

ОСОБЕННОСТИ ОШИБОК ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

А.А. Холмогоров, В.Б. Иванов

PECULIARITIES IN POSITIONING ERRORS IN SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS

A.A. Kholmogorov, V.B. Ivanov

Представлен результат исследований особенностей временных вариаций ошибок позиционирования в спутниковых радионавигационных системах. Выявлены причины появления ошибок. Предложен вариант практического использования обнаруженных особенностей.

The paper presents the results of studying temporal variations of the positioning errors in satellite navigation systems. Causes of errors have been found. A variant for practical use of detected features is suggested.

Введение

Повышение точности позиционирования в спутниковых навигационных системах остается одной из важнейших проблем навигации. В данной работе обращено внимание на одну возможность повышения точности, связанную с описанной далее особенностью поведения во времени экспериментально наблюдаемых ошибок позиционирования (повторяемость в соседних сутках временного хода ошибок).

Экспериментальные данные

На рис. 1 представлен временной ход определяемой навигационным приемником высоты антенны в двух соседних сутках. На этом и всех следующих рисунках по вертикали отложены определяемые высоты антенн h . Нас интересуют только относительные вариации высот, поэтому на оси показан только масштаб единицы измерений. Кривые, соответствующие двум суткам, изображены одна под другой с некоторым смещением по вертикали. По горизонтальной оси отложено мировое время UTC в сеансах наблюдений соседних суток. Хорошо видно, что во временном ходе присутствуют флуктуации различных временных масштабов: менее интенсивные короткопериодические флуктуации длительностью в десятки секунд и более интенсивные длиннопериодические вариации с характерными временами порядка тысяч секунд.

Детальный анализ выявил важное свойство флуктуаций: их повторяемость в соседних сутках имеет сдвиг по времени, равный 4 мин. Период обращения спутников GPS составляет 11 ч 58 мин, поэтому указанный сдвиг связан со сдвигом повторяемости расположения созвездия наблюдаемых спутников.

Первоначально мы интерпретировали повторяемость флуктуаций как проявление многолучевости, возникающей при отражении спутниковых сигналов от объектов ландшафта. Однако данная интерпретация была отвергнута после проведения синхронных наблюдений в двух пространственно разнесенных наблюдательных пунктах. На рис. 2 представлены временные вариации определяемых высот антенн в двух наблюдательных пунктах, разнесенных на расстояние около 4 км. Видно, что при разнесении пунктов в пространстве имеется хорошая корреляция длиннопериодических вариаций высот антенн. Короткопериодические флуктуации не повторяются.

Отсюда следует вывод, что короткие и менее интенсивные флуктуации высот антенн действительно обусловлены многолучевостью, но вариации с характерными временами в тысячи секунд с многолучевостью не связаны.

Использование данных станций сети IGS позволяет исследовать повторяемость ошибок позиционирования для точек наблюдений, разнесенных на значительные расстояния. На рис. 3 представлены временные вариации высот для двух среднеширотных станций сети IGS. Станции разнесены по долготе примерно на 7° (~600 км). Видно, что повторяемость ошибок позиционирования имеет место, причем без заметного временного сдвига. Аналогичные результаты получены для двух среднеширотных станций IGS, разнесенных по широте. Учитывая соотношения радиуса Земли и высоты орбит спутников, можно предположить, что участвующие в этом исследовании станции IGS используют для решения навигационной задачи одно и то же (или почти одно и то же) созвездие. Это позволяет сделать предположение о связи вариаций ошибок позиционирования с конфигурацией созвездия навигационных спутников, по которым решается навигационная задача.

В определенном сеансе наблюдений на одной из станций IGS проводились два расчета с различными созвездиями. Созвездия состояли из пяти спутников, один из которых был общим, но остальные четыре не повторялись. Результаты расчетов представлены на рис. 4. В верхней части показаны вариации определяемой высоты в двух соседних сутках для первого созвездия, в нижней части – для второго. Видно, что повторяемость в сутках имеет место, но характер повторяющихся вариаций для разных созвездий различен.

