

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ GPS/IMU*

Е.М. Медведев («ГеоЛИДАР»)

В 1986 г. окончил МЭИ. С 1986 по 1997 г. работал инженером, старшим инженером, ведущим инженером, начальником сектора ГосНИИ Авиационных систем. С 1997 по 2002 г. — руководитель группы дистанционного зондирования, руководитель группы научно-исследовательских работ ЗАО «Оптэн Лимитед». С 2002 г. работает в Компании «Геокосмос» директором по научной работе. С июля 2005 г. — генеральный директор компании «ГеоЛИДАР». Кандидат технических наук.

Итак, в предыдущем номере мы остановились на обсуждении точностных характеристик современных интегральных навигационных комплексов. Напомним, что для комплекса POS/AV 510 (рис. 1) компании Applanix (Канада) точность определения пространственных координат специфицируется на уровне 5–30 см, а угловых координат, т. е. углов крена, тангажа и курса в авиационной терминологии (или, что то же самое, фотограмметрических углов ω , ϕ , κ) — на уровне 0,005–0,0080.



Рис. 1
Интегральный навигационный GPS/IMU комплекс POS/AV 510 компании Applanix

Нельзя не отметить, что точность определения пространственных координат, обеспечиваемая комплексом POS/AV, близка к своему теоретическому пределу. В [1] утверждается, что для кинематических GPS-измерений предельно достижимая точность фазовых измерений составляет 1/4–1/5 длины

волны несущего колебания. С учетом того, что длина волны колебания L_1 составляет 19 см, мы как раз получаем около 5 см, естественно, для наиболее благоприятного расположения спутников GPS.

Что касается точности определения угловых координат, то их удобно представлять не в градусах, а в радианах. Легко проверить, что приведенные выше значения угловой точности примерно соответствуют значению 10^{-5} рад. Удобство использования радианной меры в этом случае объясняется тем, что при авиационных методах съемки ошибка определения итоговых плановых координат наземного объекта Δxy , вызванная данной ошибкой угловых координат POS/AV, выражается простой формулой:

$$\Delta xy = 10^{-5} \times H,$$

где H — высота съемки.

Иными словами, если измеренные системой POS/AV линейные и угловые параметры принять в качестве элементов внешнего ориентирования аэрофотоснимка или набора лазерно-локационных данных, то можно рассчитывать, что ошибка определения плановых координат по таким данным составит около 0,00001 от высоты съемки, т. е. 5 см при $H = 500$ м, 10 см при $H = 1000$ м и т. д.

Те, кто знаком с традиционными фотограмметрическими

методами взаимного и абсолютного ориентирования аэрофотоснимков, согласятся, что точность 10^{-5} рад для угловых элементов внешнего ориентирования более чем достойное значение. В определенных случаях значения угловых параметров с таким уровнем точности можно использовать в качестве окончательных, т. е. не требующих никакой коррекции при выполнении процедур геопозиционирования различных видов аэросъемочных данных (прежде всего, конечно, лазерно-локационных и цифровых аэрофотографических). Говорят также, что данные современных интегральных навигационных систем достигли фотограмметрического уровня точности. Последнее утверждение выражает то обстоятельство, что хотя средства определения всех параметров положения и угловой ориентации в пространстве движущихся платформ активно применяются на практике уже давно (например, в курсовой системе любого летательного аппарата), только сейчас появились системы, уровень точности выходных данных которых позволяет решать картографические и геодезические, а не только пилотажно-навигационные задачи.

Теперь можно определить понятие системы прямого геопозиционирования, которое ча-

* Продолжение. Начало в № 3-2005.

