

Я. А. Некрестов^{1}, Е. Г. Гиенко¹, М. В. Зайцев²*

Исследование ГНСС-приемника EFT M5 RUS в режиме визуального позиционирования

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

²EFT Group, г. Новосибирск, Российская Федерация
*e-mail: Northy123@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты исследования ГНСС-приемника EFT M5 RUS в режиме визуального позиционирования. Выполнено описание технологии визуального позиционирования и принципов его работы. Представлены результаты съемки точек с помощью визуального позиционирования и в режиме РТК при различных условиях, с последующей обработкой и анализом полученных данных. Исследовано влияние расстояния и освещенности на результаты съемки в режиме визуального позиционирования и предложены методы повышения точности. Показано, что разность координат точек, полученных с помощью ГНСС-приемника EFT M5 RUS в режиме РТК и в режиме визуального позиционирования, не превышает 10 см, что вполне достаточно для многих видов геодезических работ, особенно при съемке недоступных точек.

Ключевые слова: Визуальное позиционирование, фотограмметрия, геодезия, ГНСС-измерения, РТК

Y. A. Nekrestov^{1}, E. G. Gienko¹, M. V. Zaytsev²*

Testing of the EFT M5 RUS GNSS receiver in the visual positioning mode

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

²EFT Group, Novosibirsk, Russian Federation
*e-mail: Northy123@yandex.ru

Abstract. The results of the study of the EFT M5 RUS GNSS receiver in the visual positioning mode are presented. The description of the technology of visual positioning and the principles of its operation are carried out. The results of point survey using visual positioning and in RTK mode under various conditions, with subsequent processing and analysis of the data are presented. The influence of distance and illumination on the results of shooting in the visual positioning mode investigated and methods for improving accuracy are proposed. It is shown that the difference between the coordinates of the points obtained using the EFT M5 RUS GNSS receiver in RTK mode and in visual positioning mode does not exceed 10 cm, which is enough for many types of geodetic work, especially when surveying inaccessible points.

Keywords: Visual positioning, photogrammetry, survey, GNSS-measurements, RTK

Введение

В основе технологии визуального позиционирования лежит фотограмметрическая стереосъемка с последующей обработкой цифровых изображений [1]. В настоящее время данная технология реализована в ограниченном количестве

геодезических приемников, а именно, роверах EFT M5 RUS и Leica GS18 I, и на сегодняшний день недостаточно исследована. По причине того, что компания Leica прекратила деятельность на территории Российской Федерации, официальный дистрибьютор компании Leica в России Гексагон Геосистемс Рус прекратил продажи геодезического оборудования. В связи с этим, исследовать приемник GS18 I и сравнить его с отечественным аналогом от компании EFT, к сожалению, невозможно.

Отечественная компания EFT Group выпустила RTK-ровер EFT M5 RUS со встроенной цифровой камерой, имеющий функцию определения координат по серии фотоснимков. Исследование новой технологии на отечественном оборудовании поможет выявить недостатки и внести предложения по повышению точности и надежности измерений, а также популяризировать технологию визуального позиционирования в научном сообществе и на отечественном рынке.

Методы и материалы

В целях исследования технологии и выработки рекомендаций выполнения съемки с помощью визуального позиционирования (ВП) для получения наиболее точных и надежных результатов выполнен ряд экспериментов.

Целью экспериментов является выявление факторов, влияющих на точность определения координат по снимкам, и выработка рекомендаций для использования технологии визуального позиционирования максимально эффективно. Экспериментальные измерения заключаются в выполнении съемки с помощью визуального позиционирования одного и того же объекта в разных условиях и последующем сравнении полученных координат с эталонными. В данном эксперименте эталонными считаются координаты, полученные с помощью тахеометра.

В отличие от ровера GS18 I [2], где присутствует только автоматический режим съемки, у EFT M5 RUS [3] имеется и функция ручной съемки. Автоматический режим подразумевает экспонирование с частотой 2 снимка в секунду, что при большом объеме работ занимает много памяти. В ручном режиме есть возможность сэкономить память устройства, выполнив несколько снимков объекта вручную с разных ракурсов. Для выполнения съемки с помощью визуального позиционирования необходимо фиксированное решение в режиме RTK, а также соблюдение хороших условий съемки [4].

Для выполнения эксперимента, оборудование и программное обеспечение было предоставлено компанией EFT Group [5]. Съемка выполнена приемником EFT M5 RUS. В качестве базовой станции использовалась сеть базовых станций EFT CORS [6].

