

Совершенствование алгоритмов вторичной обработки радионавигационных измерений за счет уменьшения погрешностей, обусловленных крупномасштабными неоднородностями ионосферы

Савочкин П.В.

к.т.н.

Шпаков А.П.

к.т.н.

Никифоров С.В.

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

Аннотация

Для повышения качества вторичной обработки радионавигационных измерений предложен вариант устранения ошибок, обусловленных неточным знанием параметров среды распространения сигнала, а именно ионосферы. Модель среды распространения сигнала корректируется на основе данных, получаемых от широкозонных дифференциальных систем спутниковой радионавигации. С использованием скорректированной модели проводится расчет комплексной составляющей погрешности измерений, в которой учитывается влияние крупномасштабных ионосферных неоднородностей.

Ключевые слова: алгоритм; вторичная обработка; радионавигационные измерения; неоднородности ионосферы; распространение сигнала.

Введение

Обработка радионавигационных измерений в наземном комплексе управления строится по классическому алгоритму, использующему три основных этапа: первичной, предварительной и вторичной обработки. Целью обработки является определение параметров траектории объекта, однозначно описывающих его движение в выбранной системе координат, таких как координат центра масс, вектора скорости движения.

На этапе первичной обработки формируется оценка вектора параметров сигнала, который включает в себя время запаздывания сигнала, доплеровский сдвиг частоты, углы прихода сигнала и т.д.

На этапе предварительной обработки решаются задачи: преобразования результатов измерений в цифровую форму и пересчет оценки вектора параметров сигнала в оценки навигационных параметров (координат объекта, скорости его движения, высоты, угла крена и т.д.). Кроме того осуществляется статическое сглаживание и сжатие данных, привязка информации к шкале единого времени, компенсация систематических погрешностей измерений и ряд других технологических операций.

Наиболее сложным и трудоемким этапом обработки радионавигационных измерений является этап вторичной обработки, связанный с получением оценок параметров траектории объекта в ходе статистической обработки массива данных, сформированного в результате предварительной обработки [1].

Из этапов первичной и предварительной обработки ясно, что на точность решения навигационной задачи существенное влияние оказывает информативность измерительной выборки, которая в свою очередь зависит от качества принимаемого сигнала.

Факторами, влияющими на качество принимаемого сигнала и, соответственно, на точность измерения навигационных параметров являются:

- отношение энергии принимаемого сигнала к энергии шумов;
- форма зондирующего сигнала;
- степень совершенства исполнения отдельных узлов радиотехнического измерительного устройства;

– условия распространения радиоволн и др.

Первые три фактора учитываются при проектировании радионавигационной аппаратуры и могут корректироваться за счет ее модернизации. Учет влияния условий распространения является наиболее трудоемким и основополагающим фактором, определяющим точность решения навигационной задачи.

Радиотехнические методы измерения навигационных параметров объекта базируются на постоянстве и прямолинейности распространения электромагнитных волн. На практике это допущение не выполняется из-за физических свойств атмосферы. Тропосферная и ионосферная рефракции приводят к искривлению траектории распространения радиоволн. В связи с этим требуется постоянный учет такого искривления в виде поправок к измерениям навигационных параметров: дальности, радиальной скорости и углов прихода сигналов.

Таким образом, для учета влияния условия распространения радиоволн требуется как можно точнее определить связь характеристик сигнала с параметрами среды распространения. В свою очередь, параметры среды распространения задаются моделями.

Тропосферная составляющая погрешности измерений является высотозависимой и не зависит от частоты излучения сигнала. Поэтому эта погрешность достаточно просто компенсируется с использованием моделей тропосферы в которых корректирующими величинами являются метеопараметры (температура, влажность, атмосферное давление) в районе работы радионавигационной станции.

Определение ионосферной составляющей погрешности представляет собой более сложную задачу. Так же как для тропосферы требуются ионосферные модели. В настоящее время существуют десятки моделей ионосферы. Все их можно разделить на три основных группы: модели, основанные на значительном объеме данных, полученных в результате наблюдений за ионосферой в течении десятилетий, называемые эмпирическими, теоретические модели, основанные на чисто математическом описании ионосферы, и гибридные, сочетающие в себе элементы эмпирических и теоретических моделей. Для навигационного обеспечения от модели требуется выдавать пространственно-временное распределение электронной концентрации в реальном масштабе времени.

Имеющиеся в настоящее время модели ионосферы не могут обеспечить радионавигационные системы данными по концентрации электронов в пространстве и времени, которые имели бы достаточную точность с учетом текущих гео- и гелиофизических условий. Как было сказано выше, в соответствии с современными требованиями модель должна в масштабе времени близком к реальному выдавать распределение электронной концентрации в области с горизонтальным размером порядка нескольких тысяч километров. Исходя из выше сказанного, необходима корректировка модели ионосферы в реальном масштабе времени.

В зависимости от требований, которые предъявляются к радионавигационным системам, определение навигационных параметров объекта проводится как в реальном масштабе времени, так и в результате постобработки. В любом из этих вариантов скорректированные ионосферные данные должны быть получены на момент проведения измерений.

В результате проведенных исследований был разработан один из вариантов коррекции отечественной модели ионосферы SPIM [2] по данным об ионосферных задержках сигналов спутниковых радионавигационных систем, которые передаются потребителям широкозонных дифференциальных систем (ШДС) SBAS (Space Based Augmentation System) (рис. 1) [3]. ШДС служит для повышения точности позиционирования навигационных систем. Принцип ее действия заключается в том, что данные о поправках ретранслируются с геостационарных спутников в реальном масштабе времени. Сигнал с поправками содержит в себе большой массив информации: данные об орбитальной группировке навигационных космических аппаратов, дату, точное время, ионосферные задержки и ряд другой служебной информации. В результате ее учета в навигационной аппаратуре значительно повышается точность навигационного обеспечения.

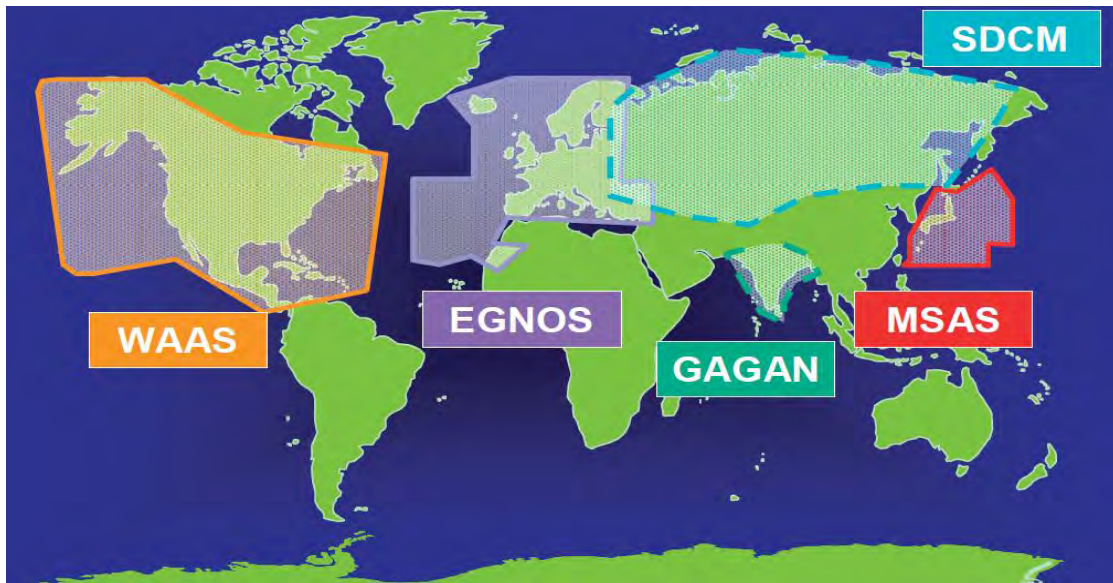


Рис. 1. Области покрытия земной поверхности широкозонными дифференциальными системами

Суть метода коррекции модели ионосферы заключается в поиске минимума квадрата нормы невязки между рассчитанной по модели ионосферной поправкой по дальности (l_p , (м)) и полученной в узлах сетки SBAS l_i , (м), в соответствии с выражением $F(W) = \|l_p - l_i\|^2$, где в качестве параметра оптимизации выступает индекс солнечной активности W . После оптимизации имеется набор рассчитанных индексов солнечной активности для каждого узла сетки SBAS, отличающихся от прогнозных индексов и отражающих состояние ионосферы в конкретный момент времени с имеющимися неоднородностями. На основе рассчитанных индексов солнечной активности модель ионосферы позволяет определить значения концентрации электронов в соответствии с текущими гео- и гелиофизическими условиями.

