

СИСТЕМА СБОРА И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ГНСС-RINEX И ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ

^{1,2}Ю.В. Ясюкевич, ^{1,3}И.В. Живетьев, ^{1,4}А.С. Шабалин, ^{1,4}И.К. Едемский,
^{1,2}В.П. Лебедев, ^{1,4}С.В. Воейков, ^{1,2}А.М. Веснин

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

³Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Паратунка, Россия

⁴Иркутский национальный исследовательский университет, Иркутск, Россия
yu.yasyukevich@gnss-lab.org

SYSTEM FOR COLLECTING AND STORING THE GNSS-RINEX AND TOTAL ELECTRON CONTENT DATA

^{1,2}Yu.V. Yasyukevich, ^{1,3}I.V. Zhivetiev, ^{1,4}A.S. Shabalin, ^{1,4}I.K. Edemskiy,
^{1,2}V.P. Lebedev, ^{1,2}S.V. Voeykov, ^{1,4}A.M. Vesnin

¹Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia,

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

³Institute of Cosmophysical Research and Radiowave Propagation FEB RAS, Paratunka, Russia

⁴Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Аннотация. В последние годы существенный объем экспериментальных данных о состоянии ионосферы Земли предоставили средне- и высокоорбитальные спутниковые радионавигационные системы (СРНС) такие как ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Beidou, SBAS и т.д. В настоящее время ряд служб предоставляет данные СРНС в открытом доступе в формате RINEX. Ежедневный объем получаемых данных в сжатом виде ~1 Гб включает данные с более 4500 станций. Нами разработана система для сбора и хранения исходных данных RINEX, а также получения на их основе данных наклонного полного электронного содержания. В настоящей работе представлены адреса интернет-ресурсов, на которых размещены данные СРНС; описаны особенности хранения и доступа к данным; приведена блок-схема реализованной системы сбора данных с открытых источников.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы, полное электронное содержание, ионосферные возмущения, RINEX.

Abstract. In recent years, a significant amount of experimental data on the Earth's ionosphere state has been provided by medium- and high-orbit satellite radio navigation systems (SRNS) such as GLONASS, GPS, Galileo, Beidou, SBAS, etc. Currently, a number of services provide SRNS data in open access in the RINEX format. The daily amount of data received in compressed form ~1 Gb includes data from more than 4,500 stations. We have developed a system for collecting and storing raw RINEX data, as well as obtaining on their basis slant total electron content. In this paper, we describe Internet resources with SRNS data; describe the features of storage and access to data; show a block diagram for the implemented system of data collection from open sources.

Keywords: global navigation satellite system, total electron content, ionosphere disturbances, RINEX.

Введение

Качество функционирования радиотехнических систем связи, навигации, радиолокации определяется во многом качеством учета среды распространения радиосигнала — ионосферы (для КВ и УКВ сигналов). Ионосфера Земли представляет собой сложную динамическую систему предсказать поведение которой является сложной задачей. Данная задача особенно трудна при попытке учета ионосферных возмущений. В связи с этим задачей изучения ионосферных неоднородностей посвящено большое количество работ. В последние годы существенный объем экспериментальных данных о состоянии ионосферы Земли предоставили высокоорбитальные спутниковые радионавигационные системы (СРНС) такие как ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Beidou, SBAS и т. д. [Afraimovich et al., 2012]. Двухчастотные

фазовые и групповые измерения для таких систем позволяют определять полное электронное содержание (ПЭС) вдоль луча «спутник-приемник».

В настоящей работе мы описываем существующие банки данных первичных измерений ГНСС, а также созданную нами систему сбора данных ГНСС и получения полного электронного содержания.

Центры данных

Системы сбора и обмена данными ГНСС в последние годы развиваются все активнее. Международная сеть IGS [Dow et al., 2009] предоставляет данные в формате RINEX (The Receiver Independent Exchange Format) [Gurtner, Estey, 2005], а также ряд других продуктов, включая карты индекса возмущенности ионосферы ROTI [Krankowski et al., 2017].

Проект Multi GNSS Experiment (<http://igs.org/mgex>) предоставил данные по синхронным измерениям различных навигационных систем. Большой экспериментальный материал предоставили глобальные ионосферные карты GIM [Hernández-Pajares et al., 2009].

Ниже приведены известные авторам в настоящее время сервисы предоставления данных ГНСС.

1) IGS. International GNSS Service. Сообщество организаций осуществляющих сбор и предоставление данных ГНСС. <ftp://garner.ucsd.edu/pub/rinex/>. Станций 2464 (уникальных — 1495).