сто используется для обозначения интегральных GPS/IMU-комплексов, когда речь идет об их геодезическом или аэрогеодезическом применении. Наиболее примечателен термин «прямого», поскольку термин «геопозиционирование» и его связь с навигацией подробно обсуждались в первой части статьи. Итак, предлагаемый метод геопозиционирования является прямым, прежде всего, в сравнении со стандартной фотограмметрической процедурой геопозиционирования аэрофотоснимков, которая, как известно, включает следующий набор операций: выделение наземных опознаков и определение их геодезических координат, определение связующих точек на стереопарах, развитие и уравнивание фототриангуляционной сети, создание свободной модели и ее масштабирование. Т. е. при традиционном подходе общая задача геопозиционирования решается за счет последовательной реализации нескольких технологических процедур, каждая из которых достаточно трудоемка. Следует также отметить, что хотя современные фотограмметрические цифровые технологии обеспечивают значительную степень автоматизации, тем не менее, участие оператора практически на всех стадиях описанного цикла существенно, что может явиться дополнительным источником ошибок при недостаточной квалификации персонала.

Метод геопозиционирования данных съемки, предлагаемый интегральными GPS/IMU-комплексами, практически полностью свободен от недостатков, связанных со сложностью традиционного подхода. С некоторой долей условности можно говорить, что все численные параметры, необходимые для окончательного геопозиционирования данных съемки, возникают одновременно с этими данными

непосредственно в ходе съемки. Последнее обстоятельство позволяет некоторым авторам говорить, что применение GPS/IMU-комплексов обеспечивает *аппаратный* метод определения элементов внешнего ориентирования, противопоставляя его традиционному *фотограмметрическому* методу.

Перед тем как перейти к детальному исследованию принципов функционирования GPS/IMU-комплексов, объясняющих их феноменальную точность, обсудим более детально прикладной аспект их применения. Выделим только основные положения.

Создание первых GPS/IMU-комплексов в начале 1990-х гг. явилось важнейшей технологической предпосылкой появления воздушных аэросъемочных лидаров в их нынешнем виде. Именно использование GPS/IMU-данных позволило корректно представлять данные лидарной съемки в геодезических координатах с вполне определенными количественными гарантиями точности, т. е. способствовало превращению авиационных лидаров из средств дистанционного зондирования (в основном, военного назначения) в средства топографического картирования. Современный аэросъемочный лидар настолько не мыслим без GPS/IMU-комплекса, что даже конструктивно эти приборы неотделимы друг от друга (точнее, один включает в себя другой).

Идеология использования GPS/IMU-комплексов при съемке с любых движущихся платформ (летательных аппаратов, морских и речных судов, поездов и вообще любых движущихся платформ) предполагает их полностью автономное функционирование от съемочного оборудования. Это чрезвычайно важное обстоятельство позволяет использовать такие системы совместно с прак-

тически любыми источниками геопространственных данных, в частности, с аэросъемочными средствами — аналоговыми и цифровыми аэрофотоаппаратами, радиолокаторами, инфракрасными и спектрально-интегральными приборами и др. Так, например, нет необходимости аппаратно «сопрягать» классический пленочный аэрофотоаппарат БАФ-40 (или любой другой) с GPS/IMU-комплексом POS/AV 510. В процессе аэросъемки эти приборы могут работать независимо на аппаратном уровне. Необходимо обеспечить только их синхронность, или более точно — *временную определенность событий*, чего в нынешних условиях нетрудно добиться благодаря использованию GPS/ГЛОНАСС-технологий. Применительно к аэрофотоаппарату последнее требование означает, что время совершения каждого аэрофотоснимка должно быть определено во временной шкале, единой с комплексом POS/AV. На практике это достигается регистрацией импульса срабатывания затвора аэрофотоаппарата через один из специальных EVENT-входов комплекса. Аналогично может быть выполнена синхронизация с практически любым аэросъемочным средством.

▼ Список литературы

1. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins. Global Positioning System. Theory and Practice. Springer-Verlag. Wien. New York.

Продолжение следует

RESUME

It is noted that the accuracy of the spatial coordinates determination provided by the Applanix POS/AV system approaches its theoretical limit. The «direct geopositioning» notion is explained and the applied aspects of the GPS/IMU Integrated Navigation Systems usage are given.