

JUSTIN — ПРОГРАММА ДЛЯ ПОСТОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ JAVAD GNSS

Джавад Ашджаи (JAVAD GNSS)

В 1976 г. получил степень магистра математики и электронной инженерии, затем — степень доктора в электронной инженерии в университете штата Айова (США). Работал в компании Trimble. В 1987 г. основал компанию Ashtech, в 1998 г. — компанию Javad Positioning Systems. С 2005 г. по настоящее время — президент компании JAVAD GNSS.

А.И. Разумовский (JAVAD GNSS)

В 1978 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астроном-геодезист», а в 1988 г. — факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «прикладная математика». После окончания МИИГАиК работал в ФГУП «ЦНИИГАиК», с 1994 г. — в компании Ashtech, с 1996 г. — в Институте точной механики и вычислительной техники им. С.В. Лебедева РАН. С 2005 г. работает в компании JAVAD GNSS, в настоящее время — руководитель группы постобработки ГНСС измерений и ГИС. Кандидат технических наук.

Л.Б. Рапопорт (JAVAD GNSS)

В 1976 г. окончил радиотехнический факультет Уральского политехнического института (Екатеринбург). С 1994 г. работал в компаниях Ashtech, JPS, JNS. С 2005 г. работает в компании JAVAD GNSS, в настоящее время — руководитель группы «RTK и управление машинами». С 2003 г. — заведующий лабораторией «Динамика нелинейных процессов управления» ИПУ РАН. Доктор физико-математических наук.

В.Г. Удинцев (JAVAD GNSS)

В 1982 г. окончил отделение геофизики геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «геофизические методы поиска и разведки полезных ископаемых». Работал в ФГУП «ВНИИГеофизика», Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта. В настоящее время — ведущий программист в компании JAVAD GNSS.

Ф.С. Бахарев (JAVAD GNSS)

В 2009 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «прикладная информатика в геодезии». После окончания университета работал ассистентом на кафедре «Геодезия» МИИГАиК. В настоящее время — ГИС-программист в компании JAVAD GNSS.

Компания JAVAD GNSS всегда стремилась подтверждать свое лидерство в области ГНСС-технологий. Результатом этого стало появление целого ряда новых спутниковых приемников серии TRIUMPH, которые обрабатывают сигналы не только существующих в настоящее время глобальных навигационных спутниковых систем — GPS, ГЛОНАСС, WAAS, EGNOS, но и тех, которые еще только разворачиваются — Galileo, QZSS, Compass/Beidou.

Для полноценной реализации преимуществ спутниковых приемников серии TRIUMPH необходимо было разработать соответствующее программное обеспечение. Практически весь спектр задач поддержки аппаратных средств покрывает универсальная программа Justin, а ее отдельные модули являются составной частью многих других программных разработок компании.

Основное назначение программы Justin состоит в обеспе-

чении задач классической геодезии, топографических и аэросъемочных работ, мониторинга деформаций, обработке траекторий, в том числе, быстро движущихся объектов с частотой записи данных до 100 Гц. Пользователи работают с программой уже более трех лет. За эти годы со всех континентов, даже из Антарктиды, было получено множество отзывов и предложений по улучшению программы, что в результате по-

ложительно отразилось на качестве разработки, во многом определило ее настоящий вид.

Программа Justin применяется при геодезическом обеспечении строительства моста на остров Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке, при изучении динамики берегов на подводных переходах магистральных трубопроводов ОАО «Газпром» и ОАО «Транснефть», при топографо-геодезических работах во многих трестах инженерно-строительных изысканий и в муниципальных образованиях. Многоязычный интерфейс программы — русский, английский, испанский, португальский, турецкий, венгерский и др. — позволяет с легкостью использовать Justin во многих странах. Среди ее пользователей — кадастровые инженеры, землеустроители, маркшейдеры, строители, геодезисты всего мира.

