Геоинформационная методика оперативной подготовки районов местности подвижным навигационным комплексом

Geo-information technique of operational preparation of local areas by means of a mobile navigation complex

Назаров / Nazarov V.
Виктор Георгиевич
(nazarov@itain.ru)
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
ведущий специалист.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: геоинформационная методика – geo-information technique; оперативная подготовка районов местности – operational preparation of local areas; подвижный навигационный комплекс – mobile navigation complex.

В статье рассматривается геоинформационная методика оперативной подготовки районов местности с использованием современного подвижного навигационного комплекса. Методика описывает порядок действий и варианты комплексного использования результатов измерений различными аппаратными средствами комплекса в различных условиях его применения.

The article covers the geo-information technique; operational preparation of local areas by means of an advanced mobile navigation complex. The technique describes the action plan and options for the integrated use of measurement data obtained by means of various hardware integrated in the complex used in different application conditions.

При создании исходной геодезической основы с применением традиционных геодезических средств приходится производить на местности большой объем измерений в статическом режиме. Затем, для получения конечной продукции (координат и высот точек местности, азимутов направлений и других данных), выполнять сложную камеральную математическую обработку результатов измерений. На всю эту трудоемкую и ответственную работу требуется много времени и большое число квалифицированных специалистов. Ускорить процесс сбора и сократить трудоемкость работ позволяет подвижный навигационный комплекс (ПНГК), имеющий в своем составе достаточно большой набор измерительных средств (бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), спутниковая геодезическая аппаратура (СГА), система технического зрения и др.). В данной статье описана разработанная автором методика оперативной подготовки районов местности на основе комплексного использования информации от различных подсистем ПНГК в различных условиях его применения.

Основными источниками исходной навигационной информации являются накопленные измерения от СГА и БИНС. К основным преимуществам СГА относится автономность навигационного обеспечения, малое время готовности, высокая точность определения координат и скорости транспортного средства. При этом отсутствует какое-либо накопление ошибок. Основными недостатками СГА являются: подверженность внешним помехам (например, в условиях проведения РЭБ), возможная недостоверность сигналов и пропадание сигналов навигационного космического аппарата (НКА) [1].

Для БИНС характерна автономность, помехозащищенность, высокая скорость выдачи навигационных параметров и возможность выработки динамических параметров. Вместе с тем для БИНС характерно накопление ошибок со временем [2], зависимость точности от аномалий гравитационного поля Земли и большое время готовности, что связано с необходимостью решения задач начальной выставки системы и калибровки ее чувствительных элементов [3].

При разработке методики были учтены следующие особенности комплекса и его подсистем, а также возможностей по их применению.

1) ПНГК является средством топогеодезического и навигационного обеспечения нового поколения. В нем реализован аппаратный алгоритм получения всей совокупности навигационно-геодезических данных (плановых координат и высот, линейных и угловых ускорений, скорости движения, углов крена, тангажа и направления (курса) и др.) непосредственно в движении автомобиля, то есть в режиме времени, близком к реальному.

2) При недоступности навигационных сигналов систем ГЛОНАСС/GPS, наличии сильных радиопомех предусматривается работа ПНГК полностью в автономном режиме, при котором координаты и высота

2 2018.indd 142 04.07.2018 14:26:07

точек местности определяются только из измерений инерциальной системой. При этом для сохранения высокой точности получаемых координат и высот дополнительно используются данные от одометрической системы, а также производятся периодические и кратковременные остановки ПНГК и автоматически осуществляется коррекция работы системы (списание накапливаемых систематических ошибок). При появлении устойчивого приема сигналов систем ГЛОНАСС/ GPS, ПНГК автоматически переходит к работе в режиме безостановочного движения.

3) В ПНГК, для повышения надежности решения целевых задач на обеспечиваемых территориях, предусмотрено определенное технико-технологическое дублирование, которое выражается в варьировании применением методов и средств в зависимости от условий окружающей обстановки. Могут быть разнообразными и режимы измерений – абсолютные измерения с постобработкой и без нее, режим измерений в реальном времени и др.

Технология определения координат и высот объектов с помощью спутниковых приемников состоит в применении относительного метода, когда пользователь работает, как минимум, с двумя приемниками, один из которых устанавливается на определяемой точке, а второй – на геодезическом пункте с известными координатами и высотой.