2) GSI. The **Geospatial** Information Authority of Japan. <ftp://terras.gsi.go.jp/data/>. Станций (Япония) — 1220. Требуется заявка на доступ terras@mail.gsi.go.jp

3) NGS. Continuously Operating Reference Stations (CORS) of National Geodetic Survey. <ftp://www.ngs.noaa.gov/cors/rinex/>. Станций — 1041 (уникальных — 839).

4) UNAVCO. <ftp://data-out.unavco.org/pub/rinex/obs/>. Станций — 798 (уникальных — 298)

5) SONEL. <ftp://ftp.sonel.org/gps/data/>. Станций — 794 (уникальных — 245).

6) KASI GDC. Korea Astronomy Space Science Institute Global Data Center. <ftp://nfs.kasi.re.kr/gps/data/daily/>. Хранит региональные данные сети IGS. Станций — 227 (уникальных — 31).

7) Geoscience Australia GNSS network. <ftp://ftp.ga.gov.au/geodesy-outgoing/gnss/data/daily/>. Станций (Австралия) — 196 (уникальных — 125)

8) GeoNet. Geological hazard information for New Zealand. <ftp://ftp.geonet.org.nz/gps/rinex/>. Станций (Новая Зеландия) — 184 (уникальных — 116)

9) TrigNet, South Africa's GNSS base station network. <ftp://ftp.trignet.co.za/>. Станций (ЮАР) — 54. Отличный формат хранения от других ресурсов.

10) NCEDC. Northern California earthquake data center. <http://www.ncedc.org/ftp/pub/gps/rinex/>. Станций (США) — 65

11) National Observatory of Athens, NOANET GNSS network. http://www.gein.noa.gr/services/GPS/NOA_GPS/nea_gps_files/data.html. Станций (Греция) — 51

12) CHAIN. Canadian High Arctic Ionospheric Network. <http://chain.physics.unb.ca/chain/>. Станций (Арктический регион Американского сектора) — 23. Требуется регистрация. Возможен доступ к данным с высоким временным разрешением

Российские коммерческие сети:

1) Индустриальные геодезические системы. <https://hive.geosystems.aero/>. Станций — 435. Требуется регистрация.

2) SmartNet. <http://smartnet-ru.com/>. Станций (Россия) ~250. Требуется подписка.

3) EFT-CORS. <https://eft-cors.ru/>. Станций (Россия) — 239. Требуется регистрация.

4) RTKNet. «Геодетика». <http://rtknet.ru/>. Требуется подписка.

Число станций приведены на 01.01.2017. Из указанных систем 10 в настоящее время предоставляют данные ГНСС в формате RINEX свободно без регистрации. В скобках указано число «уникальных станций»: отсутствующих в других архивах.

На рис. 1 представлена динамика роста числа станций, находящихся в свободном доступе без подписки и регистрации. Можно видеть, что с начала 2000 г. наблюдался линейный рост, который в настоящее время приостановился на отметке ~4500 станций.

Получение наклонного полного электронного содержания

Фазовые и групповые измерения ПЭС получаются с использованием исходных измерений фазового пути $L_{1,2}$ и измерений группового пути $P_{1,2}$ на двух частотах [Hofmann-Wellenhof et al., 1992].

$$I = \frac{1}{40.308} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} [(L_1 \lambda_1 - L_2 \lambda_2) + K + \sigma L],$$

$$I = \frac{1}{40.308} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} [(P_2 - P_1) + \sigma P],$$

где f_1 и f_2 — рабочие частоты; K — неоднозначность фазовых измерений; σL , σP — случайная ошибка измерения фазы и псевдозадержки.

Для расчетов наклонного ПЭС создан программный комплекс tec-suite (<http://www.gnss-lab.org/>). Комплекс поддерживает работу с навигационными системами GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou, SBAS. И позволяет получать как измерения ПЭС, так и углы места и азимуты для соответствующих измерений на основе исходных данных RINEX.

Структура системы сбора и хранения

Для сбора и хранения данных ПЭС и исходных данных в формате RINEX нами разработан специализированный комплекс. Блок-схема комплекса представлена на рис. 2. Комплекс позволяет в автоматическом режиме проводить сбор и обработку данных ГНСС.

Заключение

В настоящее время тестируется альфа-версия системы, доступная для использования внешним пользователям. Размещение открытой части системы будет осуществлено на сайте <http://gnss-lab.org>. Мы надеемся, что создание такой системы позволит внутри научного сообщества, занимающимся ионосферными исследованиям, обмениваться данным ГНСС в большем объеме. Особенно нам бы хотелось

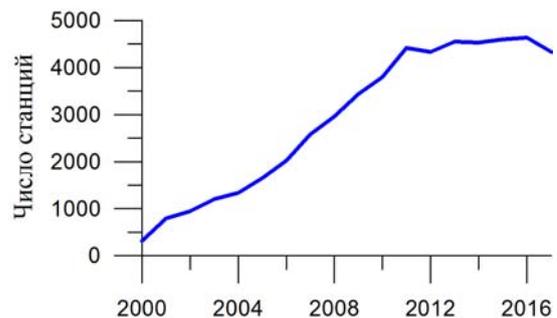


Рис. 1. Динамика роста числа станций ГНСС, находящихся в свободном доступе

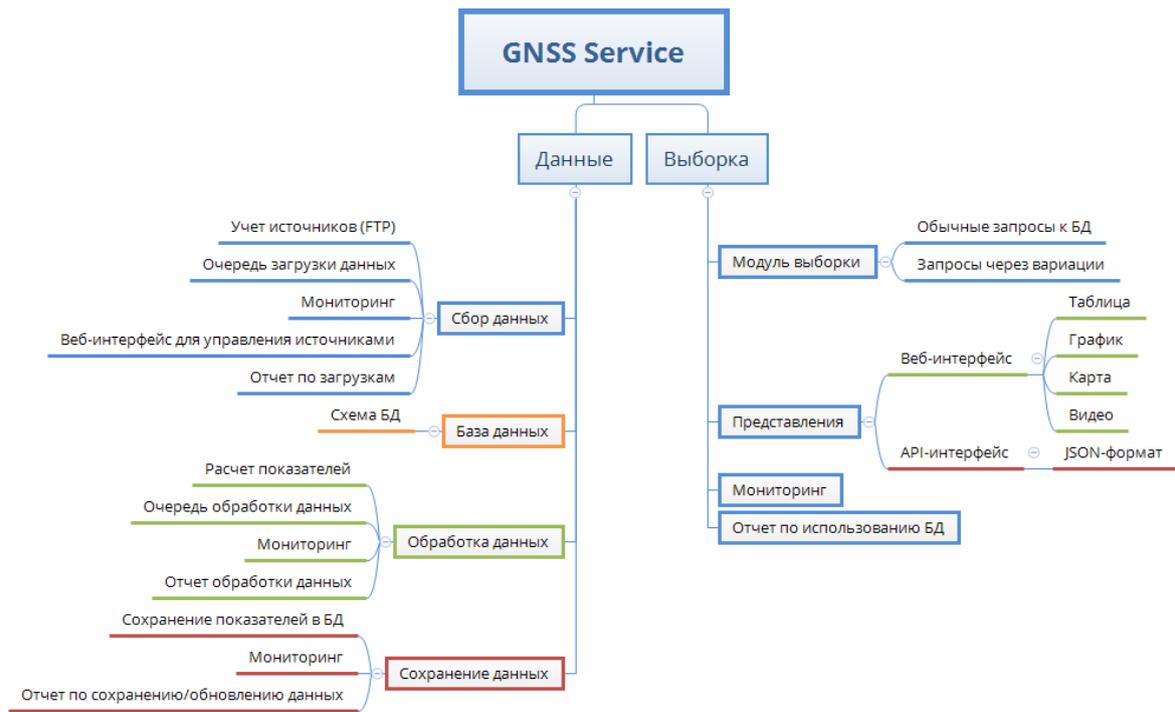


Рис. 2. Блок-схема комплекса

привлечь Российские организации, занимающиеся сбором данных ГНСС, но по ряду причин не предоставляющие данных в свободный доступ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-77-20005).

Список литературы

Afraimovich E.L., Astafyeva E.I., Demyanov V.V. et al. Review of GPS/GLONASS studies of the ionospheric response to natural and anthropogenic processes and phenomena // *Journal of Space Weather and Space Climate*. 2013. V. 3. A27. DOI: 10.1051/swsc/2013049.

Dow J.M., Neilan R.E., Rizos C. The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems // *J. Geodesy*. 2009. V. 83. P. 191–198. DOI: 10.1007/s0019000803003.

Gurtner W., Estey L., RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.11. 2005, available at: <ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/data/format/rinex211.txt>.

Hernández-Pajares M., Juan J.M., Sanz J. et al. The IGS VTEC maps: a reliable source of ionospheric information since 1998 // *Special IGS Issue J Geod*. 2009. V. 83. P. 263–275. DOI: 10.1007/s00190-008-0266-1.