

SAPOS — ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЛУЖБА СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ГЕРМАНИИ*

Манфред Бауэр (Специальное высшее учебное заведение Гамбурга — Fachhochschule Hamburg, Германия)

В 1968 г. окончил сельскохозяйственный факультет Университета г. Бонн по специальности «уравнительные вычисления», в 1971 г. получил ученую степень «профессор». В 1972–1978 гг. работал в Федеральном управлении водного транспорта Германии, в 1978–1980 гг. — на геодезическом факультете специального высшего учебного заведения Гамбурга, в 1981–1982 — в Управление порта (Саудовская Аравия). С 1983 г. по настоящее время работает на геодезическом факультете (геоматика) специального высшего учебного заведения Гамбурга.

SAPOS является геодезической службой спутникового позиционирования Германии, которая занимается подготовкой данных DGPS. Подобные службы имеются и в других европейских странах, однако методы и результаты их деятельности различны и не всегда совместимы. Поэтому представители шестнадцати стран центральной и восточной Европы, в том числе и России, учредили EUPOS Steering Committee для размещения на территориях заинтересованных стран SAPOS-совместимых базовых станций [1, 2].

Как известно, для решения задач классической геодезии (требуемая точность менее 1 м) ГЛОНАСС и GPS можно использовать только в дифференциальном режиме (Differentielles GNSS — DGNSS).

Потенциал DGPS для множества задач определения местоположения в Германии первыми осознали в Обществе позиционирования и навигации (DGON). В предисловии к материалам конференции DGON «(Near) Realtime Differential GPS-Anwendungen», проходившей в ноябре 1990 г. в Гамбурге, W. Leichner сообщает [3]: «По окончании мероприятия разго-

релась жаркая дискуссия. Стало ясно, что GPS в дифференциальном режиме, в режиме реального времени и в сочетании с другими устройствами как гибридная или интегрированная система позволяет решать с необходимой точностью практически любые задачи позиционирования и навигации. Однако, для начала, следует ввести экспериментальные базовые станции DGPS в целях апробации системы и методов. Это является необходимым условием со стороны потенциальных пользователей».

В октябре 1992 г., на семинаре DGON в Потсдаме W. Augath сделал доклад на тему «Планы построения геодезической сети базовых станций DGPS в северной Германии» [4]. Эти планы поддержало космическое агентство Германии в исследовательском проекте «Точное позиционирование в режиме near-online при проведении государственных геодезических работ с помощью сети непрерывно работающих GPS-приемников». Концепции, разработанные в этом проекте, оказали существенное влияние на SAPOS.

Для понимания дальнейшего развития ситуации необходимо привести некоторые сведения

об организации официальных геодезических работ в Германии. К таким работам относятся: ведение кадастра недвижимости и топографическая съемка. Проведение этих работ по закону Федеративной республики Германии находится в компетенции шестнадцати федеральных земель. Каждая земля устанавливает собственные правила проведения официальных геодезических работ. Самостоятельность федеральных земель в этом вопросе таит опасность, что государственная геодезия развивается разрозненно. Избежать этого — задача Объединения геодезических служб федеральных земель (AdV). AdV состоит из 19 членов: 16-ти федеральных земель, подчиняющихся Министерству внутренних дел, федерального ведомства картографии и геодезии, федерального Министерства транспорта, строительства и жилья и федерального Министерства обороны. AdV разрабатывает технические вопросы принципиального и трансрегионального значения, однако его решения носят исключительно рекомендательный характер.

Проект создания сети базовых DGPS-станций, озвученный

* Перевод статьи выполнен Е.Б. Рыбаковой.

в 1992 г. в Потсдаме W. Augath, относился к северным территориям Германии, а именно землям: Нижняя Саксония, Мекленбург-Форпоммен и Гамбург. Рабочая группа NORD-NAV, состоящая из представителей от этих земель, координировала текущие работы.

Другие федеральные земли с большим интересом наблюдали за деятельностью NORD-NAV. В октябре 1994 г. AdV ввело экспертную группу по базовым GPS-станциям [5]. Установка таких станций по всей территории Германии стала первостепенной задачей. На тот момент во всех федеральных землях GPS использовались для обновления и сгущения плановых опорных сетей. С введением экспертной группы открылись новые возможности использования системы как в геодезии, так и в других областях. В связи с этим, AdV приняло решение скоординировать трансфедеральные интересы и установить единые стандарты.