С помощью СГА из состава ПНГК может быть реализован так называемый дифференциальный режим или кинематика в реальном времени (режим RTK), который позволяет осуществлять измерения и их обработку в реальном времени, то есть получать результаты практически одновременно с выполнением измерений (во время кратковременных остановок на точках местности). Для этого между неподвижным (базовым) геодезическим спутниковым приемником, установленным над центром геодезического пункта (точки) с известными координатами и высотой, и подвижным приемником, установленным в ПНГК, организуется цифровой радиоканал.

4) При оснащении комплекса ПНГК дифференциальной подсистемой (ДПС) создаваемое ею навигационное поле существенно повысит точность и надежность навигационно-геодезических определений мобильных объектов в режиме реального времени. Применение ДПС в составе ПНГК исключает необходимость иметь в середине 50-км маршрутов отдельные базовые станции, геодезические спутниковые приемники которых, как известно, должны быть привязаны к пунктам исходной геодезической сети.

5) В условиях недоступности спутниковых сигналов ГЛОНАСС/GPS и возможных запретов или ограничений на использование средств радиосвязи, предусмотрены режимы автономной работы комплексов ПНГК.

6) При использовании комплекса ПНГК в оперативной обстановке, устройство передачи координат (УПК) в составе лазерного гирокомпаса (ЛГК) и дальномерно-угломерного устройства (ДУУ) ЛГК в значительной степени компенсирует снижение производительности и технологических возможностей комплекса ПНГК, возникающее при решении целевых задач из-за недоступности спутниковой информации [4].

Основой методики применения ПНГК при создании исходной геодезической основы требуемой точности и плотности на заданной территории является прокладывание маршрутов вдоль путей вероятного передвижения мобильных объектов.

Каждый маршрут движения ПНГК планируется с таким расчетом, чтобы захватить как можно больше определяемых пунктов (точек), но при этом его протяженность не должна превышать 50 км. Должно учитываться также состояние дорожной сети и условия движения по выбранным участкам дорог.

Прокладываемые маршруты должны опираться на исходные геодезические пункты.

Место установки базового спутникового геодезического приемника (БСП) выбирается, по возможности, примерно в середине маршрута и должно обеспечивать благоприятные условия для приема сигналов от спутников космических навигационных систем ГЛОНАСС/ GPS. Для обеспечения устойчивой работы БСП рекомендуется, чтобы место его размещения отвечало следующим требованиям:

– углы закрытия горизонта местными препятствиями не должны превышать 10°, а при наличии таковых, свободный от препятствий сектор обзора небесной сферы должен составлять не менее 270°;

– должны отсутствовать отражающие поверхности, которые могли бы создавать множественную расходимость принимаемых от спутников радиосигналов (металлические ангары, гаражи, крыши домов, водная поверхность, металлические рекламные и другие щиты, расположенные вертикально в непосредственной близости от приемника);

– поблизости не должны располагаться мощные радио- и телевизионные передатчики, высоковольтные ЛЭП, радиолокационные станции и другие возможные источники радиоизлучения;

– с точки зрения помех и безопасности работ следует выбирать места расположения БСП в стороне от путей интенсивного движения железнодорожного и автомобильного транспорта.

Начальный (НПМ) и конечный (КПМ) пункты маршрута, а также точки на маршруте выбираются с расчетом так, чтобы можно было передать их координаты и высоту на центр основного пункта с помощью устройства передачи координат.

При большом удалении (до 1 км) ПНГК от центра геодезического пункта, геодезическая привязка комплекса выполняется с помощью УПК или относительным методом с использованием выносного спутникового геодезического приемника.

Закрепление на маршруте определяемых пунктов СГС и точек местности производится заблаговременно и в соответствии с требованиями руководящих доку-

2 2018.indd 143 04.07.2018 14:26:07

ментов. На каждую закрепленную точку оформляется абрис.

Определение координат и высот точек местности на маршруте движения выполняется с использованием спутниковых геодезических приемников, БИНС и СТЗ, входящих в состав ПНГК. Приращения координат и высот между точкой остановки ПНГК и определяемым пунктом СГС получают с помощью УПК.

ПНГК после завершения работы на НПМ перемещается по заданному маршруту. С помощью геодезического спутникового приемника, работающего в кинематическом режиме, осуществляется непрерывное определение координат и высот. БИНС комплекса также непрерывно вырабатывает навигационные данные, которые синхронизируются с данными получаемыми СТЗ.

