063431D-07
9.78990966789D-01 3.13656250000D+02 1.43469579138D+00 -8.13248160764D-09
2.30005908822D-10 0.00000000000D+00 2.39600000000D+03 0.00000000000D+00
9.65000000000D+00 0.00000000000D+00 -1.071620956081D-08 1.17000000000D+02
2.95200000000D+05 0.00000000000D+00 0.00000000000D+00 0.00000000000D+00

```

Рис. 2. Пример содержания файла навигационных сообщений .nav

Файл навигационных сообщений содержит данные спутника GPS (G05). Запись, соответствующая одному спутнику, имеет структуру, описанную в табл. 3: первая строка включает идентификатор спутника (G05), метку времени эпохи (год, месяц, день, час, минута, секунда) и коэффициенты коррекции часов (a0, a1, a2). Следующие семь строк содержат числовые значения орбитальных параметров: эксцентриситет (e), большая полуось (sqrt(A)), наклонение (i0), аргумент перигея (omega). Эти данные необходимы для расчёта точного положения спутника на орбите. Файл .nav является источником данных о движении спутников и состоянии их бортовых часов, что критически важно для высокоточного позиционирования.

В. Формат NMEA

В сообщениях NMEA (National Marine Electronics Association) [15] передаются оценки координат, статус приемника, количество спутников, HDOP и др. Одним из наиболее информативных в NMEA является сообщение GGA (Global Positioning System Fix Data), которое содержит сводную информацию о текущем статусе местоположения. На рис. 3 показан консольный вывод сообщений NMEA. Структура GGA описана в табл. 4.

В настоящем исследовании поток сообщений NMEA, в первую очередь формата GGA, записывался в реальном времени с приёмника PrinCe i90VR. В дальнейшем эти данные преобразуются в структурированный формат CSV для удобства анализа, визуализации и прямого сравнения оценок координат с результатами постобработки первичных измерений RINEX в СПО RTKLIB.

```

$GPGGA,130000.00,5545.2000,N,03737.1000,E,5,09,1.2,120.50,M,14.2,M,,*42
$GPGGA,130001.00,5545.2005,N,03737.1005,E,5,10,1.1,120.52,M,14.2,M,,*47
$GPGGA,130002.00,5545.2010,N,03737.1010,E,5,11,1.0,120.55,M,14.2,M,,*46
$GPGGA,130003.00,5545.2015,N,03737.1015,E,4,12,0.8,120.58,M,14.2,M,,*4A
$GPGGA,130004.00,5545.2020,N,03737.1020,E,4,14,0.7,120.60,M,14.2,M,,*4D
$GPGGA,130005.00,5545.2025,N,03737.1025,E,4,15,0.6,120.62,M,14.2,M,,*4F
$GPGGA,130006.00,5545.2030,N,03737.1030,E,4,16,0.6,120.65,M,14.2,M,,*41

```

Рис. 3. Пример содержания сообщений NMEA формата CGA

ТАБЛИЦА IV. ПАРАМЕТРЫ СООБЩЕНИЯ NMEA ФОРМАТА GGA

№	Поле	Значение	Описание
1	Идентификатор сообщения	GGA	тип сообщения – фикс GPS
2	UTC-время	112530.000	время в формате ЧЧММСС.ссс (11:25:30.000 UTC)
3	Широта	6012.3456	градусы и минуты (60° 12.3456')
4	Полушарие широты	N	северное (N) или южное (S)
5	Долгота	03015.6789	градусы и минуты (30° 15.6789')
6	Полушарие долготы	E	восточное (E) или западное (W)
7	Fix Quality	1	качество фикса: 0 – нет фикса, 1 – автономный GPS, 2 – DGPS, 4 – RTK-фикс
8	Количество спутников	10	число используемых спутников
9	HDOP	0.95	горизонтальный фактор снижения точности HDOP (чем меньше, тем лучше)
10	Высота	45.3	высота над уровнем моря (в единицах из поля 11)
11	Единицы высоты	M	метры
12	Высота геоида	12.5	разница между эллипсоидом WGS84 и уровнем моря (геоид)
13	Единицы геоида	M	метры
14	Время с последнего DGPS	пусто	возраст дифференциальных поправок (сек), если доступны
15	Идентификатор станции	пусто	номер базовой станции DGPS
16	Контрольная сумма	*65	контрольная сумма для проверки целостности сообщения

III. ПОСТОБРАБОТКА ИЗМЕРЕНИЙ RINEX В RTKLIB

Для постобработки в RTKLIB в ходе эксперимента записывались первичные измерения от базовой станции (PrinCe i30) и ровера (PrinCe i90VR) в формате RINEX. Файлы измерений и параметры настройки RTKLIB описаны в табл. 5 и 6 соответственно.