Экспертной группой AdV было решено создать геодезическую службу DGPS в качестве коллективного проекта AdV и дать этой службе название «SAPOS — геодезическая служ-

ба спутникового позиционирования Германии». В мае 1996 г. AdV утвердило это предложение.

▼ Основные задачи SAPOS

В январе 1998 г. экспертная группа AdV представила доклад, в котором задачи SAPOS были сформулированы следующим образом [6]:

«... с высокой эффективностью и в адекватной с технической точки зрения форме подготовить единую, однородную систему отсчета для всех задач геодезии и кадастра, соответствующую требованиям широкого круга пользователей. Это является частью государственного заказа геодезической службе».

На рис. 1 представлена концепция SAPOS и соответствующие целевые группы пользователей. Основной упор сделан на то, что данные DGPS должны быть доступны широкому кругу пользователей. Отсюда понятие — мультифункциональная базовая станция. Дифференциальные поправки должны быть доступны с помощью различных устройств связи, а методы передачи данных также должны быть различны, в зависимости от их назначения.

На рис. 1 не отражена суще-

ственная часть концепции SAPOS, которая заключается в том, что базовая станция SAPOS является не отдельной станцией, а сетью взаимоконтролируемых базовых станций.

▼ Сервисы SAPOS

Каждая целевая группа пользователей предъявляет собственные требования к службе DGPS. По этому принципу были организованы сервисные группы, для которых действует следующее условие: SAPOS предоставляет только рекомендации, с помощью которых можно добиться заявленной точности; точность же достигается пользователем с помощью собственного аппаратного и программного обеспечения.

Рассмотрим сервисные группы более подробно.

Сервис позиционирования в режиме реального времени (EPS)

EPS позволяет определять координаты объекта в режиме реального времени с точностью 1–3 м. Передача данных осуществляется следующими способами:

— по общедоступному радиоканалу в УКВ-диапазоне — незвуковое сообщение на поднесущей частоте УКВ-диапазона RDS (Radio Data System). Служба называется RASANT (Radio Aided Satellite Navigation Technique) [7];

— с использованием Telekom AG Германии на длинных волнах. Служба называется ALF (Accurate Positioning by Low Frequency) [8];

— с помощью специальной радиостанции государственной геодезической службы в двухметровом диапазоне частот.

RASANT и ALF доступны на всей территории Германии, а служба двухметрового диапазона только в определенных областях.

В качестве формата данных DGPS используется принятый во всем мире стандарт RTCM



Рис. 1
Основной принцип действия базовой станции SAPOS

SC-104 (US-Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee No. 104).

Пользователю SAPOS EPS требуется помимо обычного навигационного GPS-приемника либо стандартный RDS-приемник УКВ, либо приемник ДВ, либо приемник с двухметровым диапазоном частот, причем в каждом случае с декодером.

Сервис высокоточного позиционирования в режиме реального времени (HEPS)

HEPS позволяет определять координаты объекта в режиме реального времени с точностью 1–3 см. Эта точность достигается за счет моделирования и учета ошибок, зависящих от дальностей, с помощью сети базовых станций SAPOS.

Данные HEPS можно получить по каналу сотовой связи (стандарт GSM). Некоторые геодезические службы транслируют их дополнительно, через собственные радиостанции двухметрового диапазона. Данные передаются в формате RTCM SC-104 ежесекундно.

Пользователю SAPOS HEPS требуется геодезический двухчастотный GPS-приемник с программным обеспечением RTK и канал сотовой связи или приемник двухметрового диапазона с декодером.

Сервис точного геодезического позиционирования (GPPS)

GPPS позиционируется как поставщик данных для постобработки с точностью 1 см.

Базовая станция регистрирует текущие сигналы всех види-

мых GPS-спутников и сохраняет их в формате RINEX. Данные можно получить по телефону и сохранить на носителе. Используя метод виртуальной базовой станции (VRS), можно существенно снизить себестоимость GPS-измерений.

