

# ШИРОКОЗОННЫЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

Е.И. Суницкий (МИИГАиК)

В 2001 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономо-геодезия». С 2001 г. по настоящее время — инженер-геодезист в составе группы тестирования программно-аппаратных средств фирмы THALES Navigation (Ashtech, Magellan). Аспирант МИИГАиК.

В настоящее время происходит развитие систем геостационарного дополнения для навигационно-геодезических систем, таких как GPS. Подобные системы часто называют также широкозонными системами спутниковой дифференциальной навигации (SBAS — Satellite-based Augmentation System), поскольку геостационарные спутники позволяют расширить зону, которую можно обеспечить дифференциальными поправками. Один геостационарный спутник может обеспечить поправками территорию равную по площади 1/3 поверхности земного шара. Как следствие, применение систем геостационарных спутников позволяет значительно повысить точность определения местоположения, а значит, возможность использования простых, компактных и относительно недорогих спутниковых приемников, позволяющих решать навигационные и геодезические задачи.

Широкозонные системы могут найти применение при решении задач морской и прикладной геодезии, точной навигации, ГИС и т. д. В таких системах реализован принципиально иной метод формирования коррекций в виде поправок к эфемеридным данным и параметрам ионосферной модели и передаче такой информации всем пользователям через геостационарный спутник. При этом новый подход не требует какого-либо дополнительного оборудования к спутниковому приемнику (например, радиомодема). Задача решается с помощью обычной спутниковой антенны и спутникового приемника, правда для этого необходимо изменить программный код приемника.

В настоящее время существует несколько систем (или, правильнее говорить, подсистем) SBAS:

- WAAS (Wide Area Augmentation System) принадлежит США;

- EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) принадлежит Европейскому Союзу;

- MSAS (Multi-functional Satellite-based Augmentation System) принадлежит Японии.

Из всех систем в настоящее время только WAAS является полностью рабочей.

Подсистема SBAS состоит из следующих элементов (рис. 1):

- сеть наземных станций слежения. На этих станциях стоят двухчастотные геодезические приемники, которые осуществляют непрерывный сбор данных от всех навигационных спутников. Измерения с этих станций передаются в мастер-станцию в режиме реального времени;

- мастер-станция, которая

обеспечивает обработку данных и формирование коррекций; — станции закладки корректирующей информации на геостационарные спутники; — геостационарные космические аппараты (ГКА или GEO) для передачи поправок на большую территорию всем пользователям.

Подсистема выполняет следующие функции:

- сбор данных от всех навигационных спутников, находящихся в поле радиовидимости;

- составление карты вертикальных ионосферных задержек;

- контроль надежности навигационных спутников;

- определение и уточнение

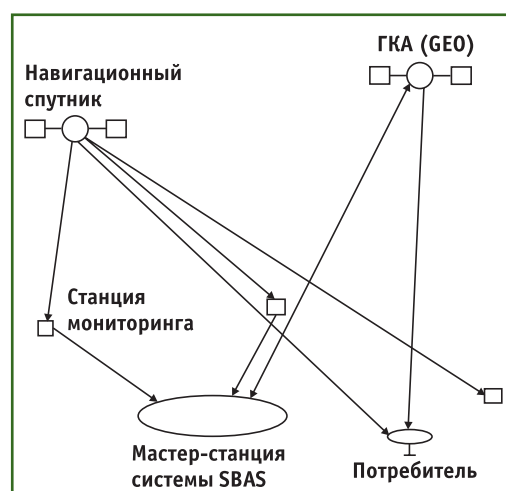


Рис. 1

Схема работы подсистемы SBAS

необходима для обработки данных со станций слежения и формирования коррекций;

- станции закладки корректирующей информации на геостационарные спутники;

- геостационарные космические аппараты (ГКА или GEO) для передачи поправок на большую территорию всем пользователям.

