TRIMBLE PROPOINT — МАРКЕТИНГОВЫЙ ХОД ИЛИ НОВЫЙ УРОВЕНЬ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИЕМНИКОВ ГНСС?

М.Ю. Караванов (Московское представительство Trimble)

В 1984 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономо-геодезия». После окончания института работал в МИИГАиК, с 1993 г. — в Ashtech, с 1994 г. — в компании ПРИН. С 2001 г. работает в Московском представительстве Trimble, в настоящее время — ведущий инженер.

С.Ю. Крыжановский (ГБУ «Мосгоргеотрест»)

В 2000 г. окончил МИИГАиК по специальности «прикладная геодезия». После окончания университета работал в ЗАО «Центр прикладной геодинамики». С 2001 г. работает в ГБУ «Мосгоргеотрест», в настоящее время — главный геодезист отдела инженерной геодезии.

В ноябре 2019 г. компания Trimble представила новый спутниковый приемник Trimble R12 (рис. 1). Внешне он ничем не отличается от своих предшественников — Trimble R10 моделей 1 и 2 (R10-1 и R10-2). Технические характеристики, батареи, коммуникационные порты, аксессуары — все идентично. Более того, внутри R12 установлен точно такой же чипсет, как и в R10-2. Главным отличием R12 от R10 является встроенное программное обеспечение.

В приемниках Trimble R10 моделей 1 и 2 используется алгоритм решения задачи фазовых измерений под названием HD-GNSS (подробнее см. Геопрофи. — 2019. — № 4. — С. 9–11). В приемнике Trimble R12 реализован новый алгоритм решения задачи фазовых измерений ProPoint, обеспечивающий повышенную точность и ускоренную сходимость решения, особенно в сложных условиях приема спутниковых сигналов, благодаря использованию различных комбинаций ГНСС-сигналов (включая новые, с модуляцией AltBOC) всех созвездий и диапазонов (включая E6, B3, L6).

Рис. 1
Приемник ГНСС Trimble R12

Помимо абсолютно нового процессора сигналов ГНСС, приемник Trimble R12 также оснащен расширенным набором средств обнаружения и борьбы с внешними и внутренними радиочастотными помехами и многолучевостью.

1. Защита от влияния ложных сигналов (спуфинга) осуществляется по нескольким направлениям: алгоритм цифровой обработки DSP выявляет имитированный сигнал, изолирует и отбрасывает его, прежде чем он будет учтен в решении. Одновременно ведется контроль за резкими изменениями параметров орбит и координат, а для повторного захвата спутников используются узкие окна поиска.

2. Улучшенный алгоритм контроля качества решения (RAIM) служит для определения и отбраковки проблемных спутниковых измерений. Благодаря большому числу избыточности, приемник имеет возможность определять измерения, которые явно не соответствуют текущему решению. Каждый вновь отслеживаемый спутник любого созвездия ГНСС перед включением в обработку сначала проходит дополнительные тесты и немедленно удаляется из решения, если не соответствует ему.

3. Усовершенствованная технология подавления многолучевости Trimble Everest Plus обеспечивает повышенную точность координат по сравнению с предшествующей Everest за счет использования большего набора данных для фильтрации измерений псевдодальностей. Это позволяет точнее оценить величину многолучевости и

Рис. 2
Условия наблюдений в районе тестирования: Trimble R10-2 (слева) и Trimble R12 (справа)

избавиться от ее негативного влияния до вычисления координат точек процессором.

При этом компания Trimble, выпустив приемник R12, заявила об увеличении производительности работ на 30% при съемке в режиме RTK в сложных условиях приема спутниковых сигналов.

Предварительное тестирование

Для проверки этого утверждения сотрудники Московского представительства Trimble в декабре 2019 г. провели тестирование характеристик приемника Trimble R12.

В непосредственной близости от офиса представительства был установлен высокоточный роботизированный тахеометр, и методом обратной засечки определены его координаты в режиме комбинированной съемки. Затем в районе офиса было выбрано и с помощью тахеометра измерено 14 точек разной степени сложности. Точность определения координат каждой точки в плане и по высоте не превысила 2 см.

Эти точки одновременно измерялись двумя приемниками ГНСС — R10-2 и R12 (рис. 2). В качестве базовой станции использовался мультисистемный приемник ГНСС ФАЗА+, расположенный на крыше здания офиса.

Предварительное тестирование показало, что в решении по новому алгоритму ProPoint (R12) используется на 3–7 спутников больше, чем по HD-GNSS (R10-1 и R10-2), быстрее обеспечивается сантиметровая точность координат, которая стабильнее удерживается в условиях городской застройки.

Однако для более надежной количественной оценки уровня производительности приемника R12 и реальной точности результатов требовалось использовать большее количество точек и выполнять измерения на каждой из них, что привело к необходимости проведения новых испытаний на специально созданном для этого полигоне.

Условия тестирования

Целью тестирования было проверить: увеличится ли производительность и точность полевых измерений при использовании нового алгоритма ProPoint по сравнению с использованием алгоритма HD-GNSS в сложных городских условиях. Для этого результаты, полученные приемником Trimble R12, сравнивались с результатами измерений предыдущими поколениями приемников — Trimble R10-1 и Trimble R10-2, выполненных на тех же точках.

Уточним, что под сложными условиями приема сигналов спутников ГНСС авторы понимают места, где приемник отслеживает достаточное количество спутников для достижения минимальных требований по точности, но при этом прием сигналов может быть частично ограничен или сигналы могут быть искажены из-за отражения от деревьев, зданий и других объектов.

Выполняя измерения любым спутниковым приемником на территории с плотной городской застройкой, крайне сложно получить точное фиксированное решение в режиме RTK (RTK-решение) вблизи зданий. Причиной этому является наличие большого количества препятствий: здания, деревья, навесы над входом в здание, заборы и т. п., которые напрямую влияют на количество получаемых решений. Высотные здания закрывают небосвод, приемник получает решение от крайне ограниченного количества спутников ГНСС при плохой геометрии их расположения, а отражения сигналов спутников от различных поверхностей влияет на точность RTK-решения.

Производители спутникового оборудования стремятся непрерывно улучшать алгоритмы обработки принимаемых сигналов спутников ГНСС для достижения удовлетворительного результата за адекватное время измерений. Однако, в погоне за скоростью получения решения, некоторые из них жертвуют точностью конечного результата. Поэтому для объективного определения качества измерения требу-

ется правильная методика сравнения.

К сожалению, большинство используемых тестов имеют методические упущения. Например, твердая уверенность в том, что «фиксированное» — это на 100% точное решение. Или в том, что указанные рядом с координатами цифры с показателем оценки точности — это и есть истинная, объективная оценка. Проводимые сравнения часто основаны на однократных измерениях всего лишь нескольких точек, без «сброса» инициализации между измерениями, а анализ точности выполняется по внутренней сходимости определенных координат.

Следует также отметить, что в ходе полевых работ исполнителю важно не только получить высокую точность, но и сэкономить время на выполнение измерений. Поэтому в качестве одного из условий при тестировании было принято следующее — если в течение 30 секунд после начала измерений на точке оценка точности координат превышает 0,05 м в плане и по высоте, то такие результаты признаются ошибочными.

Чтобы избежать подобных огрехов, авторы решили создать тестовый полигон из более сотни эталонных точек с различным уровнем сложности приема сигналов навигационных спутников и выполнить измерения несколькими приемами в разное время.

Для подготовки тестового полигона и проведения измерений Московское представительство Trimble обратилось за помощью в одну из наиболее авторитетных организаций России, имеющую значительный опыт геодезических работ, — ГБУ «Мосгоргеотрест».

Тестовые испытания на полигоне

В качестве исполнителя от ГБУ «Мосгоргеотрест» выступил главный геодезист отдела инженерной геодезии С.Ю. Крыжановский. Подготовка полигона и тестирование проводились в январе 2020 г.

Рис. 3
Трехмерная модель района тестирования

В качестве места для сравнения технологий был выбран типовой район в центре Москвы, на улице Школьной, недалеко от площади Рогожской Заставы.

В 1980-х гг. из этой улицы хотели сделать пешеходную зону, которая должна была стать «вторым Арбатом». Но в связи с началом перестройки в СССР планы не были реализованы полностью, и проект ограничили только реставрацией зданий. В 2019 г. состоялась вторая попытка организации «второго Арбата», которая оказалась более успешной. На этой улице будто объединились две эпохи: дореволюционная и современная — двухэтажные старинные здания расположены в окружении 22-этажной советской застройки (рис. 3).

Почему был выбран именно этот район для создания тестового полигона? Опытные геодезисты еще на этапе предварительного обследования объекта уверенно определяют насколько возможно выполнить работы с помощью приемников ГНСС и планируют: съемку каких участков лучше выполнять тахеометром, а каких — приемником ГНСС. По нашей оценке, на выбранном объекте около 50% точек можно было уверенно измерить спутниковыми при-

Рис. 4
Схема хода для определения координат эталонных точек

Рис. 5
Примеры расположения эталонных точек: самые сложные (вверху); средней сложности (внизу)

емниками, а остальные — доснять тахеометром. Кроме того, улица Школьная — пешеходная, а это является важным преимуществом при проведении геодезических измерений.

Для определения координат эталонных точек на объекте тестирования с помощью высокоточного тахеометра был проложен ход (рис. 4) и привязан к пунктам Опорной геодезической сети города Москвы (ОГС Москвы). Опорные точки хода измерялись в режиме статика. Строгое уравнивание результатов измерений проводилось в программах Trimble Business Center и Star*Net.

В районе тестирования было выбрано и замаркировано 115 эталонных точек, которые являются характерными точками: углы бордюров, входные группы в здания (крыльцо, металлические навесы), осветительные столбы, отдельно стоящие деревья (*расположение некоторых эталонных точек на тестовом полигоне можно посмотреть в электронной версии данной статьи, размещенной на сайте журнала www.geoprofi.ru*). Все точки принципиально выбирались в непосредственной близости к зданиям и были разделены на две группы по сложности определения: самые сложные (входные группы зданий с металлическим козырьком) — 15 точек (рис. 5а) и средней сложности — остальные 100 точек (рис. 5б).

Координаты всех эталонных точек (в плане и по высоте) определили тахеометром с точностью не хуже 1 см. В результате был создан эталонный полигон для тестирования приемников ГНСС.

Координаты эталонных точек определялись в двух режимах:

— от сети базовых станций СНГО Москвы в двухсистемном (ГЛОНАСС, GPS) режиме RTK;

— от одиночной мультисистемной (ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Beidou) базовой станции, расположенной на крыше здания офиса Московского представительства Trimble (приемник ГНСС ФАЗА+), в мультисистемном режиме RTK.

В тестировании участвовали приемники R10-1, R10-2 и R12. Контроллер, программное обеспечение Trimble Access 2019 и настройки измерений были полностью идентичными. Датчики наклона приемников во всех сериях были выключены.

На всех эталонных точках было выполнено 6 наборов измерений спутниковыми приемниками (на каждой точке выполнялось по 3 измерения). Напомним, что для наблюдений на каждой точке выделялось ограниченное время — не более 30 секунд на сходимость решения.

При выполнении полевых измерений оценка точности проводилась по значениям среднеквадратических отклонений (СКО) координат (в плане и по высоте). В камеральных условиях вычислялись разности в координатах эталонных точек,

Результаты измерений на самых сложных эталонных точках — **Таблица 1**

Критерий точности	Двухсистемный режим RTK			Мультисистемный режим RTK		
	HD-GNSS R10-1	HD-GNSS R10-2	ProPoint R12	HD-GNSS R10-1	HD-GNSS R10-2	ProPoint R12
	Количество точек, удовлетворяющих заданному критерию точности					
СКО не более 0,05 м в плане и по высоте	2 из 15	2 из 15	2 из 15	3 из 15	0 из 15	7 из 15
Разность эталонных и фактических координат не более 0,05 м	1 из 15	1 из 15	1 из 15	2 из 15	2 из 15	4 из 15
Удовлетворяют двум критериям точности	0 из 15	1 из 15	1 из 15	2 из 15	0 из 15	4 из 15

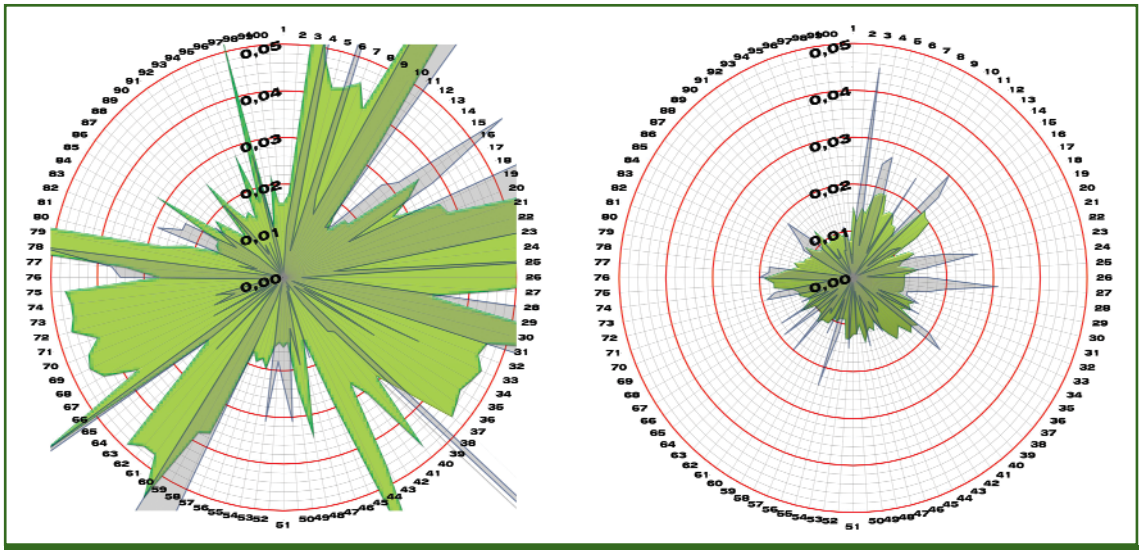

Рис. 6
Истинные ошибки по высоте и оценки точности в полевой программе для алгоритмов HD-GNSS (слева) и ProPoint (справа) на эталонных точках средней сложности

полученных в режиме RTK, и определенных тахеометром. Точки, у которых СКО или разности координат превышали 0,05 м, признавались ошибочными. Для окончательной оценки принимались точки, удовлетворяющие двум критериям точности.

Результаты измерений для 15-ти самых сложных эталонных точек (входные группы зданий с металлическими козырьками) представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что приемник R12 при работе в мультисистемном режиме показал несколько лучшие результаты. Очевидно, это связано с тем, что в обработке с помощью процессора ProPoint участвует большее число сигналов спутников ГНСС.

Результаты измерений для 100 эталонных точек средней сложности приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что приемник Trimble R12 с алгоритмом ProPoint при работе как в двухсистемном, так и в мультисистемном режиме показал хорошие результаты практически на всех эталонных точках.

Полученные результаты точности измерения высоты приемниками R10-1, R10-2 и R12 также продемонстрировали заметное преимущество алгоритма ProPoint. На рис. 6 представлены диаграммы истинных ошибок по высоте (области серого цвета) и предварительной оценки точности в полевой программе (области зеленого цвета) на эталонных точках средней сложности, для разных алгоритмов.

На диаграммах видно как увеличение точности результатов, так и повышение надежности оценки точности при использовании нового алгоритма решения задачи фазовых измерений ProPoint, реализованного в приемнике ГНСС Trimble R12. Важно отметить, что эти данные получены в

Результаты измерений на эталонных точках средней сложности — **Таблица 2**

Критерий точности	Двухсистемный режим RTK			Мультисистемный режим RTK		
	HD-GNSS R10-1	HD-GNSS R10-2	ProPoint R12	HD-GNSS R10-1	HD-GNSS R10-2	ProPoint R12
	Количество точек, удовлетворяющих заданному критерию точности					
СКО не более 0,05 м в плане и по высоте	65 из 100	88 из 100	100 из 100	89 из 100	78 из 100	100 из 100
Разность эталонных и фактических координат не более 0,05 м	73 из 100	74 из 100	98 из 100	75 из 100	76 из 100	99 из 100
Удовлетворяют двум критериям точности	59 из 100	64 из 100	98 из 100	71 из 100	69 из 100	99 из 100

реальных городских условиях из большой выборки измерений. По нашему мнению, такой результат говорит об увеличении эффективности обработки спутниковых сигналов при получении RTK-решения.

Дополнительное тестирование

На одной из эталонных точек (назовем ее точка № 8) при определении высоты приемником R12 в мультисистемном режиме RTK точность превысила 0,05 м (см. табл. 2). На этой точке было решено провести дополнительный эксперимент — многократные измерения (рис. 7).