Отличительной особенностью Justin является ГИС-интерфейс, напоминающий такие известные геоинформационные системы, как MapInfo или

ArcGIS. Именно благодаря этому интерфейсу можно легко и быстро самостоятельно освоить программу и начать обрабатывать данные ГНСС. Пользователю не навязывается новая «революционная» технология обработки и интерпретации ГНСС-данных, а наоборот, предлагается набор решений, основанный на стандартизованном подходе ГИС, за которым скрыты математические алгоритмы и программные решения, отвечающие современному состоянию ГНСС и технических средств.

Картографическое окно программы позволяет сфокусироваться на находящихся в проекте данных и, таким образом, предоставляет прямой доступ к функционалу каждого объекта карты — точкам, векторам, траекториям. Картографическая основа состоит из слоев, в числе которых есть как обязательные программные слои, отвечающие за основной функционал программы, так и дополнительные, вспомогательные слои, представляющие собой векторные и растровые карты в

форматах SHAPE, TAB, KML, MAP, GEOTIFF. К слоям могут быть применены традиционные методы работы, реализованные в геоинформационных системах, и групповые методы обработки ГНСС-данных: вычисление векторов, уравнивание, определение координат, построение вертикального профиля, различных графиков.

На графике вертикального профиля легко визуально выделить эпохи измерений, которые следует исключить из постобработки (рис. 1). В качестве критерия отбора данных можно использовать не только вычисленные на эпоху высоты, но и другие параметры: PDOP, количество спутников.

Важно подчеркнуть, что Justin позволяет применять не только обычные числовые критерии отбора данных, но и отбор на основе географических инструментов: выбор в прямоугольнике, с помощью указателя и т. п. Эти же инструменты можно использовать для изменений типов объектов, причем как одиночных, так и групп. То есть, статические данные преобразовать в кинематические, из кинематических объектов выделить «стоповые» (полученные в режиме «Стоя-Иди» — *прим. ред.*), а «стоповые» перевести в статические. Данные можно разделять на части, объединять, прореживать и копировать.

Дополнительные возможности улучшения точности и достоверности обработки ГНСС-данных открываются при их комбинировании с методами ГИС. Выбор на карте по «облаку навигационных решений» с помощью запросов с географическими условиями выделяет сомнительные эпохи. Использование механизма подписей объектов позволяет интерактивно отслеживать качество результатов постобработки и уравнивания. Динамическое изменение цвета траекторий в