Внешний вид прибора представлен на (рис. 1). Технические характеристики представлены на сайте производителя [2].

Для управления приемником использовалось программное обеспечение EFT Field Survey [7], которое позволяет работать с ГНСС-оборудованием от компании EFT. Данное ПО можно установить на любое устройство под управлением операционной системы Android.



Рис. 1. Внешний вид EFT M5 RUS

Эксперименты выполнялись по адресу г. Новосибирск, площадь им. Карла Маркса. 7. Объектом съемки выбран главный вход в ТЦ Сан Сити. Общий план объекта с расположением координируемых точек представлен на (рис. 2).



Рис. 2. Общий план объекта съемки

Для эксперимента при определении координат были выбраны разнообразные точки, такие, как углы символов на фасаде здания, место перегиба верхней средней и нижней ступеней, а также конец металлического перила.

В целях определения степени влияния расстояния на точность вычисления координат по фотографиям, съемка выполнена в автоматическом режиме с расстояния около 10 метров до объекта, как рекомендует производитель, порядка 40 метров, а также комбинированного расстояния в ручном режиме. Также выполнена съемка с дополнительными преградами в виде растительности и автомобилей. Координаты некоторых точек дополнительно получены в режиме RTK.

Чтобы определить влияние освещенности на результаты определения координат по снимкам, выполнена съемка объекта с плохой освещенностью, также с разного расстояния. Расположение координируемых точек представлено на (рис. 3).

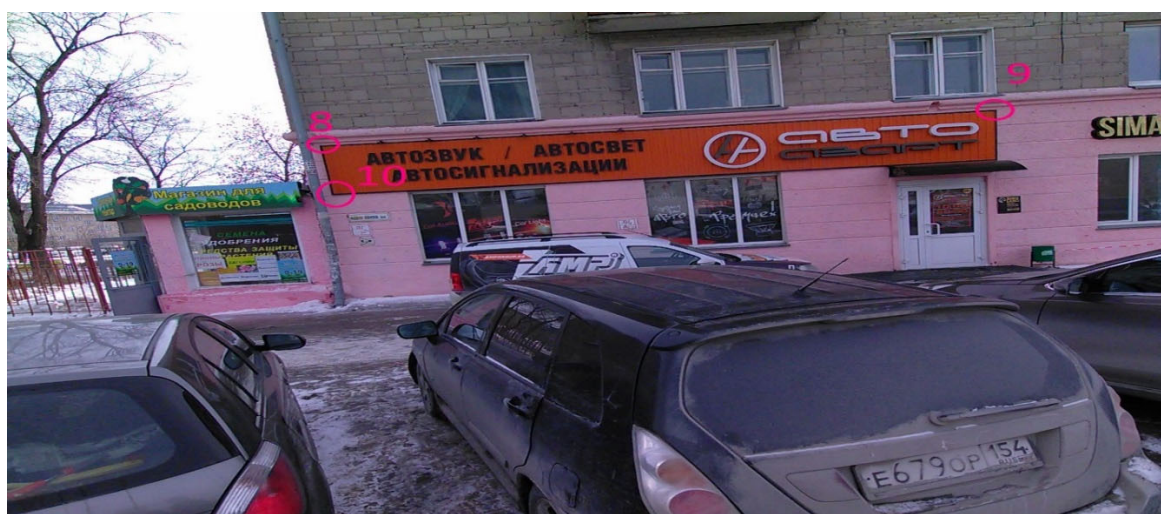


Рис. 3. Объект с плохой освещенностью

Результаты

Выполнено 2 цикла измерений: 21 и 24 марта 2023 года, в местной системе координат МСК54. Координаты, измеренные тахеометром представлены в табл. 1.

Таблица 1

Эталонные координаты, измеренные тахеометром

Название точки	х, м	у, м	Н, м
2	482420,723	4196520,517	146,957
3	482417,497	4196521,201	145,548
4	482414,139	4196521,928	144,586
5	482425,753	4196517,334	152,577
6	482425,969	4196516,711	152,318
7	482416,679	4196515,289	145,566
8	482379,845	4196552,245	147,733
9	482386,700	4196559,087	147,714
10	482377,364	4196549,797	146,537

Для вычисления координат перечисленных точек выполнена съемка с помощью визуального позиционирования (ВП) в автоматическом режиме. В данном режиме нет возможности изменить расстояние до снимаемого объекта, а съемка производится в движении, параллельно объекту. Съемка нескольких доступных точек выполнена в режиме RTK. Результаты координатных определений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты координатных определений