Например, при выполнении небольшого объема работ по разбивке можно поступить следующим образом. Привязка к системе координат осуществляется по 3–4 GPS-пунктам. Собственно разбивка выполняется с помощью электронного тахеометра. Пользователь выполняет измерения на пункте в течение 15 мин, используя недорогой одночастотный приемник. После окончания GPS-наблюдений по каналу GSM он запрашивает данные VRS на период измерений. Получив их, он за несколько минут рассчитывает на ноутбуке координаты точек привязки в системе ETRS. Затем можно приступить непосредственно к разбивке.

GPPS можно использовать не только в режиме «near-real-time» (почти реальное время), но и с существенным опозданием. В последнем случае также выгодно использовать VRS. GPPS применяют для определения опорных точек для кадастровой съемки и инженерных изысканий. Этот сервис также используют при аэрофотосъемке, так как требуемая дециметровая точность в настоящее время достигается только при постобработке.

Сервис высокоточного геодезического позиционирования (GHPS)

GHPS позиционируется как поставщик данных для постобработки с точностью менее 1 см.

Как известно, при длительных измерениях (больше 1 ч) можно добиться миллиметровой и выше точности. В этом случае целесообразно использовать точные эфемериды GPS-сервиса (IGS).

Данные DGPS в формате RINEX можно получить через Интернет или по каналам сотовой связи, а также используя обычные носители данных.

Областями применения GHPS являются специальные задачи высшей геодезии, государственные системы координат, научные и геодинамические исследования, а также наблюдения за береговыми процессами, уровнем воды.

Тарифы сервисов SAPOS

В таблице представлены тарифы на использование сервисов SAPOS.

▼ Сервис HEPS в деталях

Для решения инженерно-геодезических задач в расчет принимаются сервисы SAPOS HEPS, GPPS и GHPS. Сервис HEPS позволяет получить координаты сантиметровой точности в режиме реального времени за 2–3 мин. Поэтому он имеет множество областей применения. Рассмотрим этот сервис более подробно.

Базовые станции

Площадь территории Германии составляет 357 000 км². 260 базовых станций службы SAPOS обеспечивают сплошное покры-

Тарифы сервисов SAPOS

Сервис	Периодичность	Единицы	Стоимость
EPS	3–5 с	—	Один раз при покупке
	1 с	1 год	150 евро
HEPS	1 с	1 мин	0,10 евро
GPPS/GHPS	1–60 с	1 мин	0,20 евро
	<1 с	1 мин	0,80 евро
GPPS/GHPS VRS	1–60 с	1 мин	0,40 евро
	<1 с	1 мин	1,60 евро

