

УДК 681.5.08

**ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ, ЗАТРАЧИВАЕМОГО НА ОТРАБОТКУ АЛГОРИТМА КОРРЕКЦИИ
ПОКАЗАНИЙ БИНС ПРИ ПОМОЩИ АСТРОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

К.Г.Лукин, М.Н.Петров*, Д.В.Павлов

**ESTIMATION OF TIME REQUIRED FOR THE STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM
ERROR CORRECTION USING THE TECHNIQUES OF CELESTIAL NAVIGATION**

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

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

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

В данной работе выполнена оценка временных характеристик методики коррекции показаний бесплатформенной инерциальной навигационной системы при помощи методов астронавигации, а также рассмотрены некоторые факторы, влияющие на длительность одного цикла астрокоррекции.

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

Temporal characteristics of the method of inertial navigation system error correction using techniques of celestial navigation were estimated. Some factors affecting the duration of one cycle of astrocorrection are considered.

Keywords: *celestial navigation, strapdown inertial navigation system (SINS), astrocorrection*

Введение

Инерциальные навигационные системы являются сейчас наиболее высокоточными автономными системами навигации. Однако любая, даже самая высокоточная, БИНС со временем накапливает погрешности из-за собственного дрейфа чувствительных элементов, что приводит к уходу расчетных координат от истинного значения. Поэтому таким системам необходима периодическая внешняя корректировка показаний.

Величина накопленной ошибки зависит от класса инерциального измерительного модуля (ИИМ), применяемого в БИНС. В настоящее время выпускается большое число различных ИИМ, отличающихся по точности, габаритным размерам и стоимости. Для рассматриваемой в данной работе ИИМ авиационного класса величина накопленной ошибки определения координат составляет не более 1,5 км в первый час работы. Сравнение точностных характеристик некоторых типов ИИМ представлено в табл.1 [1].

Таблица 1
Точностные характеристики ИИМ различных классов

Класс ИИМ	Уход акселерометров, м/с ²	Уход гироскопов, рад/с
Морские	10^{-4}	$5 \cdot 10^{-9}$
Авиационные	$3 \cdot 10^{-4} — 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Промежуточные	$10^{-3} — 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Тактические	$10^{-2} — 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Автомобильные	$>10^{-1}$	$>5 \cdot 10^{-4}$

В табл.2 представлена оценка точности определения местоположения для различных типов ИИМ [2].

Таблица 2
Оценка точности определения местоположения

Класс ИИМ	Ошибка, накопленная за интервал времени 100 с, м	Интервал времени, за который происходит накопление ошибки 100 м, с
Морские	0,9	980
Авиационные	3,1	580
Промежуточные	10,2	325
Тактические	87,3	110
Автомобильные	867,7	35

Одним из способов уточнения навигационных данных при сохранении полной автономности системы является коррекция показаний БИНС при помощи астронавигационной системы. Ранее в работе [3] был предложен алгоритм и устройство для астрокоррекции. Однако в ней не была выполнена оценка длительности цикла астрокоррекции, величина которой должна иметь запас по сравнению с интервалом времени, в течение которого происходит накопление заданного в требуемых навигационных характеристиках критического значения ошибки. В случае превышения этого значения предлагаемая методика астрокоррекции будет неэффективной.

В данной работе рассмотрены основные факторы, влияющие на длительность цикла астрокоррекции, такие как время наблюдения, вибрации носителя, точность и скорость позиционирования объекта на необходимый участок неба. Далее путем суммирования временных значений отдельных факторов выполнена оценка длительности цикла астрокоррекции.

Для БИНС авиационного типа точность определения местоположения в соответствии с требуемыми навигационными характеристиками (RNP-0,5) должна быть не хуже 0,5 морской мили (926 м) за все время полета [4]. Такая величина ошибки накопится примерно за 1 час полета.