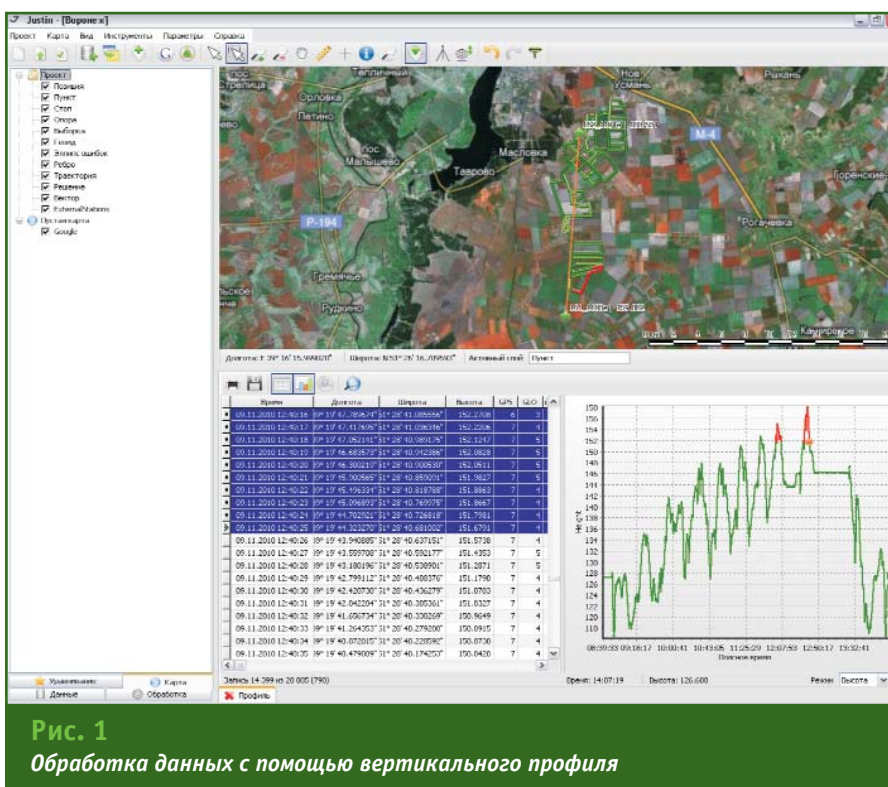


Рис. 1
Обработка данных с помощью вертикального профиля

зависимости от численных характеристик наглядно отражает точность решений на отдельных участках в кинематической постобработке.

Рассмотрим более подробно основные модули программы.

▼ Импорт

Прежде всего, конечно, импортируются файлы исходных данных ГНСС-измерений, среди которых файлы формата JPS, RINEX (2.0-2.12), Hatanaka, различные форматы компрессированных файлов, файлы точных эфемерид sp3b/c, Ashtech Optimized Messaging (ATOM), SNAP-файлы, RTCM 3.0. Отметим возможность импорта папки с данными. В этом случае программа сама выбирает из указанной папки и всех ее подпапок данные, описанного выше типа, а также проверяет их на дублирование. Этот приоритетный способ импорта позволяет сразу сформировать правильную конфигурацию построений. В Justin реализована поддержка топологии карты на основе «геометрической толерантности», которую в свойствах проекта устанавливает пользователь, исходя из требований выполняемой работы, например плотности местоположения съемочных точек. В программе не используется группировка сеансов статических наблюдений (оккупаций) на основе совпадения имен, а только позиция. Для приемников, работающих в режиме RTK, позиция соответствует координатам приемника. Подобный подход позволяет не только однозначно формализовать критерий соответствия файлов ГНСС-данных и точек их сбора (оккупаций), но также выполнять точные линейные измерения и выбор объектов на электронной карте (snapping).

Импорт данных не ограничивается только импортом файлов с компьютера. Программа может быть установлена в память

спутникового приемника напрямую, используя COM/USB-порты, или удаленно по протоколу TCP/IP, через Интернет и GSM. Реализована возможность ввода данных в проект из ресурсов Интернет.

Программа Justin недавно пополнилась приложением Justin Link, которое предоставляет возможность импорта данных с нового приемника TRIUMPH-VS, так же как и импорт JOB-файлов, созданных в программе для полевых измерений Tracy (JAVAD GNSS).

▼ Постобработка

Модули постобработки статических и кинематических данных измерений наиболее полно используют всю информацию, которая доступна с помощью приемников компании JAVAD GNSS. Максимальная длина вектора, для которого могут быть получены надежные решения по суточному циклу измерений, составляет 600 км. Алгоритмы обработки используют как двойные, так и одинарные разности измерений фазовых и кодовых дальностей. Во многих случаях достоверные фиксированные решения достигаются уже по одной эпохе наблюдений.

Обработка выполняется как в пакетном варианте, так и отдельными векторами, вручную (рис. 2). С помощью графического интерфейса пользователь имеет возможность отключать

отдельные спутники, исключать произвольные интервалы наблюдений, устанавливать один из шести режимов обработки, выбирать оптимальную тропосферную модель.

Еще большее количество настроек имеет модуль обработки в режиме кинематики.

Помимо классической модели обработки данных Justin позволяет обрабатывать RTCM 3.0 сообщения в режиме реального времени, используя специальный алгоритм вычислений. Таким образом, в режиме реального времени можно накапливать данные и определять координаты с точностью, превышающей традиционный метод RTK, который, по сути, представляет собой однопольную процедуру. Этот режим особенно целесообразно использовать при геодезическом обеспечении строительства, при мониторинге деформаций инженерных сооружений и т. п.