Есть еще один тип ошибок, связанных с космическим сегментом, – ошибка определения координаты спутника. У этой ошибки есть одна особенность: величина и поведение одинаково отражаются на станциях, разнесенных на значительное расстояние, если с них видны те же самые спутники. На рис. 5 показана разность между координатами радиус-векторов \mathbf{r} в соседних сутках, которые определяются обычным навигационным файлом (именно такие данные используют приемники GPS) и файлом уточненных эфемерид, который формируется позже. Видно, что средний размер флуктуации составляет порядка нескольких метров и имеет повторяемость

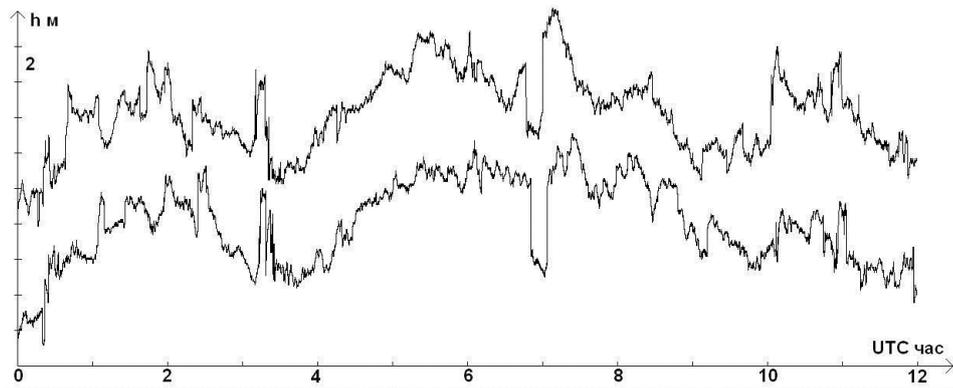


Рис. 1. Временной ход высоты в соседних сутках.

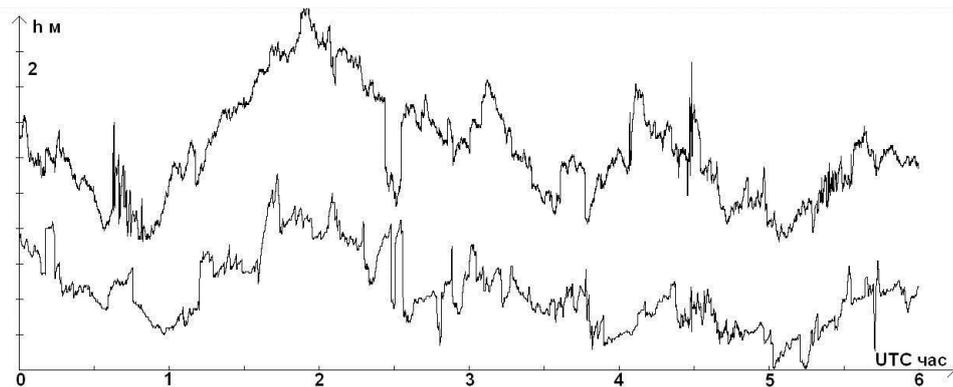


Рис. 2. Временные вариации высот антенн двух наблюдательных пунктов, разнесенных на расстояние около 4 км.

