



Преимущества интеграции средств спутникового позиционирования и инерциальных измерительных устройств

Плюснин Евгений Анатольевич
Главный инженер НПК GPScom

Обеспечение высокого уровня работы (как с точки зрения точности, так и с точки зрения оперативности), простота интеграции оборудования делают технологию SPAN идеальной для желающих улучшить эффективность решений в сложных условиях, извлекая при этом пользу из высокой производительности.

Интеграция средств спутникового позиционирования и инерциальных измерительных устройств дает много преимуществ, включая возможность определения элементов ориентирования и увеличение частоты выдачи значений координат и скорости. Однако, возможно, самым ценным является доступность качественного решения в условиях ограниченной видимости спутников. Если сигнал от спутника прерывается или велик уровень накладываемого шума, приемник не в состоянии обеспечить надежное решение. Перебои могут возникать под листвой деревьев, в условиях плотной городской застройки, при крутых разворотах во время аэросъемки и т. д. Если полагаться только на технологию спутникового позиционирования, то подобные условия скажутся на производительности и качестве работ.

Для улучшения надежности позиционирования в неблагоприятных условиях средства спутникового позиционирования и/или полученные ими результаты объединяются с высокостабильными, но склонными к дрейфу наблюдениями, сформированными с помощью блока инерциальных измерительных устройств (IMU Inertial Measurement Unit), что дает интегрированное решение. При «провалах» сигнала приемник спутникового позиционирования не может выдать решение, в то время как система GPS/INS использует «сырые» данные IMU для его расчета. Такая технология взаимного дополнения позволяет создать систему высокоточного определения координат, скорости и элементов ориентирования, обеспечивая при этом непрерывное позиционирование даже в сложных условиях.

Технология SPAN компании NovAtel (Канада) обеспечивает получение перечисленных выше преимуществ при интеграции приемника спутникового позиционирования NovAtel с блоком инерциальных измерений, она объединяет инерциальные и ГНСС-данные для областей применения, требующих больших функциональности и надежности, чем могут предложить традиционные системы спутникового позиционирования.

Интеграция приемника спутникового позиционирования и блока инерциальных измерений на основе технологии SPAN достаточно проста. IMU соединяется с приемником посредством одного из стандартных последовательных портов. В результате требуется только один кабель для подключения блока IMU и его питания. Наряду с простой в использовании аппаратной составляющей, внутреннее математическое и программное обеспечение технологии SPAN позволяет объединить инерциальные и ГНСС-данные для получения высокоточного решения и эффективного ведения работы. В системе используются стандартные последовательные порты приемника, простые команды и записи, в результате чего она может быть

НПК GPScom 🌐 109387, Россия, г. Москва, ул. Люблинская, д.42, офис 509

Тел.: (495) 232 2870 🌐 Факс: (495) 232 232 2870 🌐 www.GPScom.ru

🌐 Email: info@GPScom.ru

подготовлена к работе в течение нескольких минут.

Благодаря комбинации инерциального блока и приемника спутникового позиционирования технология SPAN позволяет увеличить производительность за счет обеспечения непрерывной работы даже при плохой видимости спутников. Использование оптимизированных интегральных навигационных комплексов способствует лучшему захвату сигналов спутников и сходимости RTK-решения. Для динамических приложений, требующих не только определения координат, система предоставляет точные значения скорости и элементов ориентирования; частота вывода данных достигает 200 Гц.

Улучшенное автоматическое определение стабильных периодов используется для нулевого обновления скорости, что помогает контролировать ошибки ее вычисления, возникающие за счет сдвига IMU-измерений. Благодаря технологии SPAN доступны несколько режимов позиционирования, что позволяет удовлетворять требованиям по точности для различных приложений. Так, среди прочих предлагаются режимы позиционирования с использованием поправок SBAS, DGPS, поддержкой сервиса OmniSTAR и CDGPS; для позиционирования с сантиметровым уровнем точности может использоваться режим RT-2.

Научно-производственная компания GPScom официальный представитель компании NovAtel совместно с ООО «Балтаэросервис» провела полевые испытания технологии SPAN для создания комплекса привязки фото- и тепловизионных данных аэросъемки (рис. 1).

