

УДК 519.865

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОРРЕКЦИИ ПОКАЗАНИЙ БИНС ПРИ ПОМОЩИ АСТРОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

К.Г.Лукин, Д.В.Павлов, М.Н.Петров*

THE DEVELOPMENT OF CORRECTION ALGORITHM FOR THE READINGS OF PLATFORMLESS INS USING ASTRONAVIGATION SYSTEM

K.G.Lukin, D.V.Pavlov, M.N.Petrov*

ЗАО «ЭЛСИ», Великий Новгород, lukinkg@mail.ru

* Институт электронных и информационных систем НовГУ, Mikhail.Petrov@novsu.ru

Представлена методика коррекции показаний бесплатформенной инерциальной навигационной системы при помощи методов астронавигации и выполнена ее апробация на специально разработанном стенде.

Ключевые слова: астронавигация, бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС)

This article presents the method for correcting the readings of platformless inertial navigation system using astronavigation methods. The method testing is carried out on a specially designed stand.

Keywords: astronavigation, platformless inertial navigation system (platformless INS)

1. Введение

Системы навигации служат для определения координат местоположения летательного аппарата в пространстве (географические широта и долгота, высота полета). Неотъемлемой частью навигационных систем являются системы угловой ориентации, которые служат для определения углового положения

летательного аппарата относительно опорной системы координат [1].

Подавляющее большинство присутствующих на рынке систем относится либо к спутниковым, либо к инерциальным. Чувствительными элементами инерциальной системы навигации (ИНС) являются датчики абсолютных угловых скоростей (гироскопы) и датчики линейного ускорения (акселерометры).

Скорость вращения летательного аппарата относительно связанной системы координат и действующие ускорения являются единственными источниками информации для ИНС. Основной проблемой при модернизации таких систем навигации является повышение точности определения местоположения при сохранении полной автономности.

Основной идеей инерциальной навигации является двукратное интегрирование измеренных ускорений. При этом количество датчиков должно быть таким, чтобы обеспечить получение информации о векторе кажущегося ускорения и векторе абсолютной угловой скорости объекта.

Главным источником погрешностей при определении ориентации объекта в пространстве являются собственные дрейфы гироскопов и акселерометров.

Развитие науки и техники позволяет создавать более точные датчики с меньшими значениями дрейфа, однако даже в случае использования наиболее совершенных на сегодняшний день электростатических гироскопов полностью избавиться от этого искажающего фактора невозможно.

Вследствие накопления ошибки в определении положения объекта необходимо производить корректировку алгоритма вычисления параметров ориентации. Коррекцию можно осуществлять в моменты времени, когда объект движется прямолинейно и равномерно. В режиме корректировки необходимо получить дополнительную информацию для вычисления поправочных значений. Как правило, дополнительная информация принимается от бортовой спутниковой системы навигации (GPS/ГЛОНАСС). Однако в ряде случаев использование сигналов с навигационных спутников невозможно, поэтому для сохранения автономности навигационной системы был предложен алгоритм коррекции на основе данных о положении астроориентиров. Реализация такой системы предполагает решение ряда задач:

- определение участков неба, где в данный момент времени возможно наблюдение астроориентиров;
- идентификация светила по изображению с камеры;
- определение координат места наблюдения по результатам наблюдения нескольких астроориентиров.

2. Методика определения положения наблюдателя по наблюдениям нескольких светил

Метод определения места по наблюдениям высот небесных светил был предложен Т.Сомнером в 1843 г. Существуют модификации метода Сомнера, при которых используются данные измерения азимута светила (так называемые высотно-азимутальные методы). Наконец, в последние десятилетия разрабатываются методы абсолютного типа, при которых определение местоположения наблюдателя производится без предварительного знания исходных (счислимых) координат [2,3].

Большинство способов определения местоположения по наблюдениям светил основано на соотношении:

$$\sin \alpha_i = \sin \varphi \sin \delta_i + \cos \varphi \cos \delta_i \cos(GST - \alpha_i + \lambda), \quad (1)$$

где α_i — наблюдаемая высота i -го светила; δ_i , α_i — его склонение и восхождение; φ , λ — искомые координаты места; GST — гринвичское звездное время.

Искомые величины можно получить как путем прямого аналитического решения, так и посредством итерационного метода решения задачи (дифференциальный метод). В практическом использовании наиболее распространен метод высотных линий положения (ВЛП), базирующийся на численном решении системы n трансцендентных уравнений типа $f(x) = \sin(x)$ методом Ньютона.

3. Разработка методики коррекции показаний БИНС при помощи астронавигационной системы

Для моделирования режима астрокоррекции был выбран метод определения координат, основанный на алгебраическом решении системы уравнений (1).

Входными данными являются углы места и азимуты наблюдаемых светил и точное время их наблюдения.