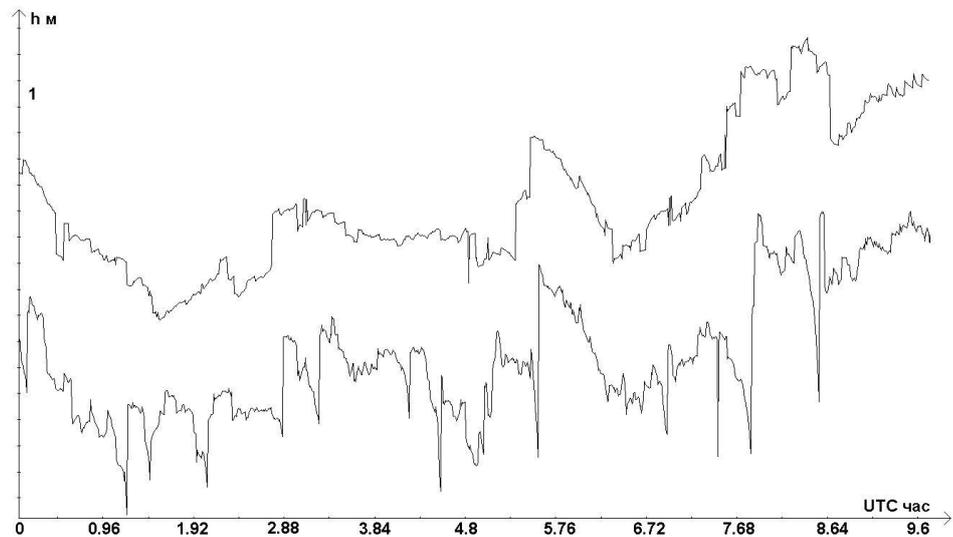


Рис. 3. Временные вариации высоты для двух IGS станций, разнесенных по долготе.

в соседних сутках. Если учесть, что эти флуктуации будут давать вклад от каждого спутника и зависеть от группировки спутников, логично считать, что искомая длиннопериодическая флуктуация будет определяться ошибкой в определении координат спутника.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования уверенно показывают факт повторяемости в соседних сутках вариаций ошибок позиционирования с характерными временными масштабами от десятков до тысяч секунд. Происхождение повторяющихся вариаций связано с космическим сегментом спутниковых

навигационных систем, а именно с ошибкой определения положения спутника, и не связано непосредственно с аппаратурой навигационных приемников, их ландшафтным окружением и условиями распространения радиосигналов. Выявленная в данном исследовании особенность временных вариаций ошибок позиционирования может быть использована для повышения точности определения координат потребителя. Возникает аналогия с дифференциальным режимом работы системы GPS. В этом режиме на базовой станции с известными координатами определяются текущие ошибки определения трех координат. Затем эти ошибки в качестве корректирующих