Название точки	х, м	у, м	Н, м	Цикл	Метод измерения
2	482420,728	4196520,483	146,985	2	RTK
2	482420,734	4196520,471	146,727	2	ВП
2	482420,776	4196520,427	146,956	1	ВП
3	482417,495	4196521,195	145,569	2	RTK
3	482417,510	4196521,178	145,507	2	ВП
3	482417,532	4196521,099	145,545	1	ВП
4	482414,151	4196521,911	144,601	2	RTK
4	482414,145	4196521,894	144,498	2	ВП
4	482414,1681	4196521,827	144,584	1	ВП
5	482425,551	4196517,066	152,584	2	ВП
5	482425,822	4196517,237	152,584	1	ВП
6	482425,769	4196516,450	152,353	2	ВП
6	482426,066	4196516,626	152,358	1	ВП
7	482416,675	4196515,253	145,465	2	ВП
7	482416,731	4196515,177	145,555	1	ВП

Далее были вычислены разности между эталонными и измеренными координатами, табл. 3.

Из анализа таблицы 3 становится ясно, что между двумя циклами измерений координат с помощью визуального позиционирования есть разница на несколько сантиметров, иногда до 10–20 см в плане и по высоте. Видно, что плановые координаты второго цикла измерений всегда в 2–3 раза ближе к эталонным, однако, по высоте практически все измерения первого цикла получились на порядок точнее. Объяснением может являться то, что съемка была выполнена с разного расстояния. Также не стоит исключать влияние освещенности, так как первый цикл измерений произведен в солнечную погоду, а второй – в пасмурную. Кроме того, на точность могло повлиять отражение солнечных лучей от стеклянной поверхности здания.

Следующий эксперимент направлен на выявление зависимости влияния расстояния на точность вычисления координат по снимкам. Съемка выполнена с расстояний 5, 20 и 40 м. Разности вычисленных и эталонных координат представлены в табл. 4.

Таблица 3

Разности эталонных и измеренных координат

Название точки	Δx , м	Δy , м	ΔH , м	Цикл	Метод измерения
2	-0,005	0,034	-0,028	2	РТК
2	-0,011	0,046	0,230	2	ВП
2	-0,053	0,090	0,001	1	ВП
3	0,002	0,006	-0,021	2	РТК
3	-0,013	0,023	0,041	2	ВП
3	-0,035	0,102	0,003	1	ВП
4	-0,012	0,017	-0,015	2	РТК
4	-0,006	0,034	0,088	2	ВП
4	-0,029	0,102	0,002	1	ВП
5	0,202	0,268	-0,007	2	ВП
5	-0,069	0,097	-0,007	1	ВП
6	0,200	0,261	-0,035	2	ВП
6	-0,097	0,085	-0,040	1	ВП
7	0,004	0,036	0,101	2	ВП
7	-0,052	0,112	0,011	1	ВП

Таблица 4

Разности эталонных и измеренных координат при разных расстояниях

Название точки	Δx , м	Δy , м	ΔH , м	Расстояние, м
8	0,107	-0,082	0,018	5
8	0,198	-0,179	-0,128	20
8	-0,050	-0,051	-0,248	40
9	0,019	0,055	-0,085	5
9	0,141	-0,142	-0,135	20
9	-0,007	0,033	-0,230	40
10	0,079	-0,088	0,064	5
10	0,203	-0,186	-0,122	20
10	-0,038	-0,089	-0,287	40

По полученным результатам видно, что расстояние напрямую влияет на точность вычисления высоты. Однако плановые координаты точнее вычисляются издалека.

Для следующего эксперимента выполнена съемка главного фасада здания с расстояния около 40 м, что почти в 4 раза больше максимального рекомендуемого расстояния в технических характеристиках аппаратуры. При этом выполнена проверка теоретического положения, что если в группе снимков будет хотя

бы один с отличающимся расстоянием до объекта, то точность вычисления координат по снимкам будет выше.

Съемка выполнена в ручном режиме. Технология съемки заключается в том, чтобы сделать несколько фотографий с примерно одинакового расстояния и еще одну с расстояния на 10 м ближе к объекту. Примеры фотографий представлены на (рис. 4–5).



Рис. 4. Фотография с близкого расстояния



Рис. 5. Фотография с расстояния общей группы снимков

По фотографиям измерены координаты точек 5 и 6. Разницы результатов измерения и эталонных координат представлены в табл. 5.

Таблица 5

Разности эталонных и измеренных координат при разных условиях

Название точки	Δx , м	Δy , м	ΔH , м	Расстояние
5	-0,039	-0,035	0,524	Далеко
5	-0,043	-0,011	0,144	Далеко + снимок ближе на 10 м
6	-0,063	-0,056	0,493	Далеко
6	-0,073	-0,036	0,117	Далеко + снимок ближе на 10 м

Из анализа разностей координат в табл. 4 видно, что дополнительный снимок практически не повлиял на точность координат в плане, но точность вычисления высоты увеличилась практически в 4 раза. Из полученной информации следует вывод, что съемка с разного расстояния положительно влияет на окончательный результат.

В связи с положительным результатом, было решено выполнить съемку того же объекта, но точки фотографирования расположить в шахматном порядке, то есть зигзагом. Разности вычисленных и эталонных координат приведены в табл. 6.

Таблица 6

Разности эталонных и измеренных координат при разной комбинации точек фотографирования

Название точки	Δx , м	Δy , м	ΔH , м
5	0,045	-0,021	0,061
6	-0,007	-0,033	0,027

По полученным результатам видно, что точность по высоте значительно возросла. Следует вывод, что для получения максимально точных результатов следует выполнять съемку зигзагом с изменением расстояния до объекта.

Следует отметить, что во время выполнения съемки в ручном режиме необходимо соблюдать перекрытие снимков таким образом, чтобы последующий снимок накладывался на предыдущий примерно на 60 %. Если не соблюдать перекрытие, то алгоритм не определит достаточное количество соответственных точек между снимками и отбракует их. При недостаточном количестве снимков группа изображений не обрабатывается, и съемку придется выполнять заново. В автоматическом режиме данное условие соблюдается за счет высокой частоты экспонирования в 2 снимка в секунду.

В следующем эксперименте проверено влияние препятствий в виде растительности между приемником и объектом. Один из группы снимков представлен на (рис. 6).

