

Обработка информации космических радионавигационных систем для определения местоположения в условиях ограниченного приема спутникового сигнала

Information processing operation of Space-based radio navigation systems for position fixing in conditions of terminated satellite signal.

Ключевые слова: навигационный спутник – navigation satellite; дифференциальная поправка – differential correction; радионавигационный сигнал – radio-navigational signal.

В статье рассматривается метод определения местоположения по двум навигационным спутникам и уточнение местоположения путем использования специально сформированных по разработанному алгоритму уточняющих дифференциальных поправок.

The article presents fixing method by two navigation satellites and position update by using adjusting differential corrections, which was specially made by worked out decision procedure.

Позиционирование по спутниковым радионавигационным системам (СРНС) ГЛОНАСС и GPS охватывает все большие сферы человеческой деятельности. При этом важным является вопрос обеспечения точности позиционирования. К сожалению, на практике не всегда удается добиться идеальных условий приема спутникового радионавигационного сигнала, изложенных в рекомендациях «Инструкции по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС И GPS» [1].

В связи с этим остро встает вопрос обеспечения повсеместного позиционирования по сигналам СРНС с приемлемой точностью даже там, где наблюдается ограниченный прием сигналов СРНС, например – в лесу, ущельях и т.д. Для этого необходимо обеспечить:

МАРТЫНОВА / MARTYNOVA L.

Любовь Александровна

(martynova999@bk.ru)
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
начальник лаборатории,
ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт прикладных проблем»,
Санкт-Петербург

– определение местоположения в условиях ограниченного приема сигналов СРНС;

– повышение точности позиционирования в условиях ограниченного приема сигналов СРНС.

В настоящей работе предложен метод определения местоположения по двум навигационным спутникам и уточнение местоположения путем использования специально сформированных по разработанному алгоритму уточняющих дифференциальных поправок.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПО ДВУМ НАВИГАЦИОННЫМ СПУТНИКАМ

Определение местоположения осуществляется путем решения навигационной задачи на основе измеренных псевдодальностей до видимых навигационных спутников. Сущность используемого псевдодальномерного метода [2] заключается в определении расстояний между навигационными спутниками и потребителем и последующем расчете координат потребителя. Для расчета трех координат потребителя псевдодальномерным методом необходимо знать расстояния между потребителем и минимум четырьмя навигационными спутниками. Известные методы [3], к сожалению, не позволяют определить местоположение по двум навигационным спутникам.

Разработанный в настоящей работе метод определения местоположения по двум спутникам заключается в следующем. Пусть в приемник посту-

пает сигнал от двух навигационных спутников. Разработанный метод использует тот факт, что спутники размещаются на наземной поверхности. Пусть в результате одномоментных измерений от двух космических аппаратов получены псевдодальности PR_1^{u3M} и PR_2^{u3M} . Воспользуемся тем фактом, что если все псевдодальности изменить на одну и ту же величину, результат решения навигационной задачи не изменится.

Уравнение псевдодальности от потребителя до i -го навигационного спутника через координаты i -го навигационного спутника (x_i, y_i, z_i) и координаты потребителя (x, y, z) имеет следующий вид [3]:

$$PR_i = PR(x, y, z, h_i, x_i, y_i, z_i) + \Delta_i, \quad (1)$$

где h_i – погрешность измерения псевдодальности из-за расхождения шкал времени навигационного спутника и аппаратуры потребителя (для одномоментных измерений эта погрешность одинакова для всех навигационных спутников), Δ_i – погрешность измерения псевдодальности.

Перейдем от выражения (1) к выражениям вида:

$$f^{u3M}(\varphi, \lambda, h) = \sum_1^N (PR_i^{u3M} - PR_j^{u3M})^2, \quad i \neq j, \quad (2)$$

$$f(\varphi_0, \lambda_0, h_0) = \sum_1^N (PR_i - PR_j)^2, \quad i \neq j, \quad (3)$$

где N – количество космических аппаратов, $\varphi_0, \lambda_0, h_0$ – фиксированные значения параметров, для которых определяются псевдодальности.

Решением задачи будут являться значения параметров φ, λ, h таких, что:

$$\Delta f(\varphi, \lambda, h) = f^{u3M}(\varphi, \lambda, h) - f(\varphi, \lambda, h) | \Delta f(\varphi, \lambda, h) = 0. \quad (4)$$

Для определения φ, λ, h решалось нелинейное (трансцендентное) уравнение с использованием численного метода бисекции [4]. На выбранном участке местности по широте и долготе была построена сетка с некоторым шагом, и решение навигационной задачи осуществлялось в узлах сетки. По минимальной разнице между расчетными положениями точек и истинным ее положением определялось решение задачи определения местоположения по двум навигационным спутникам.