ТАБЛИЦА V. ОПИСАНИЕ ФАЙЛОВ ИЗМЕРЕНИЙ OBS. И .NAV

Файл	Формат	Описание
source_bs_los	.obs	содержит сырые измерения: псевдоальности, фазы несущей, доплеровские сдвиги и отношения сигнал/шум (база)
source_bs_los	.nav	содержит эфемеридные данные и поправки часов спутников (база)

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛИЦЫ V

Файл	Формат	Описание
source_los	.obs	содержит сырые измерения: псевдодальности, фазы несущей, доплеровские сдвиги и отношения сигнал/шум (ровер)
source_los	.nav	содержит эфемеридные данные и поправки часов спутников (ровер)

ТАБЛИЦА VI. ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ ПРИЛОЖЕНИЯ RTKLIV

Группа	Параметр	Описание	
Основные настройки позиционирования (pos1-)	posmode	режим позиционирования: статический (для неподвижного приёмника)	
	frequency	используемые частоты: L1, L2, L5.	
	solttype	тип решения: только прямое (forward) решение	
	elmask	угол возвышения маски (в градусах); спутники ниже этого угла игнорируются	
	ionoopt	модель ионосферной коррекции: используются коэффициенты из широкоэвещательной эфемериды (классический двойной частотный метод)	
	tropopt	модель тропосферной коррекции	
	sateph	источник эфемерид: только широкоэвещательные эфемериды; для точной постобработки нужно precise	
	navsys	используемые навигационные системы (битовая маска): 1-GPS, 4-GLONASS, 8-Galileo, 16-QZSS, 32-BDS; 61(1+4+8+16+32) - GPS+GLO+GAL+QZS+BDS	
	Настройки разрешения неоднозначностей (pos2-)	armode	режим разрешения неоднозначностей: фиксация и удержание целых значений; агрессивный режим для высокой точности.
gloarmode		режим AR для GLONASS: выключен (т.к. используется межчастотный сдвиг)	
bdsarmode		режим AR для BeiDou: включен.	
arfilter		фильтрация AR: включена; отбрасывает неоднозначности с низким отношением правдоподобия	
minfixsats		минимальное количество спутников для фиксации неоднозначностей	
minholdsats		минимальное количество спутников для удержания фиксации	
varholdamb		дисперсия для удержания неоднозначности (в циклах ²)	
Настройки вывода (out-)		solformat	формат решения: широта, долгота, высота (Lat, Lon, Height)
		outthead	заголовок в выходном файле: включен
		outopt	дополнительная информация в выходном файле: включена (например, число спутников, DOP)
	height	система высот: эллипсоидальная высота (относительно эллипсоида WGS84)	
	geoid	модель геоида для преобразования высоты: встроена в RTKLIV	
Настройки станций (ant1-, ant2-)	ant1-postype	тип задания координат базовой станции (ANT1): вручную введены геодезические координаты (широта, долгота, высота)	
	ant1-pos1/2/3	координаты базовой станции	
	ant2-postype	тип задания координат станции ровера (ANT2): берутся из заголовка файла RINEX	
Статистические настройки (stats-)	eratio1/2/5	отношение дисперсий кодовых измерений к фазовым для L1, L2, L5	
	errphase	СКО фазовых измерений (в метрах)	
	stdiono	априорное СКО ионосферной задержки (в метрах)	
	stdtrop	априорное СКО тропосферной задержки (в метрах)	

На рис. 4 показан файл конфигурации RTKLIV. Отличием от стандартных настроек RTKLIV (табл. 6) является корректировка угла возвышения (elmask). Его увеличение с 15° до 30° необходимо для разрешения

неоднозначностей фазовых измерений, что позволило получить фиксированное (FIX) решение в сценарии LOS. Сигналы от спутников, находящихся низко над горизонтом с углом возвышения менее 30° подвержены влиянию атмосферных задержек ионосферы и тропосферы, а также эффектам многолучевости, что приводит к увеличению шумов и ошибок измерений. Исключение таких спутников из обработки путём повышения угловой маски позволяет улучшить геометрический фактор точности GDOP (Geometric Dilution of Precision) группировки ГНСС и повысить точность фазовых измерений, что создаёт условия для разрешения целочисленных неоднозначностей фаз несущей, что является ключевым условием получения фиксированного решения FIX в режиме RTK.