Оценка длительности цикла коррекции показаний БИНС

Наиболее сложной задачей является наблюдение астроориентиров в дневное время. Основной проблемой дневного наблюдения звезд является высокий уровень яркости неба. Для безошибочного обнаружения звезды алгоритмом необходимо, чтобы величина отклика в самом ярком пикселе изображения астроориентира превышала хотя бы в 5 раз среднеквадратичную величину (СКВ) фона. При наблюдении астроориентиров в окрестностях Солнца, уровень отклика от звезды на матрице всего лишь в 1,5 раза выше СКВ фона.

Для повышения величины отклика до необходимого значения была предложена методика выполнения серии снимков с последующим усреднением. Экспериментально установлено, что серия из 30 кадров позволяет повысить уровень отклика от звезды до 7 раз относительно СКВ фона, что является компромиссной величиной между необходимой точностью и временем, затрачиваемым на эту процедуру. К дополнительным преимуществам предложенной методики следует отнести уменьшение уровня случайного фотонного шума и повышение отношения сигнал/шум (рис.1).

Поскольку частота получения кадров с фоточувствительной матрицы составляет 2 Гц, время, необходимое для выполнения процедуры усреднения снимков от трех звезд в стационарном режиме составит $3 \cdot 15 \text{ сек} = 45 \text{ сек}$.