Рис. 7
Условия наблюдений на точке № 8 при многократных измерениях

Было выполнено подряд 100 измерений приемником R12 в мультисистемном режиме RTK. СКО и разности между эталонным значением и измеренными в плане и по высоте не превысили 0,05 м. Абсолютно все измерения удовлетворяют двум критериям точности. Для сравнения аналогичные измерения были выполнены приемником R10-2, который не справился с поставленной задачей.

На рис. 8 представлены результаты оценки точности плановых координат при многократных измерениях на точке № 8 приемником R12 и приемником R10-2. Центр всех окружностей — эталонная координата точки. Радиус каждой окружности — 0,01 м, 0,02 м и т. д.

На рис. 9 представлены разности между измеренной и эталонной высотой точки № 8 при многократных измерениях приемниками R12 и R10-2. По оси абсцисс приведен порядковый номер измерения, а по оси ординат — разность между измеренной и эталонной высотой.

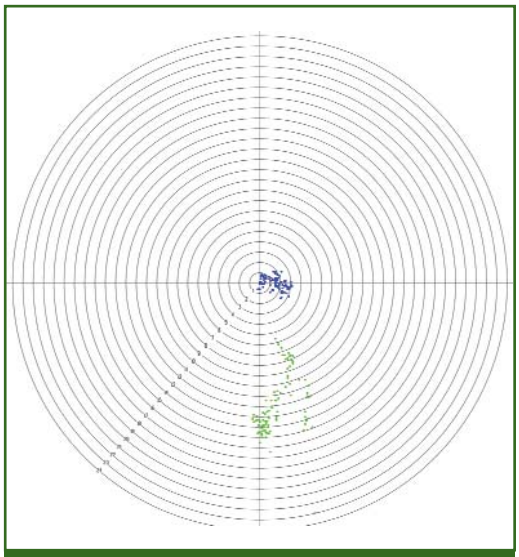

Рис. 8
Графическое представление точности плановых координат точки № 8, измеренных приемниками R12 (точки синего цвета) и R10-2 (точки зеленого цвета)

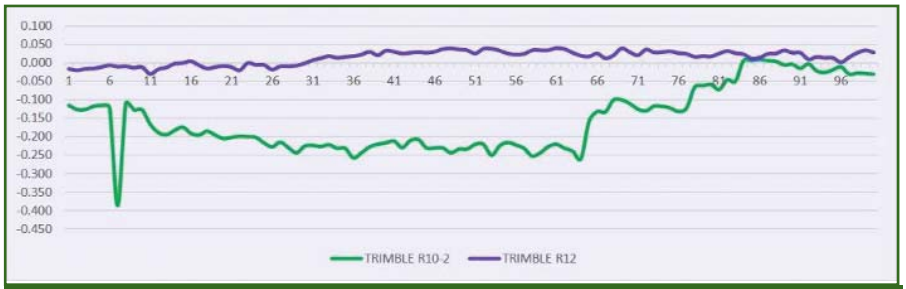

Рис. 9
Графическое представление разностей между измеренной и эталонной высотой точки № 8 приемниками R12 и R10-2

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы и высказать предложения.

Проведенные тестовые испытания приемника ГНСС Trimble R12 говорят о качественном скачке при получении RTK-решения за счет нового алгоритма обработки спутниковых сигналов.

Реализованный в приемнике ГНСС Trimble R12 алгоритм обработки спутниковых сигналов ProPoint при работе мультисистемном в режиме RTK (GPS, ГЛОНАСС, Galileo и Beidou) в сложных городских условиях показал эффективность на 30–40% выше, чем алгоритм HD-GNSS в приемниках ГНСС Trimble R10. Точность плановых и высотных координат в этих же условиях также повышается минимум в два раза, а их оценки в полевой программе стали надежнее и согласованнее с истинной погрешностью координат измеренных точек.

Конечно, технологии не стоят на месте, и многие производители совершенствуют алгоритмы обработки сигналов ГНСС в геодезическом спутниковом оборудовании. Было бы очень интересно в будущем провести аналогичные тестовые испытания спутниковых приемников других производителей.

Места расположения эталонных точек на тестовом полигоне

047
048
049
050

063
064
061
065
070
071
069
068
073
074
067
066
062

059
060
058
057
056

037
036
020
021

098
099
8
100

КЛИНИКА
2
ЧУДО ДОКТОР
001
002
003
004
005
006

35
090
093
094
091

073
074
078
070
071
069
068
072
067
066
062