```
# rtkpost options (2025/12/22 08:04:48-EX 2.5.0)
pos1-kinematic # (0:single,1:dgps,2:kinematic,3:static,4:static-start,5:movingbase,6:fixed,7:ppp-kin,8:ppp-static,9:ppp-fixed)
pos1-frequency # (1:11,2:11+12,3:11+12+15,4:11+12+15+16)
pos1-solttype #forward # (0:forward,1:backward,2:combined,3:combined-nophasereset)
pos1-elmask #30 # (deg)
pos1-snrmask_r #on # (0:off,1:on)
pos1-snrmask_b #off # (0:off,1:on)
pos1-snrmask_l1 #35,35,35,35,35,35,35,35,35,35
pos1-snrmask_l2 #35,35,35,35,35,35,35,35,35,35
pos1-snrmask_l5 #35,35,35,35,35,35,35,35,35,35
pos1-dynamics #on # (0:off,1:on)
pos1-tidecorr #0 # (1:solid2:otl4:spole)
pos1-ionoopt #brdc # (0:off,1:brdc,2:sbas,3:dual-freq,4:est-stac,5:ionex-tec,6:qzs-brdc)
pos1-tropopt #sbas # (0:off,1:sbas,2:sbas,3:est-trl,4:est-rtldgrd)
pos1-sateph #brdc # (0:brdc,1:precise,2:brdc+sbas,3:brdc+srnac,4:brdc+srcom)
pos1-posopt1 #off # (0:off,1:on)
pos1-posopt2 #off # (0:off,1:on)
pos1-posopt3 #off # (0:off,1:on,2:precise)
pos1-posopt4 #off # (0:off,1:on)
pos1-posopt5 #off # (0:off,1:on)
pos1-posopt6 #off # (0:off,1:on)
pos1-exclista # # (pr . . .)
pos1-navsys #61 # (1:gps+2:sbas+4:glo+8:gal+16:qzs+32:bds+64:navic)
pos1-armed #continuous # (0:off,1:continuous,2:instantaneous,3:fix-and-hold)
pos2-gloarmode #off # (0:off,1:on,2:autoical,3:fix-and-hold)
pos2-bdsarmode #on # (0:off,1:on)
pos2-arfilter #on # (0:off,1:on)
pos2-arthres #3
pos2-arthresmin #3
pos2-arthresmax #3
pos2-arthres1 #0.1
pos2-arthres2 #0
pos2-arthres3 #-1e-09
pos2-arthres4 #-1e-05
pos2-varholdamb #0 # (cyc^2)
pos2-gainholdamb #0.01
pos2-arlockcnt #0
pos2-minfixsats #4
pos2-minholdsats #5
pos2-mindropsats #10
pos2-aremask #15 # (deg)
pos2-areminfix #20
pos2-aremaxiter #1
pos2-elmaskhold #15 # (deg)
pos2-aroutcnt #20
pos2-manage #30 # (s)
pos2-synccal #off # (0:off,1:on)
pos2-slitthres #0.05 # (m)
pos2-dopthres #0 # (m)
pos2-rejiono #5 # (m)
pos2-rejcode #30 # (m)
pos2-rstier #1
pos2-baselen #0 # (m)
pos2-basesig #0 # (m)
out-solformat #1lh # (0:1lh,1:xyr,2:enu,3:rmea)
out-outthead #on # (0:off,1:on)
```

Рис. 4. Файл конфигурации RTKLIV

В результате постобработки в RTKLIV формируются файлы .stat и .pos, содержащие рассчитанные координаты и статистику решения (табл. 7).

ТАБЛИЦА VII. ФАЙЛЫ ПОСЛЕ ПОСТОБРАБОТКИ В RTKLIV

Файл	Формат	Описание
rtklib_los	.pos	проприетарный формат RTKLIV; включает заголовок и содержит данные оценок координат
los_pos	.stat	NMEA подобный формат вывода координат, содержит те же данные, что и в rtklib_los
los_events	.pos	содержит заголовок файла rtklib_los

При оценке точности используются данные заголовка (табл. 8) и оценок координат (табл. 9) из файла rtklib_los. На рис. 5 показан файл rtklib_los.pos.