▼ Уравнивание

В программе может быть проведено уравнивание геодезических построений и траекторий. Целью уравнивания является не только получение координат определяемых пунктов, но и оценка точности постобработки. Поэтому первоначально предлагается выполнить уравнивание свободной сети, чтобы определить недостоверные или грубые решения. Установлен-

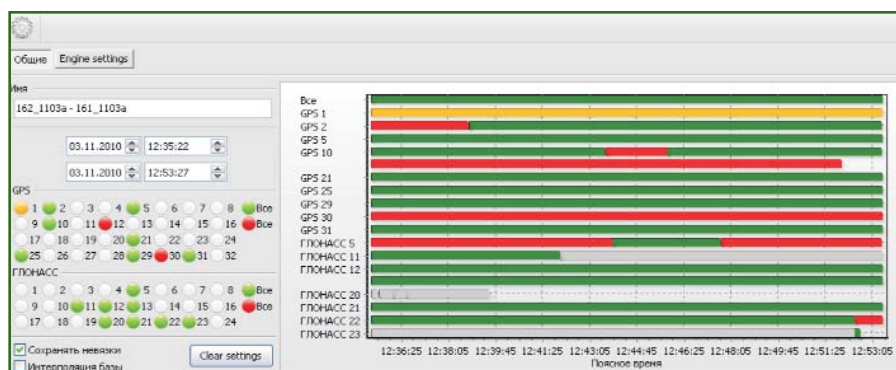


Рис. 2

Обработка вектора в ручном режиме

Время	Событие	IS/J	Долгота	Широта	Высота	DX	DY	DZ	Азимут	OK
03:39:20.802	RUZA	●	8° 38' 26.248335"	35° 39' 44.517791"	1429.4318	-90.280	-0.380	0.109	-90.241	0.1
03:39:29.869	RUZA	●	8° 37' 43.610758"	35° 39' 44.437465"	1429.7435	-90.105	-0.238	-0.025	-90.151	0.1
03:39:36.997	RUZA	●	8° 37' 02.770508"	35° 39' 44.384297"	1429.5308	-90.067	-0.219	0.000	-90.129	0.1
03:39:44.860	RUZA	●	8° 36' 22.262858"	35° 39' 44.326124"	1429.3088	-90.104	-0.236	-0.043	-90.150	0.1
03:39:53.010	RUZA	●	8° 35' 40.209951"	35° 39' 44.264383"	1428.8006	-90.100	-0.240	-0.082	-90.152	0.1
03:40:00.892	RUZA	●	8° 34' 59.663189"	35° 39' 44.199052"	1427.9516	-90.158	-0.189	-0.132	-90.120	0.1
03:40:08.803	RUZA	●	8° 34' 18.676819"	35° 39' 44.191145"	1427.3337	-90.057	0.101	-0.040	-89.936	0.1
03:40:16.970	RUZA	●	8° 33' 36.759879"	35° 39' 44.242059"	1427.2442	-89.905	0.299	0.000	-89.889	0.1
03:40:24.539	RUZA	●	8° 32' 57.906392"	35° 39' 44.342538"	1426.9004	-89.827	0.530	-0.050	-89.657	0.1
03:40:32.805	RUZA	●	8° 32' 15.039007"	35° 39' 44.525156"	1426.1475	-89.708	0.808	-0.064	-89.485	0.1
03:40:40.994	RUZA	●	8° 31' 33.444831"	35° 39' 44.786191"	1427.2566	-89.545	1.187	0.298	-89.241	0.1
03:40:48.986	RUZA	●	8° 30' 52.591897"	35° 39' 45.154816"	1429.1626	-89.291	1.637	-0.006	-88.949	0.1
03:40:56.820	RUZA	●	8° 30' 12.590687"	35° 39' 45.541707"	1428.4051	-89.288	1.414	-0.097	-88.993	0.1
03:41:05.319	RUZA	●	8° 29' 29.189220"	35° 39' 45.922302"	1427.4662	-89.281	1.728	-0.017	-88.891	0.1
03:41:13.224	RUZA	●	8° 28' 48.848108"	35° 39' 46.451397"	1427.4419	-89.171	2.037	0.021	-88.691	0.1
03:41:21.379	RUZA	●	8° 28' 07.309676"	35° 39' 47.008420"	1428.0734	-88.960	1.857	0.017	-88.604	0.1
03:41:29.302	RUZA	●	8° 27' 27.015880"	35° 39' 47.433946"	1426.5344	-88.948	1.638	-0.253	-88.945	0.1
03:41:37.430	RUZA	●	8° 26' 45.645561"	35° 39' 47.735898"	1425.4885	-88.840	0.708	-0.145	-88.543	0.1