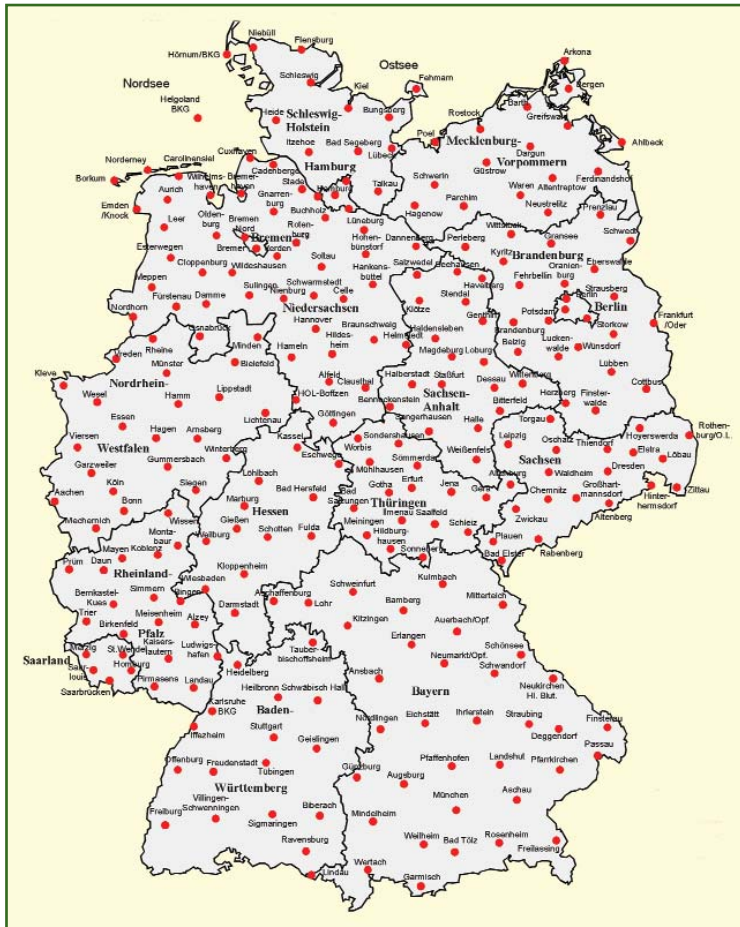


Рис. 2
Расположение базовых станций SAPOS (на январь 2004 г.)

тие этой территории. С математической точки зрения получается, что среднее удаление базовых станций друг от друга составляет 37 км. На рис. 2, демонстрирующем фактическое расположение станций, видно, что плотность базовых станций различна. Расстояние между станциями колеблется от 10 до 50 км.

Установку, эксплуатацию и техническую поддержку станций осуществляет AdV. При этом соблюдаются следующие технические условия:

- **базовый пункт:** координаты в ETRS-89; стабильная установка, исключающая локальные изменения положения (принудительное центрирование с контролем); регулярная проверка устойчивости по контрольным маркам; место установки, исключающее внешние

воздействия (интерференция с «чужим» сигналом, отражения);

- **GPS-приемник:** геодезические двухчастотные приемники, которые могут определять все измеряемые величины GPS на частотах L1 и L2;

- **антенны:** ввод поправок за несовпадения фазовых и геометрических центров антенн; дифференциальные поправки относятся к базовой точке антенны; для обозначения абсолютного соотношения в сообщении RTCM (23) добавляется строка «ADVNULLANTENNA»;

- **функции программного обеспечения станции:** контроль эксплуатационной надежности GPS-приемников; регистрация данных; проверка качества данных; подготовка дифференциальных поправок; конвертирование данных; передача данных на различные носители

в установленных форматах; архивирование данных.

Создание сети базовых станций

Как известно, точность DGPS-данных в большой степени зависит от расстояния между приемниками. Если расстояние между базовой станцией и пользователем HEPS составляет более 10 км, а требуется сантиметровая точность в режиме реального времени, необходимо смоделировать зависимость от расстояния источники ошибок [9, 10]. Для этого базовые станции SAPOS объединены в сеть.

Зная точное положение базовой станции, можно смоделировать основные источники ошибок. Данные измерений базовой станции направляются в режиме реального времени в расчетный центр и там обрабатываются. Таким образом, можно выполнить предварительный расчет ошибки для участка сети. Этот принцип реализуется двумя путями.

В первом случае поверхности поправок (FKP) базируются на плоскостях, для определения которых требуется как минимум три базовые станции. Каждая плоскость определяется наклоном в направлении север-юг и восток-запад. Это — параметры поверхности поправок, которые передаются пользователю HEPS в составе DGPS-данных. По полученным из центра данным с учетом местоположения пользователь определяет дифференциальные поправки и вводит их в свои наблюдения. Этот способ поддерживается на всей территории Германии.

Во втором случае создается виртуальная базовая станция (VRS). На основе идентичных измерений, как и в первом случае, появляется возможность смоделировать наблюдения для любого пункта внутри сети. Пользователь службы по каналу GSM сообщает в расчетный центр свое приблизительное

положение. Из центра в режиме реального времени передаются вычисленные виртуальные наблюдения. В поле в режиме реального времени пользователь обрабатывает данные VRS и собственные измерения. Таким образом, он определяет свое положение с сантиметровой точностью. Этот способ является дополнительным и поддерживается только в некоторых областях.

Для расчета FKP/VRS в режиме реального времени используются программные продукты GNSMART (Geo++; [11]) и GPSNet (Trimble Navigation; [12]). Для постобработки широко используется программный продукт WaSoft/Virtuell [13].

Формат данных, передача данных

Дифференциальные поправки со всех базовых станций поступают незакодированными в RTCM-формат (типы данных 20, 21). Некоторые станции SAPOS дополнительно передают данные в формате RTCM-AdV (закодированы и сжаты) или данные типов 18/19 (не закодированы и не сжаты).