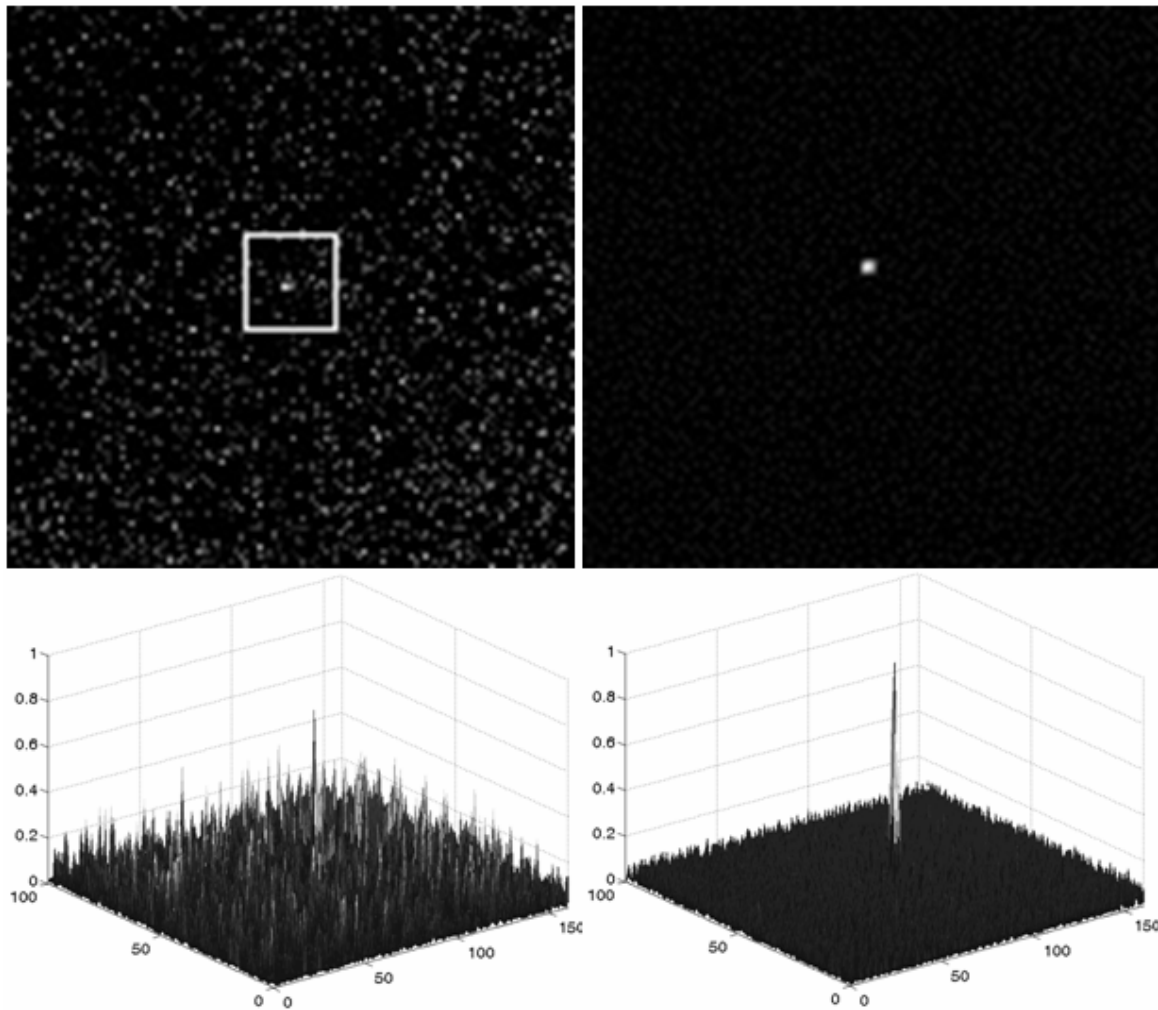


Рис.1. Изображение звезды на одном кадре (слева) и усредненная последовательность из 30 кадров (справа)

Однако в условиях реального полета в отдельные промежутки времени условие стационарности может быть нарушено. Так, при установке системы на подвижный носитель необходимо учитывать колебания его положения вокруг центра масс. Из данных, приведенных на рис.2, видно, что на некоторых участках полета (примерно 35% от общего времени полета) угловая скорость может достигать величины в 1 град/с и более. Время накопления сигнала ограничено условием стационарности света от астроориентира на плоскости фото-

чувствительной матрицы во время экспонирования. Если перемещение астроориентира в кадре составляет более 3 пикселей, то кадр считается непригодным для дальнейшей обработки. Анализ каждого кадра также занимает некоторое время (около 0,5 с), что приводит к увеличению времени накопления серии для одной звезды до 25 секунд. А поскольку получение кадров, пригодных для дальнейшей обработки, возможно только в 65% из всего времени полета, то это приводит к увеличению времени усреднения до $75/0,65 = 115$ сек.



Рис.2. Угловые возмущения носителя

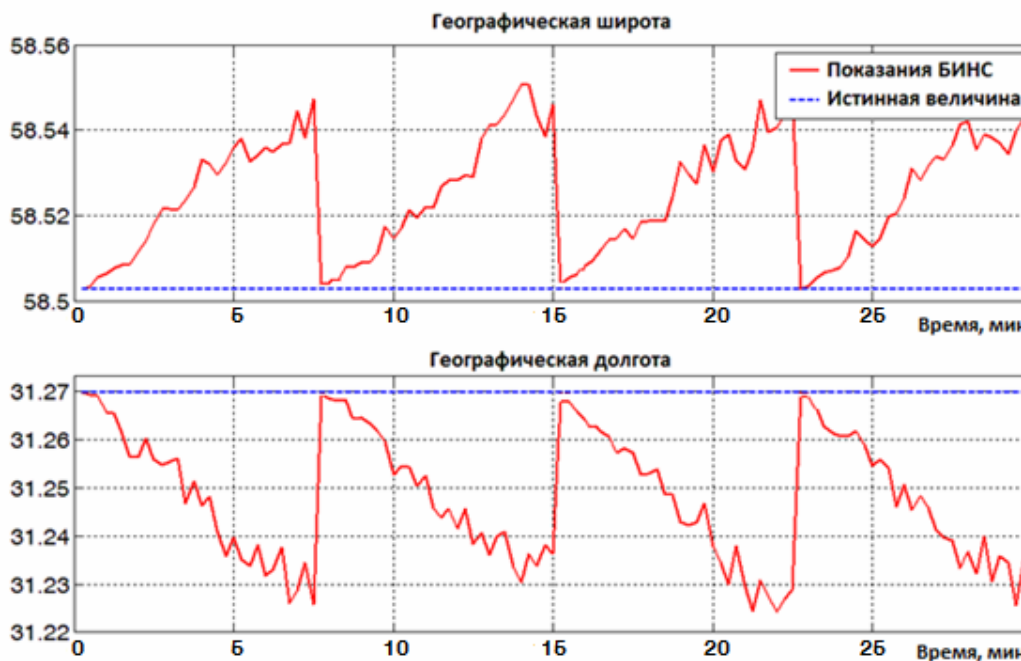


Рис.3. Коррекция показаний БИНС при помощи астронавигационной системы

Учитывая, что время пересчета звездного каталога и наведение телескопа на следующую по списку звезду занимает около 60 секунд, получается, что при установке системы на подвижном основании операция усреднения 30 кадров и определения угловых координат для трех астроориентиров займет около 4 минут 55 сек. Расчет корректирующих значений для БИНС занимает около 50 секунд, что приводит к увеличению длительности цикла астрокоррекции до порядка 6 минут.

При больших значениях угловых скоростей возможен случай, когда астроориентир не попадает в кадр и возникает необходимость наведения телескопа на другую звезду. Также возможен случай, когда звезду не удастся идентифицировать в кадре по причине облачности или слишком яркого фона, если наблюдение производится в окрестностях Солнца. Учитывая все вышесказанное, длительность одного цикла астрокоррекции показаний БИНС может увеличиться до 8 минут (рис.3).

Выводы

Рассмотрены факторы, влияющие на величину времени цикла астрокоррекции. Установлено, что даже при самых неблагоприятных условиях (наблюдение астроориентиров днем в окрестностях Солнца, большое количество кадров, непригодных для дальнейшей обработки) длительность одного цикла астрокоррекции занимает не более 9 минут, что обеспечивает достаточный запас прочности для выполнения коррекции показаний БИНС при помощи астронавигационной системы.

1. Groves P.D. Principles of GNSS, Inertial and Multi-Sensor Integrated Navigation System. Artech House Publ., 2006. 518 p.
2. Елисеев Д.С. Разработка и исследование модели бесплатформенной инерциальной навигационной системы // Молодежь и наука: Сб. мат. VIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section23.html>.
3. Лукин К.Г., Павлов Д.В., Петров М.Н. Разработка алгоритма коррекции показаний БИНС при помощи астронавигационной системы // Вестник НовГУ. Сер.: Физ.-мат. науки. 2013. №75. Т.2. С.31-34
4. Руководство по требуемым навигационным характеристикам (RNP). Изд. второе. Doc 9613-AN/973, ИКАО, 1999. 60 с.

References

1. Groves P.D. Principles of GNSS, Inertial and Multi-Sensor Integrated Navigation System. Artech House Publ., 2006. 518 p.
2. Eliseev D.S. Razrabotka i issledovanie modeli besplatformennoi inertsiial'noi navigatsionnoi sistemy [Designing and investigating a model of strapdown inertial navigation system]. Molodezh' i nauka: Sbornik materialov VIII Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, posviashchennoi 155-letiiu so dnia rozhdeniia K.E. Tsiolkovskogo [Proc. of the 8th All-Russian Science and Technical Conf. of Young Scientists "Young Generation and Science"]. Krasnoyarsk, 2012. Available at: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section23.html>.
3. Lukin K.G., Pavlov D.V., Petrov M.N. Razrabotka algoritma korektsii pokazanii BINS pri pomoshchi astronavigatsionnoi sistemy [The development of correction algorithm for the readings of platformless INS using astronavigation system]. Vestnik NovGU. Ser. Fiziko-matematicheskie nauki – Vestnik NovSU. Issue: Physico-Mathematical Sciences, 2013, no. 75, vol. 2, pp. 31-34.
4. Rukovodstvo po trebuemym navigatsionnym kharakteristikam (RNP) [Manual on Required Navigation Performance (RNP)]. 2nd ed. Doc 9613-AN/973, ICAO, 1999. 60 p.