Подсистема выполняет следующие функции:

- сбор данных от всех навигационных спутников, находящихся в поле радиовидимости;

- составление карты вертикальных ионосферных задержек;

- контроль надежности навигационных спутников;

- определение и уточнение

параметров орбит навигационных спутников;

— определение коррекций орбит и временных поправок для навигационных спутников;

— обеспечение потребителей корректирующей информацией и дополнительными измерениями псевдодальностей на частоте L1 (в системе GPS), позволяющими повысить надежность и точность спутниковых определений;

— обеспечение независимо-го контроля выходных данных предыдущих шести функций перед их использованием потребителями;

— обеспечение работоспособности и нормального функционирования подсистемы.

Таким образом, при использовании сигналов от геостационарных систем улучшается точность за счет использования:

— уточненных данных об эфемеридах навигационных спутников;

— уточненной модели ионосферы;

— дополнительного GPS-сигнала на частоте L1 = 1575,42 МГц (или дополнительных сигналов, в случае, если приемник отслеживает несколько геостационарных спутников) от геостаци-

онарных спутников системы.

Остановимся на корректирующей информации, передаваемой с геостационарного спутника. С целью уменьшения ошибок, вызванных неточностью эфемерид, в GPS предусмотрено обновление эфемеридной информации для навигационных спутников каждый час. Для получения более точной информации о положениях навигационных спутников в подсистеме SBAS осуществляется трансляция коррекций эфемерид. При этом коррекция осуществляется не один раз в час (как в GPS), а один раз в течение нескольких минут. Коррекции к эфемеридам навигационных спутников делятся на долгопериодные и короткопериодные. Долгопериодная составляющая коррекции для каждого навигационного спутника имеет следующий вид:

- номер спутника;
- эпоха коррекций (обозначается в литературе как IODE);
- $\Delta X = X_s$ , бортовая GPS —  $X_{\text{измеренная SBAS, M}}$ ;
- $\Delta Y = Y_s$ , бортовая GPS —  $Y_{\text{измеренная SBAS, M}}$ ;
- $\Delta Z = Z_s$ , бортовая GPS —  $Z_{\text{измеренная SBAS, M}}$ ;
- $\Delta T = T_s$ , бортовая GPS —  $T_{\text{измеренная SBAS, C}}$ .

Этот вид поправок передается не реже, чем через две минуты, и учитывается стандартным путем в аппаратуре пользователя.

Короткопериодная составляющая поправки к положению каждого спутника перевычисляется в поправку к псевдодальности на определенный момент времени, причем эта поправка отсылается всем пользователям независимо от того, где он находится. Данный вид поправок может лежать в диапазоне от -256,000 до 255,875 м, и ее значение всегда кратно 0,125 м. Расчет поправки, которую необходимо вводить в измеренную псевдодальность, осуществляется по формуле [1]:

$$\rho_{\text{скорректированное}}(t_i) = \rho_{\text{измеренное}}(t_i) + \rho\delta(t_2) + [\rho\delta(t_2) - \rho\delta(t_1)] \times (t_2 - t_i) / (t_2 - t_1), \quad (1)$$

где  $\rho\delta(t_i)$  — поправка к измеренной псевдодальности  $\rho$  на требуемый момент  $i$ ,  $t_1$  и  $t_2$  — смежные моменты времени, на которые имеются коррекции, причем  $t_1 < t_2 < t_i$ .

Т. е. на каждый требуемый момент времени вычисление короткопериодной составляющей поправки осуществляется методом экстраполяции.

Что касается ионосферной модели, то в подсистеме SBAS реализована более детальная модель (по сравнению с GPS), но на локальную область. По наблюдениям наземных станций слежения системы SBAS осуществляется оценка вертикальных ионосферных задержек, и вся покрываемая область разделяется сеткой. В общем случае сетка не является регулярной. Для каждой  $i$ -й точки этой сетки (ионосферная точка), которая имеет координаты  $L_i$ ,  $B_i$  (рис. 2), с геостационарного спутника передается результат измеренной вертикальной ионосферной задержки для частоты L1 GPS в метрах. Такая сетка, в узлах которой известна величина вертикальной ионосферной задержки, называется картой вертикальных ионосферных задержек.