RTCM-AdV является форматом, введенным AdV для передачи данных в двухметровом диапазоне частот. Чтобы преобразовать данные в общепринятый формат RTCM, пользователю потребуется декодер.

Передача данных от всех станций SAPOS осуществляется по каналу GSM. Некоторые станции передают данные дополнительно в двухметровом радиодиапазоне.

▼ Оценка возможностей дальнейшего развития SAPOS

В 1998 г. экспертная группа AdV определила основные цели SAPOS. Возникает закономерный вопрос, достигнуты ли эти цели и действительны ли они в современных условиях.

SAPOS является предприятием, предлагающим услуги наря-

ду с конкурентами. Если говорить о метровой точности, то в Германии помимо SAPOS-EPS используются еще OmniSTAR, LandStar, EGNOS, EuroFix, IALADGNSS, AMDS/dGPS и ascos [14].

Для этих служб снятие 2 мая 2000 г. режима селективного доступа имело огромное значение. По проведенным в Германии эмпирическим исследованиям [15] навигационная точность с этого времени стала равна, примерно, 10 м. Сведения опубликованного системного документа «Global Positioning System — Standard Positioning Service Performance Standard» [16] это подтвердили. С введением модернизированной GPS и европейской GNSS-системы GALILEO точность абсолютного определения местоположения с помощью GNSS будет продолжать расти.

W. Draken, руководитель центрального офиса SAPOS, на III-ем симпозиуме SAPOS сообщил следующее [17]:

«С самого начала основной целью создания SAPOS являлась многофункциональность системы. Однако в реальности мы видим следующую картину: EPS-службы влечат жалкое существование, а сеть HEPS, хотя и переживает настоящий бум в государственной геодезии, в других отраслях промышленности, хозяйства и управления используется недостаточно».

SAPOS в настоящее время — это, в первую очередь, служба для решения геодезических задач. На территории Германии пользователям SAPOS HEPS требуется не более 2–3 мин, чтобы определить собственное положение с сантиметровой точностью. Однако даже на этом сегменте рынка услуг есть конкуренты. Газовый концерн Ruhrgas AG предлагает аналогичные услуги ascos. Ascos отличается от SAPOS кроме прочего тем, что передает и данные ГЛОНАСС.

Рентабельность проекта SAPOS определяется тем, что в будущем опорные сети в Германии планируется существенно разрядить, но окончательное решение еще не принято. В качестве примера можно привести ситуацию в Нижней Саксонии. Там проектируемая система отсчета должна быть представлена прореженными на 90% опорными пунктами. Эта сеть будет использоваться в качестве единой пространственной системы координат для всех государственных, коммунальных и частных пространственных объектов [18].

Горячие споры внутри AdV вызвал вопрос оптимального способа передачи HEPS-данных, который решился в пользу мобильной связи. Двухметровый диапазон пользователь может использовать по желанию.

Все службы SAPOS предлагают трехмерное позиционирование в системе координат ETRS-89. При этом область применения не ограничивается кадастровыми работами. Остается проблема использования существующих опорных пунктов. В этом случае следует ожидать напряжения сети. По данному вопросу существует ряд предложений, однако однозначное решение так и не найдено. Кроме того, сети в Германии различны [2]. Отдельной проблемой является пересчет эллипсоидальных высот GNSS в физические нормальные высоты. Для этого в 2003 г. введен геоид, кривизна которого определена с точностью 2 см. В некоторых федеральных землях используют Digital Finiten Hoeschbezugflaeche (DFHBF) Йегера, в других — тестируются собственные разработки [19].

Дальнейшее развитие системы SAPOS и связанные с этим проблемы остаются на повестке дня.

▼ Список литературы

1. Rosenthal, G., Milev, G., Rokahr, F. und Vassileva, K.(2001): SAPOS

DGNSS Reference Station System in Germany and its Analogue in Bulgaria. United Nations/United States of America Workshop on the Use of Global Navigation Satellite Systems. (www.sapos.de)

2. Bauer, M. (2003): Vermessung und Ortung mit Satelliten. GPS und andere satellitengestützte Navigationsverfahren. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage (www.huethig.de/gps/bauer)

3. Lechner, W. (1990): Vorwort zum Workshop «(Near) Realtime Differential GPS-Anwendungen» Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation, Düsseldorf.