Эффективность данного метода была проверена в европейском регионе, по имеющимся данным станций вертикального зондирования ионосферы. Для координат, совпадающих с координатами пунктов вертикального зондирования (ВЗ), были получены значения оптимизированных индексов солнечной активности. Результат обработки поправок представлен на рисунке 2 в виде карты индексов для произвольно выбранной даты и времени. Сплошными линиями обозначены линии уровней индекса, а цифрами, его значения, полученные с помощью оптимизации. Из рисунка 2 прослеживается суточное движение локальных неоднородностей, особенно это заметно на широтах выше 50° . Это дает возможность отслеживать движения как глобальных, так и локальных возмущений.

Рисунок 3 демонстрирует результат сравнения величин критических частот слоя $F2$ ионосферы для пункта п. Горьковская, Ленинградской области с координатами (60,2664N; 29,4114E). Штриховой линией (SPIM_SSN=116) показаны результаты вычислений суточного хода критической частоты слоя $F2$ (f_oF2) по модели ионосферы, с заданным на эту дату индексом, сплошной линией (IS) – f_oF2 , полученной по данным соответствующих станций вертикального зондирования ионосферы, а точками (SPIM_ОПТ) – f_oF2 , вычисленной по оптимизированным индексам, на основе данных об ионосферных задержках. Из рис. 3 видно, что модель довольно хорошо отражает динамику изменения критической частоты на данных широтах со средним отклонением, величина которого составляет приблизительно 1 МГц для средних широт.

Предстартовая подготовка на космодроме

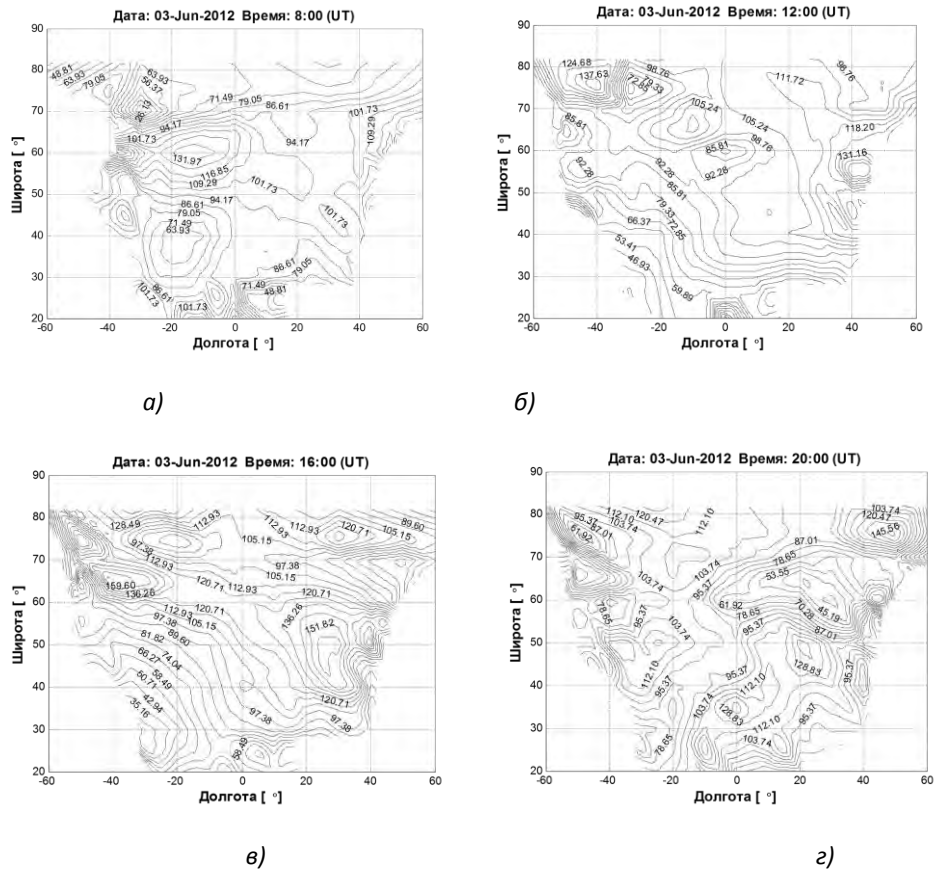


Рис. 2. Карты ИИСА для четырех моментов времени 3 июня 2012 года: а) 8:00 (UT); б) 12:00 (UT); в) 16:00 (UT); г) 20:00 (UT)»