На определяемых точках ПНГК останавливают примерно на одну минуту для записи в память вычислительного устройства измерительной информации о местоположении, полученной спутниковым приемником и БИНС. В спецвычислителе (СВУ), где реализовано специальное программное обеспечение, поступившая от БИНС и спутникового приемника измерительная информация анализируется и сохраняется. Далее вырабатываются сигналы оператору для принятия решения о дальнейших действиях.

После завершения маршрута производится обработка накопленной информации от всех измерительных систем, входящих в состав ПНГК, по результатам обработки вычисляют окончательные значения координат и высот определяемых точек и оценивают точность полученных результатов.

На маршруте при проведении измерений движение происходит с остановками для коррекции инерциальной системы по нулевой скорости. На точках остановки (точка коррекции) в СВУ в специальный файл записываются значения координат и высоты. Полученные значения координат и высот точек остановки маршрута являются предварительными значениями, полученными в реальном масштабе времени.

Азимуты контрольных ориентирных направлений, которые обычно располагаются на маршрутах через каждые 10–15 км, определяют относительным методом космической геодезии. По окончании программы относительных спутниковых определений (по этим данным вычисляются геодезический азимут (дирекционный угол) направления вспомогательная точка (ВТ) – антенна ПНГК и координаты ВТ), не меняя положения штатива над центром ВТ, устанавливают на него вместо антенны спутникового приемника дальномерно-угломерное устройство (ДУУ), которым измеряют горизонтальные и вертикальные углы между направлениями на антенну ПНГК и выбранные в качестве ориентирных пунктов (ОРП) объекты местности. В итоге вычисляются требуемые азимуты выбранных направлений. Одновременно измеряют ДУУ расстояния до обоих ОРП, что позволяет вычислить координаты и высоты этих ОРП. В последующем эти ОРП, являющиеся по существу геодезическими точками, могут использоваться в качестве исходных для геодезической привязки или контроля геодезической привязки

При расположении в лесном массиве, а также в случае недоступности спутниковых сигналов, азимуты контрольных ориентирных направлений определяются гироскопическим методом с помощью ЛГК, входящего в состав УПК. С помощью ДУУ определяются методом линейно-угловых засечек с точек остановки ПНГК на маршруте координаты и высоты дополнительных точек местности, видимых с маршрута. С помощью УПК ведется топогеодезическая разведка местности, осуществляется оперативное исправление топографических карт, выполняется контроль точности привязки, осуществляются промеры на местности, оперативно создаются контрольные линейные базисы для калибровки путеизмерительных систем топопривязчиков, определяются координаты и высоты недоступных объектов.

В случае оснащения комплекса радиоприемной и радиопередающей аппаратурой для создания (в радиусе до 25 км) устойчивого радио-навигационного поля появляется возможность передавать дифференциальные поправки, что должно обеспечить точность порядка 1–2 м.

Базовая станция ПНГК с включенными в её состав средствами передачи дифференциальных поправок и геодезический спутниковый приемник реализует функции контрольно-корректирующей станции (ККС).

При работе комплекса в реальном времени производится накопление спутниковых данных, инерциальной информации о движении на маршруте, информации с одометра и данных, полученных системой технического зрения.

Наличие инерциальной информации о маршруте и информации об известной конечной точке (или известных точках, полученных после обработки спутниковых измерений) позволяет при последующей обработке проводить дополнительное уточнение как контрольных точек маршрута, так и всего маршрута движения.

Постобработка маршрута включает следующие этапы обработки собранных на трассе данных:

а) обработка накопленных спутниковых данных. Получение инерциальных данных, откорректированных по уточненным спутниковым данным;

б) формирование файла интервалов начальных, конечных и точек остановок маршрута;

с) постобработка инерциальных данных с остановками для восстановления точного маршрута в интервалах между остановками;

д) уточнение всех точек маршрута по известной начальной и конечной точке (окончательное уравнивание);

е) восстановление уточненного инерциального маршрута с коррекцией от одометрических данных;

ж) коррекция уточненного маршрута одометрических данных по конечной точке;

2 2018.indd 144 04.07.2018 14:26:07

з) совместная обработка уточненной траектории по остановкам и уточненной траектории по одометрическим данным.

Рассмотрим более подробно приведенные этапы обработки.