Информация об ионосферных задержках, передаваемых с геостационарного спутника, является весьма оперативной и обновляется один раз в несколько минут (по данным от геостационарного спутника номер 131 системы EGNOS каждые 3,5 минуты). Величины ионосферных задержек, передаваемых с геостационарного спутника, кратны 0,125 м.

Для того, чтобы оценить влияние ионосферы для конкретного навигационного спутника, необходимо сначала определить координаты точки пересече-

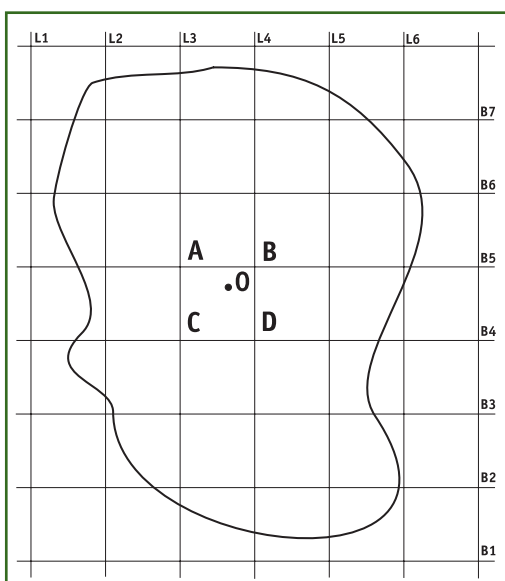


Рис. 2  
Карта вертикальных ионосферных задержек

чения ионосферы и линии «приемник — навигационный спутник». Данная точка называется ионосферной точкой. При этом в качестве поверхности ионосферы выбирается эллипсоид, высота которого над эллипсоидом WGS-84 (для GPS) составляет  $h_i = 350$  км при условии, что центры этих эллипсоидов совпадают. Высота  $h_i$  соответствует высоте максимальной концентрации электронов в ионосферном слое. Таким образом, приемник, принимающий ионосферные коррекции, может интерполировать величину вертикальной ионосферной задержки тем или иным способом для каждого конкретного навигационного спутника, используя информацию о задержках в узлах сетки, координаты которых известны, и найденные координаты ионосферной точки для навигационного спутника.

Далее вертикальную ионосферную задержку  $\delta_{\text{ион}}$  необхо-

димо привести к реальной (наклонной) задержке по формуле [1]:

$$\delta_{\text{накл.}} = \delta_{\text{ион}} K, \quad (2)$$

где  $K$  — коэффициент преобразования, вычисляемый по формуле [1]:

$$K = 1 / \sqrt{[(1 - R_e \cos(E)) / (R_e + h_i)]^2}, \quad (3)$$

где  $R_e$  — средний радиус Земли (принимается равным 6378,1363 км для системы WGS-84);  $E$  — угол возвышения навигационного спутника над горизонтом.

Более точную информацию об эфемериде и состоянии ионосферы можно получить за счет использования гораздо большего числа наземных станций слежения (по сравнению с GPS), входящих в подсистему SBAS, а также за счет ее оперативного обновления.

Перспективность подсистем SBAS при решении навигационных и геодезических задач очевидна, поэтому в данной обла-

сти необходимо проводить как теоретические, так и практические исследования.

▼ Список литературы

1. Minimum operational performance standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System airborne equipment. SC-159. Washington, DC, RTCA Inc., 2001. — 586 p.

RESUME

A brief introduction is given for the Satellite Based Augmentation Systems (SBAS), including WAAS, EGNOS and MSAS. The SBAS systems make it possible to improve accuracy of the spatial coordinates determination as well as of the mobile objects geopositioning. This is due to the correction for the ephemeris data and the ionosphere's model parameters. A principal scenario of the SBAS system operation is given. Types and designation of the correction data downlinked from the geostationary satellites are described in detail.

**МАР INFO**<sup>®</sup>  
 Современные геоинформационные технологии  
*С полевых измерений все только начинается...*  
**в России**  
 ООО "ЭСТИ МАП"  
 119002 Москва Калосин пер.4  
 офис 1-14 тел/факс 540-4659,589-1171  
 www.esti-map.ru e-mail: esti-m@esti-map.ru