4. Augath, W. (1992): Pläne zum Aufbau eines Netzes von DGPS-Referenzstationen in der Landesvermessung im norddeutschen Raum. DGON-Seminar: Satellitennavigationssysteme. Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation, Düsseldorf.

5. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (Adv) (1998): Bericht der Expertengruppe GPS-Referenzstationen im Arbeitskreis Grundlagenvermessung.

6. www.adv-online.de/english/products/sapos.htm

7. www.lverma.nrw.de/sapos/

SAPOSepts/SAPOS_eps.htm

8. www.potsdam.ifag.de/alf/technik.html

9. Wöbbena, G., Bagge, A., Seeber, G., Бүддер, В., u. P. Hankemeier (1996): Reducing Distance Dependent Errors for Real-Time Precise DGPS Applications by Establishing Reference Station Networks. ION GPS-96.

10. Wanninger, L. (1997): Real Time Differential GPS Error Modelling in Regional Reference Station Networks. In Brunner (Hg.): Advances in Positioning and Reference Frames. Proc. of the IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro.

11. Wöbbena, G., Bagge, A. u. M. Schmitz (2001): Network-Based Techniques for RTK Applications. GPS Symposium GPS Society, Japan Institute of Navigation.

12. Landau, H. (2000): Die Implementierung des «Virtuellen Referenzstationskonzeptes» für die RTK Vermessung mit GPS und GLONASS. 3. SAPOS-Symposium. (www.sapos.de)

13. Wanninger, L. (2002): Virtual Reference Stations for Centimeter-Level Kinematic Positioning. Proc. of ION GPS 02, Portland, Oregon. (www.wasoft.de)

14. www.wasoft.de/links/internetseiten.html

15. www.lverm.nrw.de (SAPOS bberblick, SAPOS Entwicklung & Erprobung)

16. www.navcen.uscg.gov

17. Draken, W. (2003): Der Satellitenpositionierungsdienst SAPOS-Stand und Nutzung. 5. SAPOS-Symposium. (www.sapos.de)

18. Jahn, C.H. (2001): Ein neues aktives dreidimensionales Bezugssystem für Niedersachsen. Festschrift Universitätsprofessor Dr.-Ing. G. Seeber zum 60. Geburtstag. Wissenschaftliche Arbeiten der Universität Hannover, Nr. 239 (www.ife.uni-hannover.de)

19. Feldmann-Westendorff, U. (2003): Normalhöhenbestimmung im Bezugssystem DHHN 92 mit SAPOS. 5. SAPOS-Symposium (www.sapos.de)

RESUME

Both history and structure of the Satellite Positioning Service of the German National Survey (SAPOS) are given. There are also presented the main tasks solved as well as the service options offered for users and the relevant prices. The hard- and software are briefly described. The SAPOS development ways are analyzed in short.

Геодезическое оборудование

Электронные тахеометры NTS 320, NTS 350

Измерение углов с точностью 2" и 5"
Измерение расстояний до 2.6 км по 1 призме с точностью 2 и 3 мм + 2 мм/км
Внутренняя память до 8000 точек
Двусторонний LCD дисплей
Автоматический компенсатор вертикального круга
Повышенная влаго- и пылезащищенность
Расширенный набор прикладных программ
Гарантия - 2 года. Низкие цены!

Электронные теодолиты ET-02, ET-05

Точность измерения углов 2" и 5"
Удобный двусторонний LCD дисплей
Автоматический компенсатор вертикального круга

Оптические нивелиры с компенсатором NL20, NL24, NL28, NL32

Ударопрочный корпус
Полная влагозащищенность и всепогодность
Эксклюзивный компенсатор с магнитным демпфированием
Фрикционный тормоз и бесконечный ход горизонтального лимба
Система защиты от "залипания" компенсатора
Точность: 2,5, 2,0, 1,5 и 1,0 мм. на км. дв. хода

Группа компаний "Промнефтегрупп"
ЗАО "ПНГео" тел. 785-0119, 0120
E-mail: png@sovintel.ru Web: www.pngeo.ru

Прямые поставки с завода