а) На маршруте ПНГК осуществляется запись в файл сырых данных от всех измерительных систем, работающих во время движения, и файла сырых данных от базовой станции. Совместная обработка файлов измерений СГА позволяет повысить точность траектории маршрута.

Полученные данные позволяют выявить участки маршрута, при которых отсутствовала спутниковая коррекция, и которые требуют уточнения.

Для восстановления участков маршрута, в которых происходило временное пропадание информации, производится расчет корректированных инерциальных данных с использованием уточненных спутниковых данных.

б) При отсутствии спутниковых данных, постобработка инерциальных данных осуществляется от начальной точки до конечная точки маршрута.

в) При движении с остановками на интервале движения происходит накопление ошибки, на остановке происходит ее списание. Благодаря знанию накопленной ошибки на остановках, имеется возможность в режиме постобработки расчета корректирующих поправок и списания накопленных ошибок на интервалах движения. Расчет поправок осуществляется с использованием фильтра Калмана [5].

г) Файл инерциальных данных обрабатывается с учетом рассчитанных корректирующих поправок на интервалах движения.

д) При коррекциях на остановках компенсация накопленных ошибок осуществляется не полностью. По мере работы комплекса в автономном режиме эта остаточная малая ошибка накапливается. Координаты конечной точки позволяют рассчитать корректирующие поправки (скорректировать ошибки выставки) для списания остаточной ошибки (окончательное уравнивание).

Накопление ошибки обычно происходит пропорционально времени работы комплекса, на основании чего рассчитываются корректирующие траекторию поправки, вычисляется уточненная траектория.

е) Уточненные инерциальные данные используются для расчета траектории комплекса с использованием записанных данных от одометра.

Данные от одометра пересчитываются с учетом информации от БИНС о положении плоскости горизонта и азимута, учета наклона дороги и определения перемещения по широте и долготе.

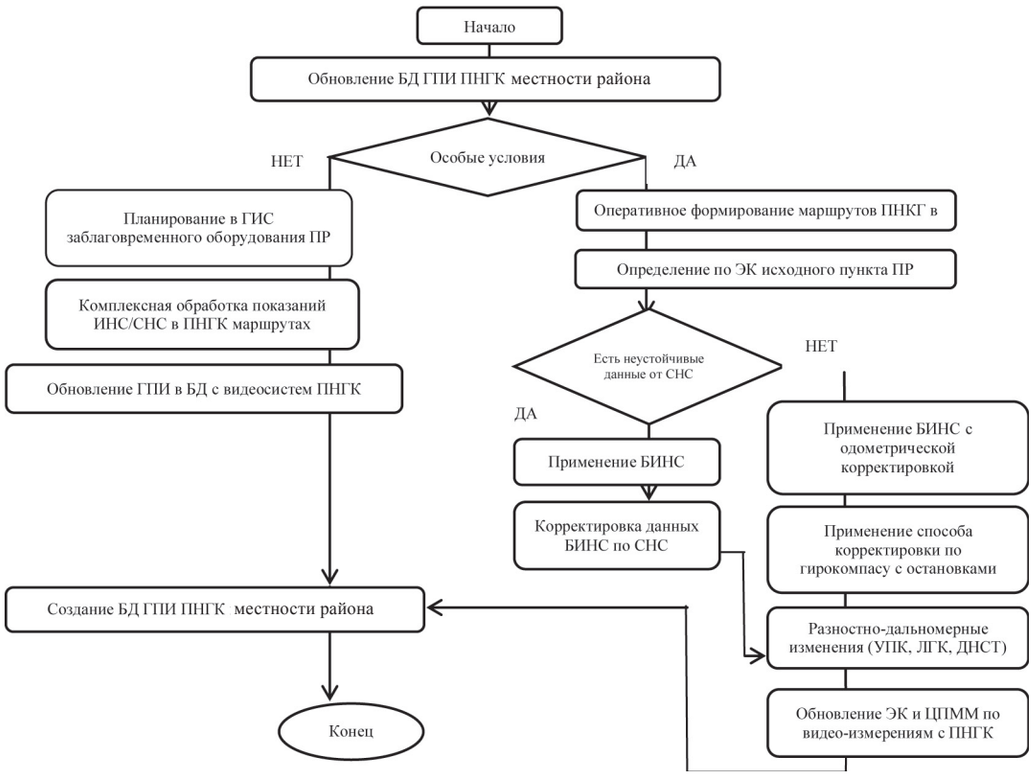

Рис. 1. Геоинформационная методика оперативной подготовки районов местности ПНГК

2 2018.indd 145 04.07.2018 14:26:07

Вводятся поправки на боковой увод задних колес и наличие вращения транспортного средства вокруг вертикальной оси, скольжение, разворот БИНС относительно продольной оси транспортного средства и другие поправки, определенные в результате тестовых заездов.