В ходе определения широты и долготы полученные результаты показали, что предложенный

метод хорошо сходится и имеет единственное решение, и кроме того, уход расчетных координат точки от истинного ее положения составил 7,0 м. Таким образом, описанный метод позволил определить координаты по сигналам от двух навигационных спутников, и тем самым – увеличить площадь устойчивого определения местоположения, однако необходимо было искать пути повышения точности позиционирования в условиях ограниченного приема спутникового навигационного сигнала.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОПРАВОК

Одним из основных способов создания высокоточного навигационного поля является использование дифференциального режима, основанного на получении дополнительной информации для определения местоположения в виде поправок. Однако дифференциальный режим не работает, если отсутствует определение местоположения. Поскольку метод, предложенный выше, позволяет определить местоположение по двум навигационным спутникам, возможно использование дифференциального режима для уточнения местоположения приемника. Для формирования поправок и работы в дифференциальном режиме необходимо наличие двух спутниковых приемников или приемоизлучателей. Для формирования поправок в условиях ограниченного приема спутникового сигнала был использован алгоритм [5] и проведена проверка работоспособности алгоритма в условиях ограниченного приема спутникового сигнала по двум навигационным спутникам на лабораторном стенде.

Пусть приемоизлучатель 1 (база) и приемоизлучатель 2 (потребитель) расположены в точках 1 и 2 пространства, причем приемоизлучатель 1 геодезически точно привязан к принятой системе координат. Для применения метода поправок к псевдодальностям определяются разности между измеренными приемоизлучателями 1 и рассчитанными в нем значениями псевдодальностей «видимых» космических аппаратов, а также разности соответствующих псевдодальностей по линии передачи данных, которые передаются в виде дифференциальных поправок приемоизлучателя 2, в котором они вычитаются из измеренных приемоизлучателем 2 псевдодальностей и псевдоскоростей.

Использование метода поправок к псевдодальностям предпочтительнее, чем использование поправок к координатам. Предварительный анализ решения навигационной задачи показал, что если все псевдодальности изменить на одну и ту же величину, то результат решения навигаци-

онной задачи не изменится (так называемый псевдодальномерный метод определения координат навигационного приемника). На этом факте и основан принцип уточнения определения местоположения с использованием поправок к псевдодальностям: соотношение между псевдодальностями должно стремиться к теоретически рассчитанному соотношению расстояний до спутников видимого созвездия.

При проведении эксперимента использовались два одночастотных приемника «Геос-1» (Россия), позволяющие получить текущие псевдодальности до навигационных спутников. Первый приемник располагался на крыше здания и имел благоприятные условия приема сигналов спутниковых радионавигационных систем, второй приемник располагался на окне, и стена дома экранировала прием спутниковых сигналов, вследствие чего условия приема сигналов являлись неблагоприятными. На эти же моменты времени определялись теоретически рассчитанные точные значения псевдодальностей, полученные по специально разработанной математической модели определения положения навигационных спутников на расчетный текущий момент времени для точки с точно измеренными координатами, в которой находится приемник «Геос-1». Модель и реализующая ее программа работали в реальном масштабе времени и позволяли в каждый момент приема псевдодальностей определять видимое созвездие. Эта же модель по полученным псевдодальностям до видимых навигационных спутников позволяла получить оптимальное рабочее созвездие и произвести решение навигационной задачи, результатом которого является получение координат (широты и долготы), а также высоты нахождения приемника.

В ходе проведения эксперимента по показателям «Геос-1» (приемник 1) поступали псевдодальности и передавались на приемник 2, и на основании полученной информации происходило определение поправок к псевдодальностям по каждому космическому аппарату видимой группировки. Затем полученные поправки передавались в программу, регистрирующую псевдодальности с приемника, расположенного на окне (приемник 2). Полученные с приемника 1 поправки использовались для корректировки псевдодальностей приемника 2. Осуществлялось решение навигационной задачи, определялись координаты точки. Для исследований влияния использования поправок на точность определения местоположения координаты точки рассчитывались как без учета поправок к псевдодальностям, так и с учетом поправок. Результаты реги-

стрировались на приемнике 2 параллельно для последующей постобработки.

Результаты проведенных экспериментов позволяют отметить следующее:

1. В ходе проведения эксперимента подтвердились теоретические предпосылки формирования дифференциальных поправок к псевдодальностям. Ценность проведенного эксперимента заключается в том, что появилась возможность исследовать влияние различных факторов на результат определения местоположения с использованием дифференциальных поправок — для данного конкретного региона или локальной области — в условиях ограниченного приема спутникового сигнала.

2. Полученные результаты показали работоспособность макета формирования дифференциальных поправок.

3. В ходе проведения эксперимента оказалось, что псевдодальности одночастотного приемника «Геос-1» колеблются от 18 до 32 км, вместе с тем фактическое положение навигационных спутников находится на расстоянии от 20 до 25 км. Несмотря на это, псевдодальномерный метод позволяет получить результат позиционирования с приемлемой точностью.

4. Использование дифференциальных поправок только к псевдодальностям позволило повысить точность позиционирования на 2,6 м. В дальнейшем предполагается по аналогичному алгоритму формировать поправки к псевдофазам поступающих спутниковых сигналов.

Выводы

Таким образом, предложенный метод определения местоположения позволил в условиях поступления сигнала от двух навигационных спутников:

— получить определение местоположения в принципе;

— получить более точные значения координаты точки по сравнению с полученным традиционным методом.

Литература

1. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. — ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. — М.: Изд-во ЦНИИГАиК, 2002.
2. Яценков Б.Б. Спутниковые радионавигационные системы. — М.: «Каталог», 2002.
3. Конин В.В., Конин Л.А. Спутниковые системы навигации. — Киев, 2008.
4. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. — М.: «Наука», 1989.
5. Шебшаевич В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. — М.: «Радио и связь», 1993.