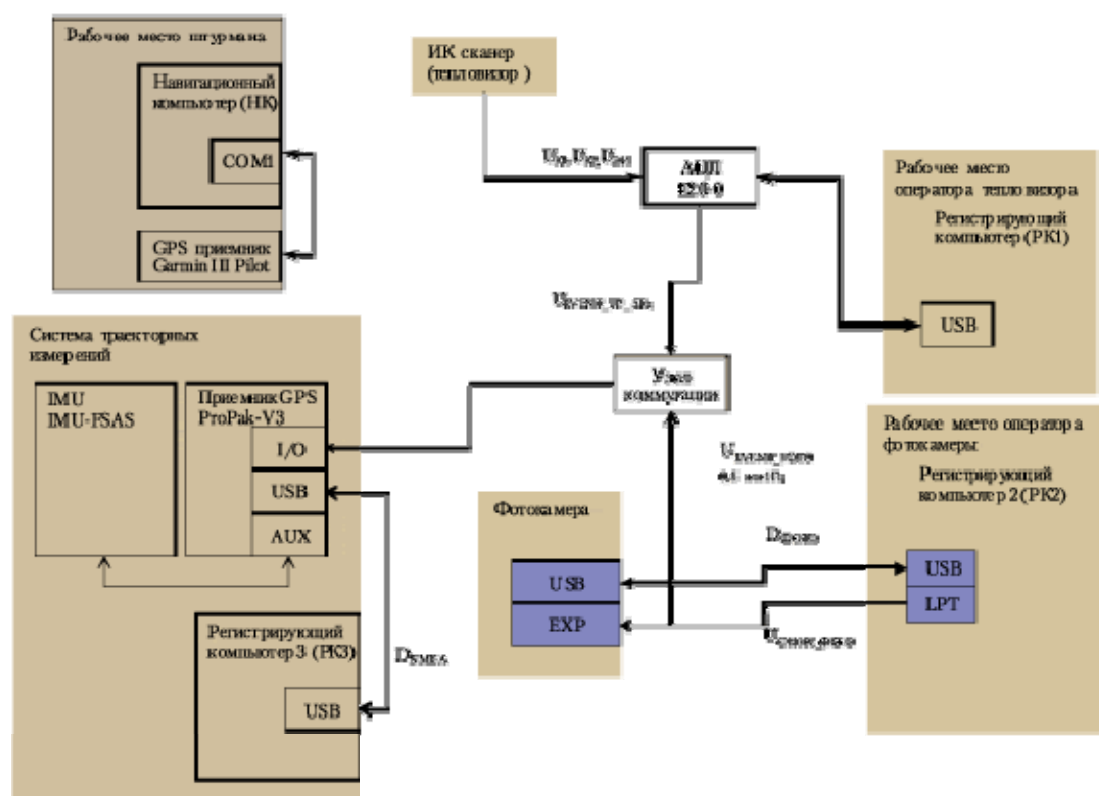


Рис. 1. Комплекс привязки фото- и тепловизионных данных аэросъемки.

Комплекс предназначен для измерения и регистрации параметров движения авианосителя, определения географических или плановых координат, углов крена и тангажа в момент

НПК GPScom 🌐 109387, Россия, г. Москва, ул. Люблинская, д.42, офис 509

Тел.: (495) 232 2870 🌐 Факс: (495) 232 232 2870 🌐 www.GPScom.ru

🌐 Email: info@GPScom.ru

прихода импульсов UEVENT_FOTO (момент экспозиции цифровой камеры) и UEVENT_TP (запись данных тепловизора) и вычисления координат центров фотографирования. Для решения поставленных задач был выбран вариант интеграции данных приемника спутникового позиционирования и блока инерциальных измерений с дальнейшей постобработкой в специализированном программном обеспечении. Такая схема позволяет обеспечить высокую точность позиционирования, надежность получаемого решения и определение углов крена и тангажа.

В состав комплекса входят:

- приемник спутникового позиционирования NovAtel ProPak-V3-424;
- авиационная антенна;
- NovAtel Ant-534;
- блок инерциальных измерений iMar FSAS;
- ПО NovAtel CDU для настройки, контроля и записи данных комплекса;
- ПО Inertial Explorer для обработки данных комплекса;
- компьютер для настройки, контроля, записи и обработки данных комплекса.