ТАБЛИЦА VIII. ПАРАМЕТРЫ ЗАГОЛОВКА ФАЙЛА RTKLIV_LOS

Параметр	Значение/описание
Программное обеспечение	RTKPOST-EX 2.5.0
Входные файлы измерений	см. таблица 5
Начало наблюдений	2025/12/10 08:07:22.0 GPST
Окончание наблюдений	2025/12/10 08:14:24.0 GPST
Режим позиционирования	Kinematic (кинематический)
Используемые частоты	L1+L2 / E5b+L5+L6
Направление решения	Forward (прямое)
Маска по углу места	30.0 градусов

Параметр	Значение/описание
Коррекция ионосферы	Broadcast (по модели из данных)
Коррекция тропосферы	Saastamoinen (модель)
Источник эфемерид	Broadcast (из данных)
Спутниковые системы	GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BDS
Разрешение неоднозначностей	Continuous (непрерывное)

ТАБЛИЦА IX. ПАРАМЕТРЫ ДАННЫХ ФАЙЛА RTKLIB_LOS

Параметр	Описание	Единица измерения
GPST	Метка времени (эпоха)	Год/Месяц/День Часы:Минуты:Секунды
latitude(deg)	Широта	градусы (WGS84)
longitude(deg)	Долгота	градусы (WGS84)
height (m)	Высота над эллипсоидом	метры
Q	Флаг качества решения	1:fix, 2:float, 3:sbas, 4:dgps, 5:single, 6:ppp
ns	Количество исп. спутников	штук
sdn(m)	СКО (ошибка) широты	метры
sde(m)	СКО (ошибка) долготы	метры
sdu(m)	СКО (ошибка) высоты	метры
sde(m)	Ковариация между ошибками широты и долготы	метры ²
sdeu(m)	Ковариация ошибок долготы и высоты	метры ²
sdun(m)	Ковариация ошибок высоты и широты	метры ²
age(s)	Возраст дифф. поправок	секунды

```
% program : RTKPOST-EX 2.5.0
% inp file : C:\Users\Admin\Desktop\sreda10120225\RTKLIB\LOS\lossreda3441_obs
% inp file : C:\Users\Admin\Desktop\sreda10120225\RTKLIB\BS\open-sky\sreda3441_obs
% inp file : C:\Users\Admin\Desktop\sreda10120225\RTKLIB\LOS\lossreda3441.nav
% obs start : 2025/12/10 08:07:22.000 GPST (week2396 288864.0s)
% obs end : 2025/12/10 08:14:24.000 GPST (week2396 288864.0s)
% pos mode : kinematic
% freq : L1+L2/E5a+E1+E5
% solution : Forward
% elev mask : 30.0 deg
% dynamics : on
% tidecorr :
% lonp opt : Broadcast
% tropo opt : Saastamoinen
% ephemeris : Broadcast
% svl sys : GPS-GLONASS-Galileo-QZSS-BDS
% amb res : Continuous
% amb glo : OFF
% amb sbs : on
% val thres : 3.0
% antenna1 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% antenna2 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% ref pos : 59.903200669 30.48891599 25.2619
%
% (lat/lon/height+HGS84/ellipsoid,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
% GPST latitude(deg) longitude(deg) height(m) Q ns sde(m) sde(m) sdu(m) sde(m) sdeu(m) sdu(m) age(s) ratio
2025/12/10 08:07:22.000 59.903161500 30.488862387 24.4752 2 14 1.4316 1.8000 4.2482 -0.3925 -0.3050 -1.2030 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:23.000 59.903161490 30.488862516 24.3981 2 14 1.0491 0.7983 3.1190 -0.2820 -0.3748 -0.9414 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:24.000 59.903161502 30.488862510 24.3070 2 14 0.8072 0.6599 2.5641 -0.2315 -0.3097 -0.7766 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:25.000 59.903161458 30.488862513 24.2251 2 14 0.7556 0.5750 2.2245 -0.2011 -0.2957 -0.6764 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:26.000 59.903161098 30.488863070 24.3137 2 14 0.6781 0.5162 1.9854 -0.1802 -0.2407 -0.6074 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:27.000 59.903160893 30.488862456 24.3371 2 14 0.6209 0.4724 1.8037 -0.1647 -0.2191 -0.5562 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:28.000 59.903160671 30.488863727 24.2916 2 14 0.5749 0.4381 1.6586 -0.1527 -0.2019 -0.5162 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:29.000 59.903160576 30.488863885 24.2891 2 14 0.5381 0.4104 1.5384 -0.1430 -0.1877 -0.4840 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:30.000 59.903160773 30.488864058 24.2746 2 14 0.5073 0.3873 1.4362 -0.1340 -0.1750 -0.4572 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:31.000 59.903160240 30.488864198 24.2031 2 14 0.4812 0.3677 1.3476 -0.1280 -0.1655 -0.4345 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:32.000 59.903160530 30.488863067 24.1634 2 14 0.4580 0.3508 1.2694 -0.1222 -0.1568 -0.4150 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:33.000 59.903160048 30.488863141 24.1169 2 14 0.4387 0.3360 1.1997 -0.1170 -0.1486 -0.3979 0.00 0.0