Разработанный алгоритм коррекции показаний бесплатформенной инерциальной навигационной системы при помощи наблюдения астроориентиров можно представить в следующем виде:

1. На основе данных о текущем времени рассчитывается каталог звездных параметров (склонение и прямое восхождение) и создается список участков неба, в которых возможно наблюдение астроориентиров. Пересчет звездного каталога для текущего момента времени осуществляется в соответствии со следующими выражениями:

$$r(t) = P^T \cdot N^T \cdot r(t_0) + \Delta, \quad (2)$$

где Δ — поправка на рефракцию атмосферы; $r(t)$ — радиус-вектор в направлении звезды эпохи t ; $r(t_0)$ — радиус-вектор в направлении звезды эпохи t_0 ; P^T — матрица прецессии (транспонированная);

$$P^T = R_3(-z_A) \cdot R_2(\theta_A) \cdot R_3(\vartheta_A), \quad (3)$$

где z_A , θ_A , ϑ_A — углы Эйлера-Ньюкомба; $R_3(-z_A)$, $R_2(\theta_A)$, $R_3(\vartheta_A)$ — матрицы преобразования углов прецессии земной оси.

$$N^T = R_1(-\varepsilon - \Delta\varepsilon) \cdot R_3(\Delta\psi) \cdot R_1(\varepsilon), \quad (4)$$

где ε — угол между линией среднего экватора и линией эклиптики даты; $\Delta\varepsilon$ — угол между линией среднего экватора и линией истинного экватора (нута́ция в наклоне); $\Delta\psi$ — угол нута́ции по долготе; $R_1(-\varepsilon - \Delta\varepsilon)$, $R_3(\Delta\psi)$, $R_1(\varepsilon)$ — матрицы преобразования углов нута́ции земной оси.

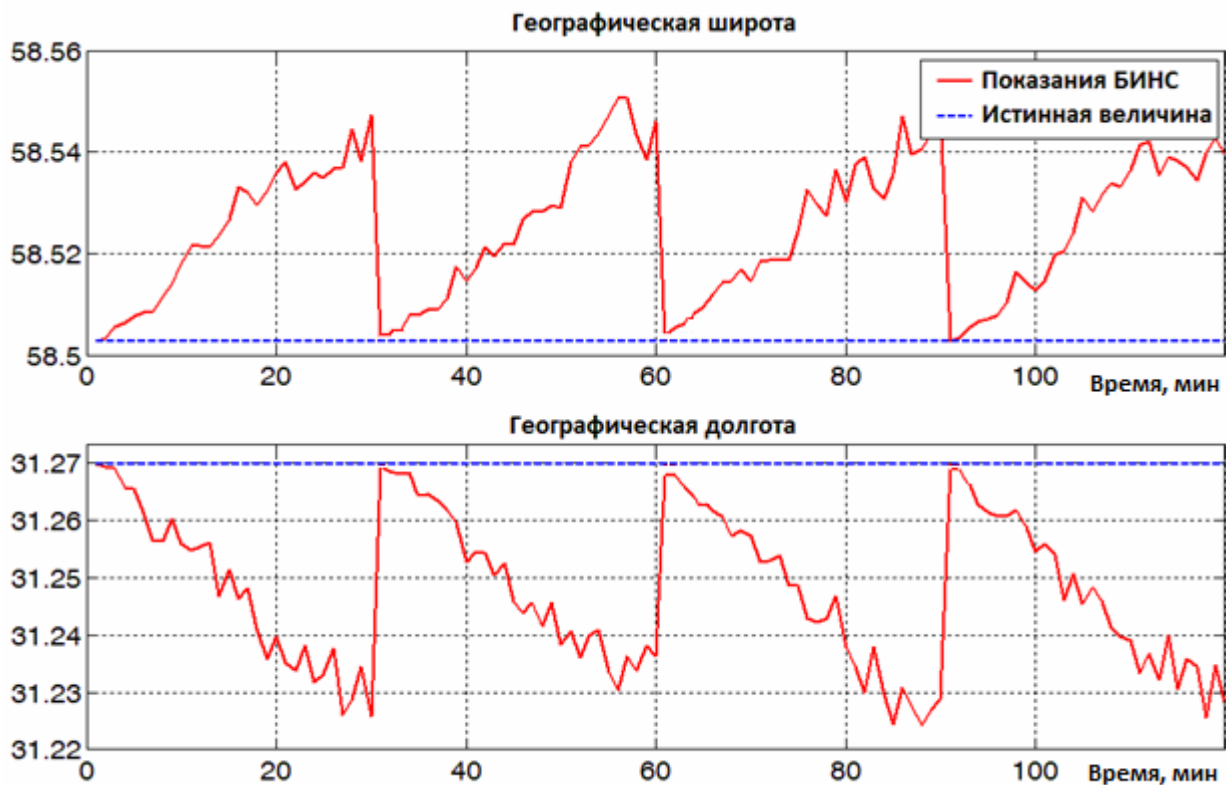
2. Выполнение сортировки полученного списка по уровню светимости звезд в необходимом спектральном диапазоне.