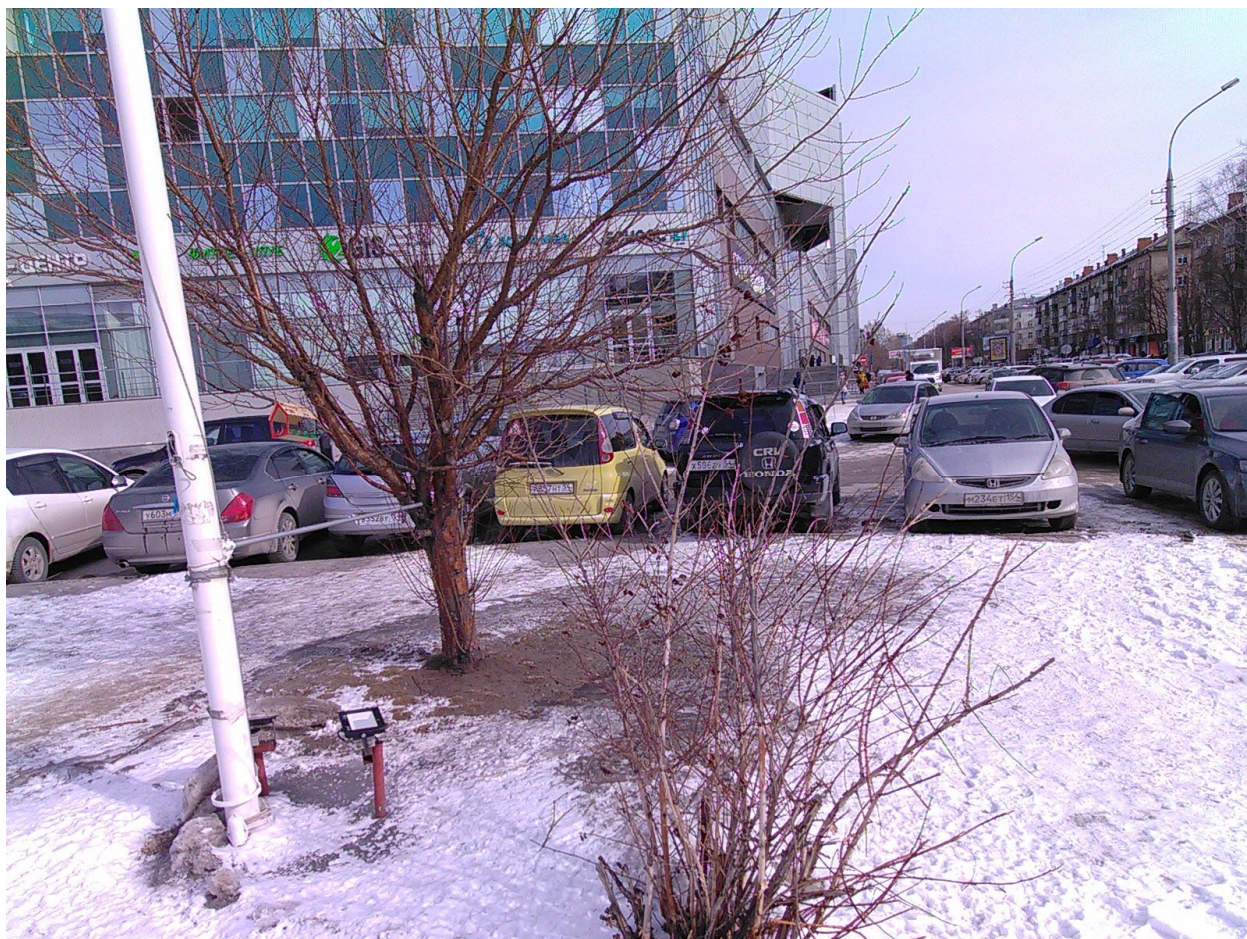


Рис. 6. Фотография с препятствием в виде растительности

Для чистоты эксперимента выполнено несколько съемок в автоматическом и ручном режимах, но ни одну из полученных групп снимков не удалось обработать. Вероятно, причиной этому является недостаточное количество соответственных точек между снимками, так как при небольшом ветре любая растительность раскачивается и на каждом снимке меняет положение.

В таком случае можно сказать, что визуальное позиционирование, скорее всего, не будет выполняться, если объект съемки загорожен растительностью.

Заключение

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что на точность определения координат с помощью визуального позиционирования влияет освещенность, расстояние до снимаемого объекта, а также правильность выполнения съемки. Из результатов экспериментов ясно, что при использовании технологии визуального позиционирования следует делать снимки объекта с разного расстояния в целях получения более точных координат. Также определено, что растительность на переднем плане не позволяет обработать группу снимков, что, возможно, исправят в следующих обновлениях прошивки приемника.

При соблюдении рекомендуемого расстояния и технологии съемки в режиме визуального позиционирования технические характеристики отечествен-

ного приемника EFT M5 RUS подтверждены. В результате исследования приемника получены рекомендации по работе с ним.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Leica Geosystems. Вопросы и ответы касательно технологии визуального позиционирования и Leica GS18 I. – Текст: электронный // URL: https://leica-geosystems.com/ru/products/gnss-systems/smart-antennas/leica-gs18i/of-visual-positioning-gs18-i__ (дата обращения: 15.05.2023). – Режим доступа: общий доступ.
2. Leica Geosystems. ГНСС RTK-ровер Leica GS18 I. – Текст: электронный / URL: <https://leica-geosystems.com/ru/products/gnss-systems/smart-antennas/leica-gs18i> (дата обращения: 13.05.2023). – Режим доступа: общий доступ.
3. Приемник EFT M5 RUS. Текст: электронный / URL: https://eftgroup.ru/catalog/gnss_oborudovanie/gnss_priemniki/priemnik_eft_m5_rus/ (дата обращения :13.05.2023). – Режим доступа: общий доступ.
4. Аппаратура геодезическая спутниковая «EFT M5 RUS». Руководство по эксплуатации. М., 2023. – Текст: электронный/ URL: https://eftgroup.ru/upload/iblock/997/51sffm30frwyioбve tj9kxh53q3jрmp4/Rukovodstvo_po_ekspluatatsii_EFT_M5_RUS.pdf (дата обращения: 16.05.2023). – Режим доступа: общий доступ.
5. Сайт компании EFT Group. – Текст: электронный / URL: <https://eftgroup.ru/> (дата обращения: 14.05.2023). – Режим доступ: общий доступ.
6. Сеть базовых станций EFT CORS. – Текст: электронный / URL: <https://eft-cors.ru/> (дата обращения: 15.5.2023). – Режим доступа: общий доступ.
7. Программное обеспечение EFT Field Survey. – Текст: электронный / URL: https://eftgroup.ru/catalog/gnss_oborudovanie/programmnoe_obespechenie_dlya_gnss/eft_field_survey/ (дата обращения: 14.05.2023). – Режим доступа: общий доступ.

© Я. А. Некрестов, Е. Г. Гиенко, М. В. Зайцев, 2023