В результате проведения коррекции модели ионосферы предложенным методом становится возможным рассчитать комплексную составляющую погрешности измерений с учетом реальных гео- геофизических условий, и тем самым повысить точность измерительной информации, поступающей на вторичную обработку. Кроме того корректировка модели ионосферы в реальном масштабе времени в алгоритме вторичной обработке позволяет отслеживать и реагировать на вариации электронной концентрации в том числе на появление неоднородностей электронной концентрации, что повышает точность оценки навигационных параметров и собственно вторичной обработки.

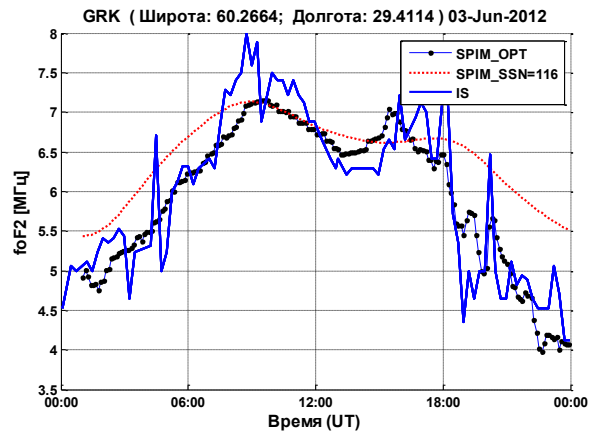


Рис. 3. Результат сравнения величины критических частот слоя F2 для пункта расположения станции вертикального зондирования ионосферы

Литература

1. Губин В.А., Клюев Н.Ф., Костылев А.А. и др. Основы радионавигационных измерений. МО СССР. 1987.
2. Gulyaeva T.L., Huang X., and Reinisch B.W. "The Ionosphere-plasmosphere model software for ISO", Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica v. 39. №3. 2002.
3. Михайлов С.А., Кульнев В.В. Анализ направлений и состояния разработок функциональных дополнений к спутниковым радионавигационным системам. Беспроводные технологии. № 4. 2001. С. 64–71.

Для цитирования:

Савочкин П.В. Шпаков А.П. Никифоров С.В. Совершенствование алгоритмов вторичной обработки радионавигационных измерений за счет уменьшения погрешностей, обусловленных крупномасштабными неоднородностями ионосферы // *i-methods*. 2009. Т. 1. № 1. С. 5–9.

Improvement of algorithms for secondary processing the radio navigation measurements by reducing errors originating in large-scale inhomogeneities in the ion-sphere

Savochkin P.V.

Ph.D.

Shpakov A.P.

Ph.D.

Nikiforov S.V.

Military space Academy named after A.F. Mozhaisky

Abstract

To improve the quality of secondary processing of navigation measurements offered the option of eliminating errors due to inaccurate knowledge of parameters of the medium of propagation, namely the ionosphere. Model of the environment the signal propagation is adjusted on the basis of data from wide-area differential satellite navigation systems. Using the adjusted model calculates an integrated component of the measurement error, takes into account the influence of large-scale ionospheric inhomogeneities.

Keywords: algorithm; secondary processing; radio navigation measurements; inhomogeneity of the ionosphere; signal distribution.

References

1. Gubin V.A., Klyuev N.F., Kostylev A.A. and others fundamentals of radio navigation measurements. THE USSR MINISTRY OF DEFENSE. 1987.
2. Gulyaeva T.L., Huang X., and Reinisch B.W. "The Ionosphere-plasmosphere model software for ISO", Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica v. 39. №3. 2002.
3. Mikhailov A.S., Kulnev V.V. Analysis of trends and state of development functional to Panini to satellite navigation systems. Wireless technologies. No. 4. 2001. Pp. 64–71.

For citation:

Savochkin P.V. Shpakov A.P. Nikiforov S.V. Improvement of algorithms for secondary processing the radio navigation measurements by reducing errors originating in large-scale inhomogeneities in the ion-sphere // *i-methods*. 2009. Vol. 1. No. 1. Pp. 5–9.