Для проведения летных испытаний был предоставлен самолет L-410 и оборудование для фото- и тепловизионной аэросъемки (рис. 2).



Рис. 2. Самолет L-410.

Авиационная антенна NovAtel Ant-534 была установлена в хвостовой части самолета по правому борту, а кабель проведен внутрь фюзеляжа. Выбор места установки антенны не был идеальным из-за наличия гребня хвостового оперения, который перекрывает горизонт по левому борту до 20 градусов, но был обусловлен наличием технологических отверстий и штатных точек крепления (рис. 3).



Рис. 3. Место установки антенны NovAtel Ant-534.

В хвостовой части самолета имеются два люка, над одним был установлен тепловизор, над вторым на кронштейне цифровая фотокамера и блок инерциальных измерений (БИИ) (рис. 4). БИИ был подключен к приемнику спутникового позиционирования, так же как и фотокамера (через интерфейсный блок) для записи метки времени срабатывания затвора.



Рис. 4. Место установки БИИ iMag FSAS.

На рис. 5 и 6 представлены соответственно общая траектория полета и фрагмент траектории с нанесенными маркерами срабатывания затвора камеры.

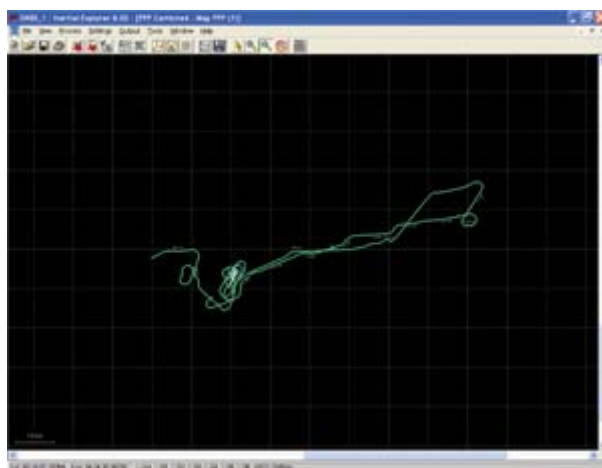


Рис. 5. Общая траектория полета.

НПК GPScom 🌐 109387, Россия, г. Москва, ул. Люблинская, д.42, офис 509

Тел.: (495) 232 2870 🌐 Факс: (495) 232 232 2870 🌐 www.GPScom.ru

🌐 Email: info@GPScom.ru

Данные совместных измерений приемника ProPak-V3-424 и БИИ iMar FSAS обрабатывались в программном обеспечении Inertial Explorer тремя различными алгоритмами: Precise Point Positioning (PPP), Differential GNSS и Tightly Coupled IMU.

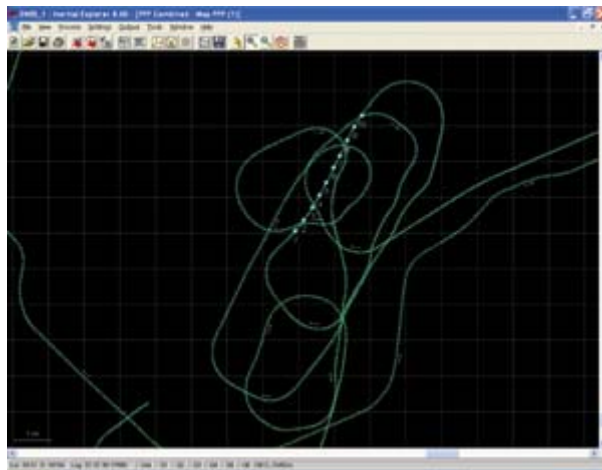


Рис. 6. Фрагмент траектории с нанесенными маркерами срабатывания затвора.

Алгоритм PPP позволяет проводить постобработку измерений приемника спутникового позиционирования без использования данных от базовых станций. В качестве дополнительной информации используются параметры точных орбит и поправки часов, которые вычисляются по данным контрольных станций слежения и выкладываются на специализированном FTP-сервере.

Алгоритм Differential GNSS позволяет проводить постобработку измерений приемника спутникового позиционирования с использованием данных от постоянно действующих научных базовых станций. Используются файлы измерений в формате RINEX, которые формируются на основе «сырых» измерений и выкладываются на специализированном FTP-сервере.