2025/12/10 08:07:34.000 59.903159881 30.488864419 24.1528 2 14 0.4211 0.3229 1.1368 -0.1125 -0.1415 -0.3828 0.00 0.0
```

Рис. 5. Файл rtklib_los.pos

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценки координат, полученные непосредственно с приёмника PrinCe i90VR, были записаны в формате сообщений NMEA, преобразованы в структурированный формат CSV и сохранены в файле prin_los.csv. Описание данных файла представлено в табл. 10. На рис. 6 представлена экранная форма файла prin_los.csv.

ТАБЛИЦА X. ПАРАМЕТРЫ ДАННЫХ ФАЙЛА PRIN_LOS

Параметр	Описание
Timestamp	метка времени измерения с точностью до миллисекунд; формат: ГГГГ-ММ-ДД ЧЧ:ММ:СС.ссс
Latitude	широта в градусах
Longitude	долгота в градусах
X (m)	координата X в локальной системе координат (пока нереализованная функция в формировании логов)
Y (m)	координата Y в локальной системе (пока нереализованная функция в формировании логов)
Altitude (m)	высота над эллипсоидом WGS84 в метрах
Fix Status	режим фиксации позиции: RTK (Real-Time Kinematic) – решение с фиксированными целочисленными неоднозначностями, обеспечивает сантиметровую точность
Satellites	количество спутников, используемых в решении; очень высокое значение указывает на приёмник различных ГНСС: GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
HDOP	горизонтальный фактор снижения точности HDOP (Horizontal Dilution of Precision)
Speed (km/h)	скорость движения в км/ч; нулевое значение соответствует статическому положению приёмника

Параметр	Описание
Satellite System	используемая ГНСС; в NMEA сообщении, которое обрабатывало приложение, нет информации об используемой ГНСС
Quality Code	код качества решения; зависит от производителя/формата; обычно: 1 – автономное решение, 2 – дифференциальное, 4 – RTK с фиксированными неоднозначностями, 5 – RTK float; значение 4 – RTK Fixed – наивысшая точность

```
Timestamp, Latitude, Longitude, X (m), Y (m), Altitude (m), Fix Status, Satellites, HDOP, Speed (km/h), Satellite System, Quality Code
2025-12-10 11:07:15.170,59.903161506666,30.48886013483333,0,0,24.2076,RTK,31,0.5,0.0,GNSSM,4
2025-12-10 11:07:16.171,59.903161506666,30.48886013483333,0,0,24.2087,RTK,31,0.5,0.0,GNSSM,4
2025-12-10 11:07:17.170,59.903161506666,30.48886013483333,0,0,24.2087,RTK,31,0.5,0.0,GNSSM,4
2025-12-10 11:07:18.170,59.903161506666,30.48886013483333,0,0,24.2091,RTK,32,0.5,0.0,GNSSM,4
2025-12-10 11:07:19.170,59.903161506666,30.48886013483333,0,0,24.2082,RTK,32,0.5,0.0,GNSSM,4
2025-12-10 11:07:20.170,59.903161506666,30.48886013483333,0,0,24.2093,RTK,31,0.5,0.0,GNSSM,4
2025-12-10 11:07:21.171,59.903161506666,30.48886013483333,0,0,24.2088,RTK,31,0.5,0.0,GNSSM,4
2025-12-10 11:07:22.170,59.903161506666,30.48886013483333,0,0,24.2089,RTK,31,0.5,0.0,GNSSM,4
2025-12-10 11:07:23.171,59.903161506666,30.48886013483333,0,0,24.2084,RTK,33,0.5,0.0,GNSSM,4
```

Рис. 6. Файл prin_los.csv

Поскольку GNSS RTK приёмник PrinCe i90VR в условиях LOS обеспечивал стабильное фиксированное решение с сантиметровой точностью, его координаты были приняты в качестве эталонных. Относительно этого эталона выполнялась оценка среднеквадратического отклонения (СКО) оценок координат как для самих измерений приёмника PrinCe в остальных сценариях, так и для ОК, полученных в результате постобработки в RTKLIB. Файлы с оценками координат, используемые для анализа и сравнения, сведены в табл. 11.