По результатам расчета формируется файл расчетной траектории с использованием одометрических данных.

ж) Накопление остаточных ошибок при расчете с использованием одометрических данных происходит пропорционально длине пройденного маршрута.

Такое поведение одометрических ошибок позволяет рассчитать корректирующие поправки на основании накопленных в конечной точке остаточных ошибок.

После чего производится расчет файла уточненной траектории.

з) Поскольку физические принципы и характер ошибок возникающих при работе по остановкам и по одометрическим данным имеют разные модели ошибок, это позволяет провести в постобработке дополнительное уточнение траектории, используя совместную обработку файла уточненной траектории по остановкам и уточненной траектории по одометрическим данным.

При совместной обработке файлов выявляются места на траектории, вызванные проскальзыванием одометра, возрастанием ошибок на разворотах, а также исключаются места неравномерного нарастания ошибок системы на отдельных интервалах движения.

На основе выполненного исследования и обобщения методов и способов определения координат, при оперативном создании исходной геодезической основы и геодезической привязке предлагается следующая комплексная геоинформационная методика (рис. 1) [6], которая включает в себя применения всех измерительных систем ПНГК для решении широкого спектра задач, позволяющая получать необходимые данные в режиме времени близкому к реальному. Основу разработанной методики составляет автономный инерциальный метод непрерывного определения координат и высот, практически не зависящий от условий местности, характера погоды, времени суток и радиоэлектронного противодействия противника.

Предложенная методика включает в себя разработанные эффективные способы комплексной обработки измерительной информации, поступающей от всех средств измерения входящих в состав комплекса, позволяющие отработать новые технологические решения, обеспечивающие повышение точности и оперативности геодезической привязки и подготовку необходимой территории в топогеодезическом отношении.

Таким образом, предложена комплексная геоинформационная методика применения ПНГК, где на основе анализа погрешностей, влияющих на точностные характеристики БИНС, СГА, ДУУ, ЛГК и СТЗ, разработаны алгоритмы комплексной обработки измерительной информации, позволяющие в режиме времени, близком к реальному определять плановые координаты и высоты точек местности как при движении транспортного средства, так и на его остановках с среднеквадратической погрешностью не хуже 1 м в плане и по высоте, а также азимуты ориентирных направлений с СКП не хуже 1 угл. мин. за время не более 10 минут.

Эффективность данной методики была подтверждена в ходе полевых испытаний комплекса, проводившихся на эталонной трассе.

Литература

1. Соловьев, Ю. А. Спутниковая навигация и ее приложения / Ю.А. Соловьев. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 326 с.

2. Черепанов, Ю. А. Об ошибке, вызванной «уходом» гироскопа топопривязчика / Ю.А. Черепанов, Г.М. Барановский // Геодезия и картография. – 1980. – № 8. – С. 31–33.

3. Несенюк, Л. П. Бесплатформенные инерциальные системы. Обзор состояния и перспективы развития / Л.П. Несенюк // Гироскопия и навигация. – 2002. – № 1. – С. 13–22.

4. Колесников, Ю. П. Концепция создания геопространственных систем видеосвязи на базе новых возможностей мультисервисных сетей обмена информацией / Ю.П. Колесников, М.Ю. Аванесов // Информация и Космос. – 2007. – № 4. – С. 56–60.

5. Степанов, О. А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 2. Введение в теорию фильтрации / О.А. Степанов. – СПб.: ГНЦ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2012. – 417 с.

6. Присяжнюк, С. П. Актуальные проблемы геоинформационных систем в инфотелекоммуникациях / С.П. Присяжнюк, М.Ю. Аванесов, А.С. Присяжнюк // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция (Санкт-Петербург, 1–2 марта 2017 г.) ; сб. науч. ст. в 4 т. Т. 1 / под ред. С.В. Бачевского ; сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич. – СПб.: СПбГУТ, 2017. – С. 4–8.

2 2018.indd 146 04.07.2018 14:26:08