3. Осуществление последовательного сканирования участков неба в соответствии с полученным списком до обработки параметров трех астроориентиров.

4. Поскольку в базовой системе уравнений (1) используются экваториальные координаты светил, необходимо перейти от горизонтальных координат к экваториальным в соответствии с выражениями [4]:

$$\sin \delta_i = \sin \alpha_i \sin \varphi + \cos \alpha_i \cos \varphi \cos A_i, \quad (5)$$

$$\cos H_i = \frac{\sin \alpha_i - \sin \varphi \sin \delta_i}{\cos \varphi \cos \delta_i}, \quad (6)$$



Коррекция показаний БИНС при помощи астронавигационной системы

где α_i — угол места i -го светила; A_i — азимут i -го светила; φ — географическая широта наблюдателя; H_i — часовой угол.

Для вычисления экваториальных координат светил на базе выражений (5) и (6) используются географические координаты, значения которых поставятся с бесплатформенной навигационной системы (БИНС), после чего выполняется решение данных уравнений относительно склонения светила и его часового угла.

5. Подставляя значения прямого восхождения светил, их склонения и высоты в выражение (1), получаем систему трансцендентных уравнений относительно искомым географических координат φ , λ . Решение данной системы уравнений выполняется методом наименьших квадратов.

6. В соответствии с рассчитанными координатами производится идентификация астроориентира по звездному каталогу.

7. Производится расчет эфемеридных значений угла места и азимута.

8. Проводится расчет величины местного часового угла и прямого восхождения.

9. Пункты 4-8 повторяются для трех различных светил.

10. Производится расчет географических координат места наблюдения небесных светил на основе системы уравнений (1).

11. На основе полученных данных вычисляются поправки к показаниям БИНС.

4. Экспериментальная апробация разработанного алгоритма

Для апробации алгоритма разработан стенд, который представляет собой фоточувствительную матрицу с зеркально-линзовым объективом, закрепленные на платформе, обеспечивающей свободное вращение камеры по углу места и азимуту. Наклонно-поворотная платформа оснащена высокочувствительными датчиками углового положения.

В соответствии с приведенным ранее алгоритмом проводится расчет поправок к показаниям БИНС.

На рисунке представлены результаты апробации вышеописанного метода на проверочном стенде.

Как видно на рисунке, со временем из-за собственного дрейфа чувствительных элементов БИНС появляется уход расчетных координат от истинного значения. Как только в систему поступает информация о горизонтальных координатах трех астроориентиров, производится пересчет географических координат места наблюдения и корректирующих показателей для БИНС. Видно, что в результате использования данной методики коррекции показаний БИНС удается повысить точность определения географических координат до 0,01 градуса (по долготе и широте), что составляет 1,11 км.

Выводы

Разработан алгоритм расчета корректирующих поправок к показаниям бесплатформенной инерциальной системы навигации на основе данных о горизонтальных координатах наблюдаемых астроориентиров. Данный алгоритм прошел апробацию на стенде.

Bibliography (Transliterated)

-
1. Распопов В.Я. Микросистемная авионика: учебное пособие. Тула: Гриф и К, 2010. 248 с.
 2. Верюжский Н.А. Мореходная астрономия. Основы сферической астрономии. Звездное небо и ориентирование по звездам. Координаты небесных светил. Видимое суточное движение светил. Учебно-методическое пособие. М.: РКонсульт, 2006. 164 с.
 3. Кондратьев Н.Я. Астрономия в авиации. М.: Военное изд-во военного министерства ССР, 1952. 128 с.
 4. Дaffет-Смит П. Практическая астрономия с калькулятором / Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 176 с.
 1. Raspopov V.Ia. Mikrosistemnaia avionika: uchebnoe posobie. Tula: Grif i K, 2010. 248 s.
 2. Veriuzhskii N.A. Morekhodnaia astronomiia. Osnovy sfericheskoi astronomii. Zvezdnoe nebo i orientirovanie po zvezdam. Koordinaty nebesnykh svetil. Vidimoe sutochnoe dvizhenie svetil. Uchebno-metodicheskoe posobie. M.: RKonsul't, 2006. 164 s.
 3. Kondrat'ev N.Ia. Astronomiia v aviatsii. M.: Voennoe izd-vo voennogo ministerstva SSR, 1952. 128 s.
 4. Daffet-Smit P. Prakticheskaia astronomiia s kal'kulatorom / Per. s angl. M.: Mir, 1982. 176 s.