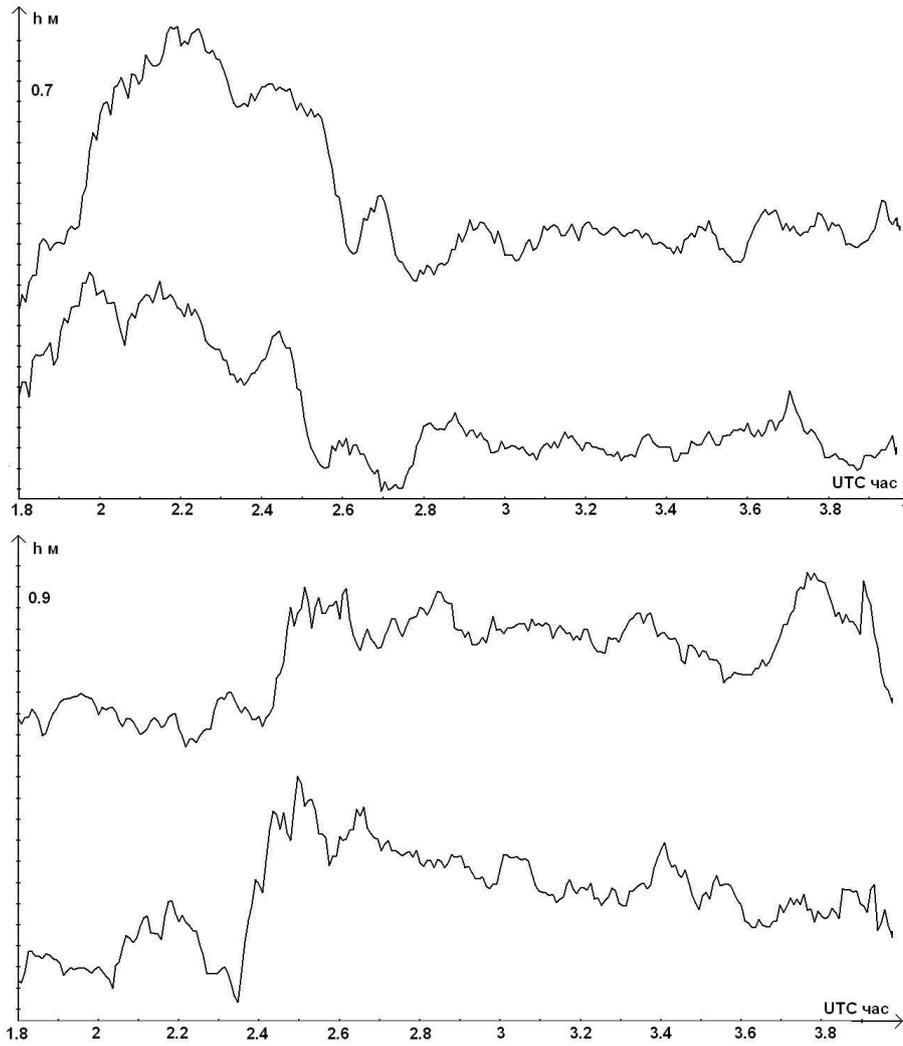


Рис. 4. Временные вариации высоты станции IGS для двух разных созвездий спутников.

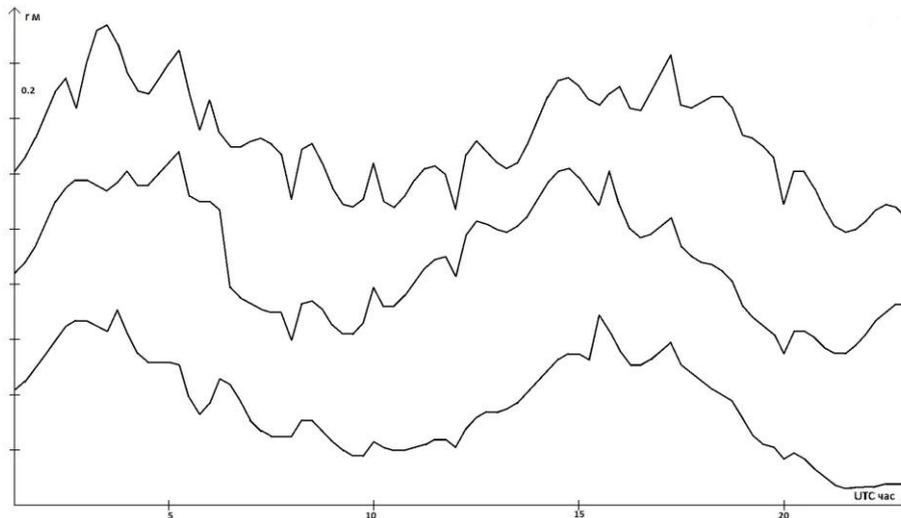


Рис. 5. Ошибка позиционирования спутника в трех соседних сутках.

параметров непрерывно передаются по специализированным наземным или спутниковым каналам связи потребителям в данном регионе.

Можно предложить следующий способ использования повторяемости ошибок позиционирования в соседних сутках. На базовой станции суточный ход

ошибок снимается с применением сглаживания. Формируется соответствующий файл числовых данных, который выкладывается в интернет или передается оператору сотовой связи. В последующие сутки потребитель однократно загружает этот файл из сети интернет, либо получает его по каналам со-

товой связи. Затем из текущих вычисленных координат вычитаются соответствующие ошибки. Таким образом, существенная часть ошибок текущего позиционирования будет компенсирована. Вероятно, такой дифференциально-временной режим работы будет несколько менее эффективным по сравнению с дифференциальным, однако он более простой и менее затратный. В этом случае отпадает необходимость использования специализированных радиоканалов и значительно сокращается суточный объем

передаваемой информации. Наиболее удобным предлагаемый метод может быть для потребителей, использующих мобильные устройства со встроенными навигационными приемниками с доступом к сотовой связи и сети интернет. Именно для них наиболее просто организовать загрузку данных с корректирующей информацией.

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия