

Исследование влияния синхронизации данных автоматизированного зенитного телескопа на точность определения астрономических координат

© С. В. Гайворонский, Н. В. Кузьмина, В. В. Цодокова

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», г. Санкт-Петербург, Россия

Работа посвящена исследованию влияния синхронизации данных телевизионной камеры и приемника сигналов спутниковых навигационных систем на точность определения астрономических координат автоматизированным зенитным телескопом. Предложена методика контроля синхронизации, основанная на использовании в качестве опорных данных интервалов времени, рассчитанных по смещению изображений звезд от кадра к кадру. Эффективность методики подтверждена по данным, полученным с помощью экспериментального образца зенитного телескопа.

Ключевые слова: автоматизированный зенитный телескоп, астрономические координаты, синхронизация данных, телевизионная камера, приемник сигналов спутниковых навигационных систем

Введение

Высокоточное определение астрономических координат и составляющих уклонения отвесной линии (УОЛ) необходимо для решения различных геодезических задач. В частности, для астрономо-геодезических сетей 1 и 2 класса в соответствии с «Основными положениями о государственной геодезической сети РФ» астрономические определения координат должны быть выполнены со среднеквадратическим отклонением $0.36''$ по широте и $0.043''$ по долготе [1].

В АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» разработан опытный образец автоматизированного зенитного телескопа (АЗТ), который позволяет оперативно (в течение 1 часа) и с высокой точностью в полевых условиях определять астрономические и геодезические координаты, а также составляющие УОЛ [2]. Принцип действия АЗТ основан на определении зенитных расстояний звезд с известными экваториальными координатами (прямое восхождение α , склонение δ); при этом используется эквивалентность астрономических координат (φ, λ) точки наблюдения и экваториальных координат звезд,

расположенных непосредственно в зените. Эта эквивалентность обусловлена справедливостью следующих соотношений:

$$\varphi = \delta, \quad \lambda = \alpha - \theta, \quad (1)$$

где θ — гринвичское истинное звездное время [3].

Целью наблюдения является регистрация с использованием телевизионной камеры (ТК) последовательности кадров, содержащих изображения звезд, находящихся в околоразенитной зоне (в пределах поля зрения АЗТ). Одновременно с этим производится фиксация времени регистрации кадра при помощи приемника сигналов спутниковых навигационных систем (ПССНС) ГЛОНАСС/GPS. Привязка кадров к шкале точного времени осуществляется по синхронизирующему импульсу, поступающему от ПССНС к ТК. Наблюдения производятся в двух диаметрально противоположных положениях АЗТ (с разворотом прибора на 180°).

Настоящая работа посвящена исследованию влияния синхронизации данных ТК и ПССНС на точность определения астрономических координат.

Методика контроля синхронизации данных ТК и ПССНС

В соответствии с (1) очевидно, что погрешность привязки кадра к шкале точного времени напрямую оказывает влияние на точность определения астрономической долготы. Эта погрешность зависит от погрешностей определения гринвичского звездного времени и синхронизации данных ТК и ПССНС. Погрешность определения гринвичского звездного времени в основном обусловлена погрешностью определения системного времени ПССНС ГЛОНАСС/GPS. Существующие на сегодняшний день ПССНС обеспечивают определение времени в системной шкале со средней квадратической погрешностью (СКП) порядка $100 \div 200$ нс. СКП синхронизации данных ТК и ПССНС, как правило, не превышает 5 мкс. Таким образом, вышеуказанные случайные составляющие погрешности привязки кадра к шкале точного времени практически не оказывают влияние на точность определения астрономической долготы. Однако погрешность синхронизации может иметь и систематическую составляющую, обусловленную сбоями в синхронизации ТК и ПССНС, возникающими, например, при пропадании сигнала от ПССНС или при нарушении последовательности поступления сигнала синхронизации от ПССНС и сигнала о формировании изображения. В результате момент регистрации кадра фиксируется с временным сдвигом на целое число секунд Δt , что приводит к погрешности привязки кадра $\Delta_{\text{ПК}} = 15'' \Delta t$ и погрешности определения астрономической долготы:

$$\Delta_\lambda = \sum_{q=1}^Q \frac{\Delta_{\text{ПК}q}(m - j_q)}{2m}, \quad (2)$$

где q — порядковый номер сбоя синхронизации сигналов ТК и ПССНС ($q = 1 \dots Q$); $\Delta_{\text{ПК}q}$ — погрешность привязки кадра к шкале точного времени, со-

ответствующая q -му сбою синхронизации сигналов ТК и ПССНС; m — количество кадров в серии наблюдения в одном положении АЗТ; j_q — порядковый номер кадра, которому соответствует q -й сбой синхронизации.

Для исключения систематической погрешности, обусловленной сбоями в синхронизации сигналов ТК и ПССНС, необходимо обеспечить ее контроль. Для этого в качестве опорных данных может быть использовано время, рассчитанное по смещению изображений звезд от кадра к кадру. Данная задача решается по следующей методике.

1. Регистрируется серия кадров, содержащих изображения одних и тех же звезд.

2. В каждом кадре определяются координаты энергетических центров изображений звезд и по их смещению относительно первого кадра вычисляется время, прошедшее между регистрацией текущего и первого кадров:

$$\Delta t_{\text{ТК}j} = \frac{\sqrt{M_x^2(x_{ij} - x_{i1})^2 + M_y^2(y_{ij} - y_{i1})^2}}{\omega \cdot \cos(\delta_{ij})}, \quad (3)$$

где x_{ij}, y_{ij} — координаты энергетического центра изображения i -й звезды в j -м кадре; M_x, M_y — масштабные коэффициенты пикселя по осям x и y фотоприемного устройства ТК [2]; ω — угловая скорость вращения Земли; δ_{ij} — склонение i -й звезды на момент регистрации j -го кадра.

3. Время между текущим и первым кадрами определяется по данным ПССНС

$$\Delta t_{\text{ПССНС}j} = t_{\text{ПССНС}j} - t_{\text{ПССНС}1} \quad (4)$$

и сравнивается со временем, рассчитанным по изображениям звезд

$$\Delta t_{ij} = \Delta t_{\text{ТК}j} - \Delta t_{\text{ПССНС}j}. \quad (5)$$

4. Вычисляется среднее значение Δt для текущего кадра

$$\Delta t_j = \sum_{i=1}^{n_j} \Delta t_{ij} / n_j, \quad (6)$$

где n_j — количество звезд в j -м кадре.

5. По разности интервалов времени Δt , определенных в соответствии с (6), оценивается наличие (отсутствие) сбоев синхронизации сигналов ТК и ПССНС.

Проверка эффективности предложенной методики проводилась с использованием экспериментального образца АЗТ (рис. 1), позволяющего имитировать влияние различных факторов.

В экспериментальном образце использовался следующий состав оборудования:

— зеркально-линзовый объектив телескопа Meade LX-90-ACF (Meade, США) с фокусным расстоянием 2000 мм и диаметром входного зрачка 200 мм;

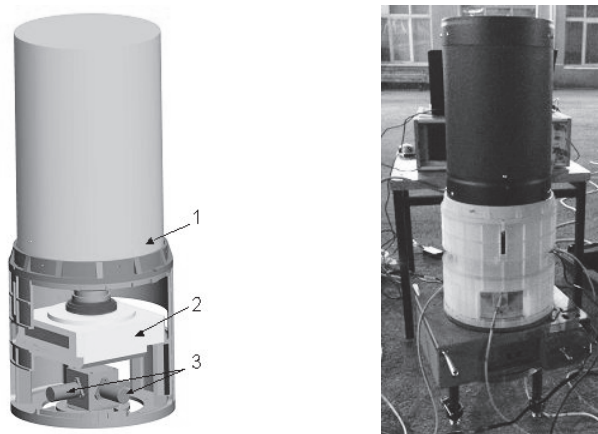


Рис. 1. Экспериментальный образец АЗТ
(1 — объектив; 2 — телекамера; 3 — датчики горизонта)

— телевизионная камера JAI SP-20000-PMCL (JAI Ltd, Япония), построенная на основе 20 мегапиксельной КМОП-матрицы CMOSIS CMV20000 (5120×3840 , размер пикселя 6.4 мкм);

— приемник сигналов спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS JAVAD ALPHA (для формирования секундной метки, привязанной к шкале UTC, и определения геодезических координат);

— электронные датчики горизонта Wyler Zerotronic Type 3 (Wyler, Швейцария).

На рис. 2 представлены разности отрезков времени, определенные при обработке результатов наблюдений, полученных с использованием экспериментального образца АЗТ, в соответствии с предложенной методикой, и значения астрономической долготы до и после коррекции.

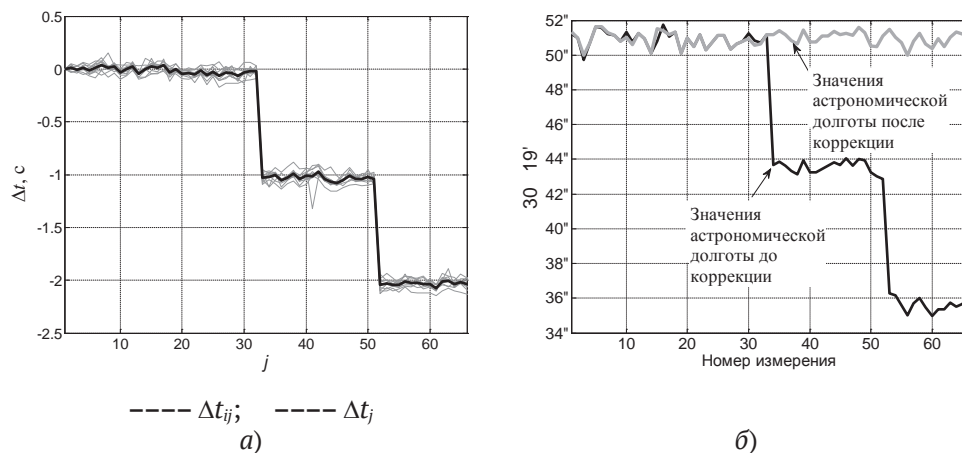


Рис. 2. Разности интервалов времени, определенных по данным ТК и ПССНС, и значения астрономической долготы до и после коррекции

По приведенным на рис. 2а графикам видно, что отклонение времени $\Delta t_{\text{ПССНС}}$ от времени $\Delta t_{\text{ТКij}}$ происходит независимо от выбранной для расчета звезды i , следовательно, не связано с погрешностями определения координат энергетического центра ее изображения, а обусловлено погрешностью привязки кадра к шкале точного времени.

При обработке данных время регистрации кадров корректировалось на величину поправки Δt_i , вычисленной по смещениям изображений звезд от кадра к кадру в соответствии с предложенной методикой (рис. 2а). Указанная коррекция позволила исключить систематическую погрешность определения астрономической долготы, обусловленную сбоями в синхронизации сигналов ТК и ПССНС и составляющую 5.40" (рис. 2б). Также после коррекции существенно снизилось СКО определения астрономической долготы (до коррекции СКО составляло 6.09", после коррекции 0.41"; рис. 2б). Представленные результаты подтверждают эффективность предложенной методики.

Заключение

В работе показано, что погрешность привязки кадра к шкале точного времени, обусловленная некорректной синхронизацией данных ТК и ПССНС, оказывает существенное влияние на точность определения астрономической долготы АЗТ.

Для исключения этой погрешности предложена методика контроля синхронизации, основанная на использовании в качестве опорных данных интервалов времени, рассчитанных по смещению изображений звезд от кадра к кадру. Эффективность методики подтверждена по данным, полученным с помощью экспериментального образца зенитного телескопа.

Предложенная методика позволяет производить проверку синхронизации сигналов ТК и ПССНС и, при необходимости, коррекцию временного сдвига непосредственно в процессе наблюдений при определении астрономических координат АЗТ.

Литература

1. Основные положения о государственной геодезической сети РФ [Электронный ресурс] // ГКИНП (ГНТА)-01-006-03. — М: ЦНИИГАиК, 2004. — URL: http://snipov.net/c_4685_snip_112650.html (дата обращения: 23.03.2018).
2. Tsodokova V., Gaivoronskii S., Kuzmina N., Starosel'tsev L. Automated zenith telescope for obtaining the Earth's gravitational field parameters // 4th IAG Symposium on Terrestrial Gravimetry: Static and Mobile Measurements. — SPb: Concern CSRI Elektropribor, 2016. — P. 250–258.
3. Брумберг В. А., Глебова Н. И., Лукашова М. В. и др. Расширенное объяснение к «Астрономическому ежегоднику» // Труды ИПА РАН. — СПб.: Наука, 2004. — Вып. 10. — 488 с.

Accuracy of Astronomical Coordinate Determination in its Dependence from an Automated Zenith Telescope's Data Synchronization

S. V. Gaivoronskii, N. V. Kuzmina, V. V. Tsodokova

The paper investigates the influence of timing the data from a TV camera and a GNSS receiver on the accuracy of astronomical coordinates determined by the automated zenith telescope. The procedure of timing supervision is proposed. It is based on the time intervals used as the reference data and calculated by frame-to-frame displacement of star images. The efficiency of the procedure is confirmed by the data obtained using our test model of the zenith telescope.

Keywords: automated zenith telescope, astronomical coordinates, data synchronization, TV camera (television camera), GNSS (Global Navigation Satellite Systems), GNSS receiver.