Рис. 3

Вычисление координат центров проекций аэроснимков

ные таким путем решения исключают из последующей обработки. Для определения недостоверных решений можно выбрать как автоматический, так и ручной режим удаления или понижения веса решения. Свободная сеть уравнивается параметрическим способом с псевдообращением матрицы нормальных уравнений, что позволяет строго вычислять эллипсы ошибок пунктов сети. Помимо уравнивания в геоцентрической системе координат, есть возможность выбрать двухмерный или трехмерный режим. Это помогает разделить вертикальную и горизонтальную компоненты ошибок.

Конечным этапом вычисления координат является уравнивание с использованием опорных точек. Если их погрешности не заданы, то возможен единственный вариант. Но если погрешности опорных точек заданы, то можно их использовать для более достоверной оценки погрешностей определяемых пунктов или для совместного уравнивания решений и опорных точек. Предлагается вариант уравнивания с одновременной трансформацией сети.

Чтобы завершить обзор возможностей модуля уравнивания, отметим, что с его помощью на обычном персональном компьютере была выполнена обработка реальной геодезической сети штата Калифорния

(США), состоящей из более 3000 пунктов.

▼ Обработчик событий

Этот модуль предназначен для вычисления координат по временным меткам. Большинство современных геодезических спутниковых приемников позволяют аппаратным образом добавлять в файл спутниковых данных записи о моментах появления на специальном разъеме электрических импульсов. Такие импульсы поступают, например, с аэрофото съемочной камеры или схожей аппаратуры при срабатывании затвора объектива.

Записи о событиях при импорте файла в формате JPS сразу сохраняются в базе данных. Если же временные метки были зафиксированы приемником других производителей, то в программе предусмотрена возможность импорта текстовых файлов форматов DAT (Ashtech photo file) и EV (ASCOT).

Обработчик событий содержит инструменты ведения базы данных об аэрофотоаппаратах, включая параметры объектива, редукции центра проекции камеры относительно спутниковой антенны и т. п. Для интерполирования координат на произвольные моменты времени используется кубический сплайн (рис. 3). Координаты интерполируются по вычисленному, уравненному или навигационному решениям.

▼ Дополнительные возможности

Общая функциональность программы обеспечивается такими важными модулями, как географический калькулятор, который поддерживает пакетную обработку текстовых файлов координат, калькуляторы датума, локального геоида и локализации. Отдельного внимания заслуживает механизм администрирования базы данных опорных точек, который получил признание у многих пользователей. Модуль координатной привязки растров позволяет сохранять результаты в форматах MapInfo и OziExplorer.

Программа Justin дает возможность создавать мозаики снимков земной поверхности с использованием глобальной модели рельефа Земли и координат центров проекций снимков. Непосредственно к картографическому окну программы можно подключить приложение для работы с трехмерной моделью Земли Google Earth или экспортировать в Google Earth картографические слои проекта Justin. Justin позволяет выполнять экспорт данных в такие форматы, как DXF (AutoCAD), SHAPE (ESRI) и TAB (MapInfo). Функционал программы может быть расширен за счет добавления модуля Link, предназначенного для обмена данными с новым геодезическим комплексом TRI-UMPH-VS и полевой программой Trasy.

RESUME

There is given a description of the Justin program developed at the JAVAD GNSS company for both post-processing the GNSS data and administer the materials of field surveys. This program allows to process static and kinematic data, make equalization, import/ export data in various formats and to create reports as well.