Алгоритм Tightly Coupled IMU позволяет получить жестко связанное решение данных приемника ProPak-V3-424 и БИИ iMar FSAS. В качестве дополнительной информации используются файлы измерений постоянно действующих научных базовых станций в формате RINEX, которые формируются на основе «сырых» измерений и выкладываются на специализированном FTP-сервере.

В каждом из алгоритмов для получения доступа к данным, выложенным на сервере, используется утилита, которая входит в ПО Inertial Explorer. Доступ к данным бесплатный.

Графики оценки точности в зависимости от времени съемки, условий измерений и алгоритмов обработки приведены на рис. 7–10.

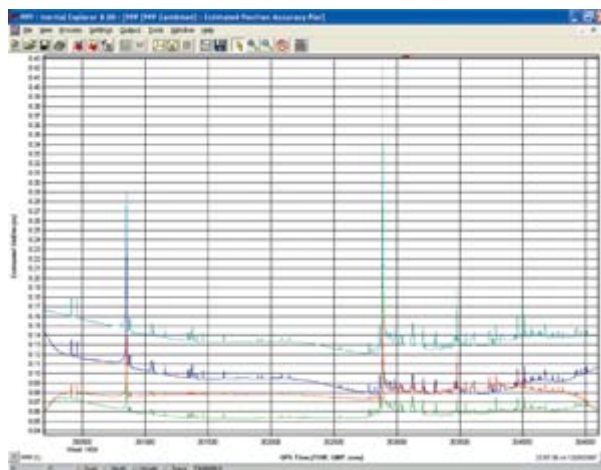


Рис. 7. Оценка точности при обработке данных по алгоритму PPP.

На рис. 7 и 8 четко прослеживаются пики снижения точности из-за потери сигнала от спутников и срывов фазовых измерений при разворотах для захода на съемочный маршрут. На рис. 9 хорошо видно, что крен во время разворотов для захода на посадку доходил до $30\text{--}32^\circ$, что хорошо для экономии топлива и времени и плохо для точности данных. На рис. 6 за счет использования данных БИИ, которые позволяют с высокой точностью восстановить потерянные фазовые измерения, пики снижения точности почти отсутствуют, точность измерений на порядок превышает точность измерений, полученную по двум другим алгоритмам.

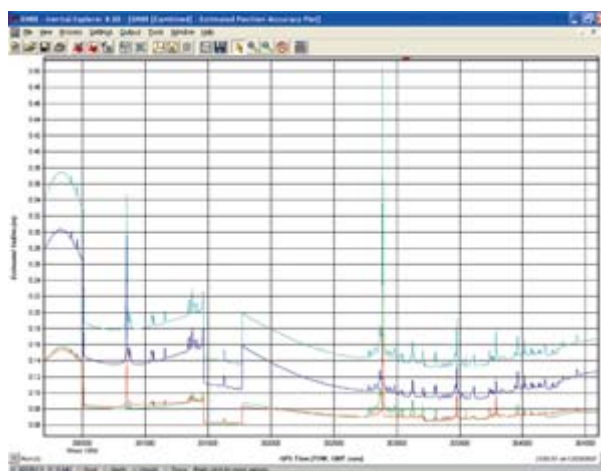


Рис. 8. Оценка точности при обработке данных по алгоритму Differential GNSS.

Таким образом, использование комплекса позволяет не только повысить точность и надежность позиционирования данных, но и обеспечить снижение затрат времени и материалов.

НПК GPScom 🌐 109387, Россия, г. Москва, ул. Люблинская, д.42, офис 509

Тел.: (495) 232 2870 🌐 Факс: (495) 232 232 2870 🌐 www.GPScom.ru

🌐 Email: info@GPScom.ru

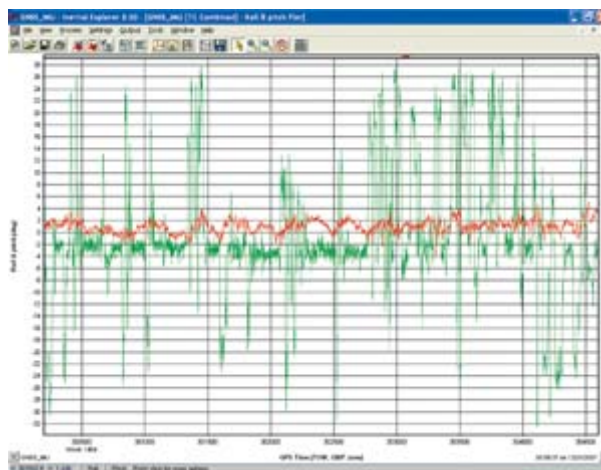


Рис. 9. Угол крена в зависимости от времени.

Для вычисления координат центров фотографирования были использованы линейные элементы редукции, которые вычисляются по чертежам или измеряются непосредственно на борту и позволяют автоматически редуцировать координаты фазового центра антенны к центру фотографирования.

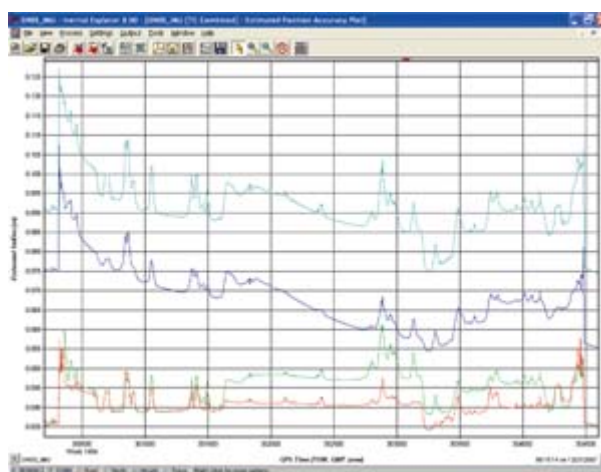


Рис. 10. Оценка точности при обработке данных по алгоритму Tightly Coupled IMU

При обработке данных по алгоритму Tightly Coupled IMU были также учтены угловые элементы редукции, определенные БИИ. Использование двух наборов элементов редукции (линейных и угловых) позволяет повысить точность результатов.

Наличие координат центров фотографирования, углов крена и тангажа на момент срабатывания затвора (измеряются БИИ), угла сноса (вычисляется) значительно упрощает дальнейшую обработку материалов фото- и тепловизионной съемки, повышает их точность (рис. 11).



Рис. 11. Угловые и линейные параметры движения авианосителя.

Полевые летные испытания подтвердили преимущества использования комплекса позиционирования данных фото- и тепловизионной аэросъемки на основе технологии SPAN компании

NovAtel. Привязка центров фотографирования с точностью до 12 см, получение углов крена, тангажа и сноса позволяют значительно повысить качество и точность получаемых данных, рассчитать проекцию поля зрения фотокамеры и тепловизора.

Применение в составе комплекса блока инерциальных измерений iMar FSAS и программного обеспечения Inertial Explorer для получения жестко связанного решения приемника спутникового позиционирования и БИИ дает возможность при заходах на маршруты экономить топливо и время за счет снятия ограничений на угол крена.

Как показали результаты тестов, добавление инерциальной составляющей к комплексу для спутникового позиционирования сказывается на качестве данных и надежности работы в условиях, где только сигнала спутника недостаточно.

В периоды, когда видимость спутников отсутствовала, технология SPAN обеспечивала выдачу значений координат, скорости и элементов ориентирования. Однако с течением времени сдвиги и помехи измерений IMU начинают сказываться на общем решении. Поэтому во время частичной видимости спутников необходимо контролировать скорость ухода за счет фазовых обновлений, что будет способствовать поддержанию соответствующей точности даже в течение продолжительной потери сигнала.

Обеспечение высокого уровня работы (как с точки зрения точности, так и с точки зрения оперативности), простота интеграции оборудования делают технологию SPAN идеальной для желающих улучшить эффективность решений в сложных условиях, извлекая при этом пользу из высокой производительности.

НПК GPScom 🌐 109387, Россия, г. Москва, ул. Люблинская, д.42, офис 509

Тел.: (495) 232 2870 🌐 Факс: (495) 232 232 2870 🌐 www.GPScom.ru

🌐 Email: info@GPScom.ru