ТАБЛИЦА XI. ФАЙЛЫ ОЦЕНОК КООРДИНАТ PRINCE И RTKLIB

Файл	Формат	Описание
prin_los	.csv	файл с оценками координат PrinCe i90VR в формате, сформированном после обработки NMEA сообщений: время, координаты, статус, количество спутников, HDOP
rtklib_los	.pos	файл с оценками координат RTKLIB: уточнённые координаты, статус решения, СКО

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Фокин Г.А. Модель технологии сетевого позиционирования метровой точности 5G NR. Часть 1. Конфигурация сигналов PRS // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8. № 2. С. 48-63.
- Фокин Г.А. Модель технологии сетевого позиционирования метровой точности 5G NR. Часть 2. Обработка сигналов PRS // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8. № 3. С. 80-99.
- Фокин Г.А., Багаев Е.С., Мещеряков Д.Е. Позиционирование в беспроводных локальных сетях Wi-Fi стандарта IEEE 802.11az. Часть 1. Постановка задачи достижения дециметровой точности // Первая миля. 2025. № 1 (125). С. 50-56.
- Фокин Г.А., Владыко А.Г. Позиционирование транспортных средств в сверхплотных сетях радиодоступа V2X/5G с использованием расширенного фильтра Калмана // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 4. С. 45-59.
- Grewal M.S., Andrews A.P., Bartone C.G. Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, Integration, 4th ed. Wiley, 2020. 608 p.
- Odolinski R., Teunissen, P.J. Low-cost, high-precision, single-frequency GPS-BDS RTK positioning // GPS solutions. 2017. Vol. 21. № 3. PP. 1315-1330.
- Геоспайдер. ООО "НПП "ГЕОМАТИК". [Электронный ресурс] URL: <https://geospider.ru/> (Дата обращения 14.02.2026).
- Приемник PrinCe i30. [Электронный ресурс] URL: https://prinmarket.ru/catalog/priemniki/prince_2/i30/priemnik_prince_i30/ (Дата обращения 14.02.2026).
- Приемник PrinCe i90VR. [Электронный ресурс] URL: https://www.prin.ru/gnss/prince/priemnik_prince_i90_vr/ (Дата обращения 14.02.2026).
- Фокин Г.А., Мещеряков Д.Е. Обзор возможностей программно-аппаратного комплекса PrinCe для высокоточного позиционирования методом RTK // Экономика и качество систем связи. 2025. № 3 (37). С. 77-95.

- [11] SparkFun RTK Surveying Kit. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sparkfun.com/sparkfun-rtk-surveying-kit.html> (Дата обращения 14.02.2026).
- [12] Петров И.А. Высоточное определение относительных координат по сигналам ГНСС методом RTK: выпускная квалификационная работа магистра: 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» / Петров, Игорь Александрович. СПб., 2021. 53 с.
- [13] RTKLIB: An Open-Source Program Package for GNSS Positioning. Tomoji Takasu. [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/tomojitakasu/RTKLIB> (Дата обращения 14.02.2026).
- [14] RINEX. [Электронный ресурс] URL: <https://igs.org/wg/rinex/> (Дата обращения 14.02.2026).
- [15] NMEA Manual. SparkFun Electronics. [Электронный ресурс] URL: https://cdn.sparkfun.com/assets/a/3/2/f/a/NMEA_Reference_Manual-Rev2.1-Dec07.pdf (Дата обращения 14.02.2026).
- [16] The Receiver Independent Exchange Format. International GNSS Service (IGS). [Электронный ресурс] URL: <https://files.igs.org/pub/data/format/> (Дата обращения 14.02.2026).