

Программное приложение для измерения параметров движения летящих объектов на основе анализа цифрового изображения

В. Л. Козлов, А. В. Попруженко

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: KozlovVL@bsu.by*

Приводится методика измерения параметров движения объектов на основе корреляционного анализа цифровых изображений. Построение корреляционных функций и выделение смещений на субпиксельном уровне позволяет повысить точность определения дальности и скорости движения космических объектов. Создано программное приложение, реализующее предложенную методику измерений.

Ключевые слова: корреляционный анализ, цифровое изображение, измерение дальности и скорости, программное приложение.

A software application for measuring the motion parameters of flying objects based on digital image analysis

V. L. Kozlov, A. V. Popruzenko

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: KozlovVL@bsu.by

A method for measuring object motion parameters based on correlation analysis of digital images is presented. Constructing correlation functions and extracting displacements at the subpixel level allows for improved accuracy in determining the range and velocity of space objects. A software application implementing the proposed measurement method has been developed.

Keywords: correlation analysis, digital image, correlation analysis, range and speed measurement, software application

В условиях стремительного развития технологий дистанционного наблюдения, компьютерного зрения и автоматизированных измерительных систем растет потребность в точных, доступных и универсальных средствах измерения параметров движения объектов – в частности, их дальности и скорости [1]. Особенно остро эта необходимость проявляется в таких областях, как космические исследования, безопасность, беспилотные летательные аппараты, интеллектуальные транспортные системы и робототехника.

Одним из перспективных направлений является использование цифровых изображений для извлечения информации о движении объекта [2]. По сравнению с традиционными методами (радарами, лидарами, ультразвуковыми сенсорами), анализ цифровых изображений предоставляет более дешевую, гибкую и легко масштабируемую альтернативу, не требующую дорогостоящего оборудования.

Приводится методика измерений [3] и реализующие её программное приложение, предназначенное для решения актуальной задачи дистанционного зондирования – одновременного определения скорости и дальности до движущихся космических объектов на основе анализа цифрового изображения. Функциональная схема поясняющая, предложенную методику, представлена на рис. 1, а.

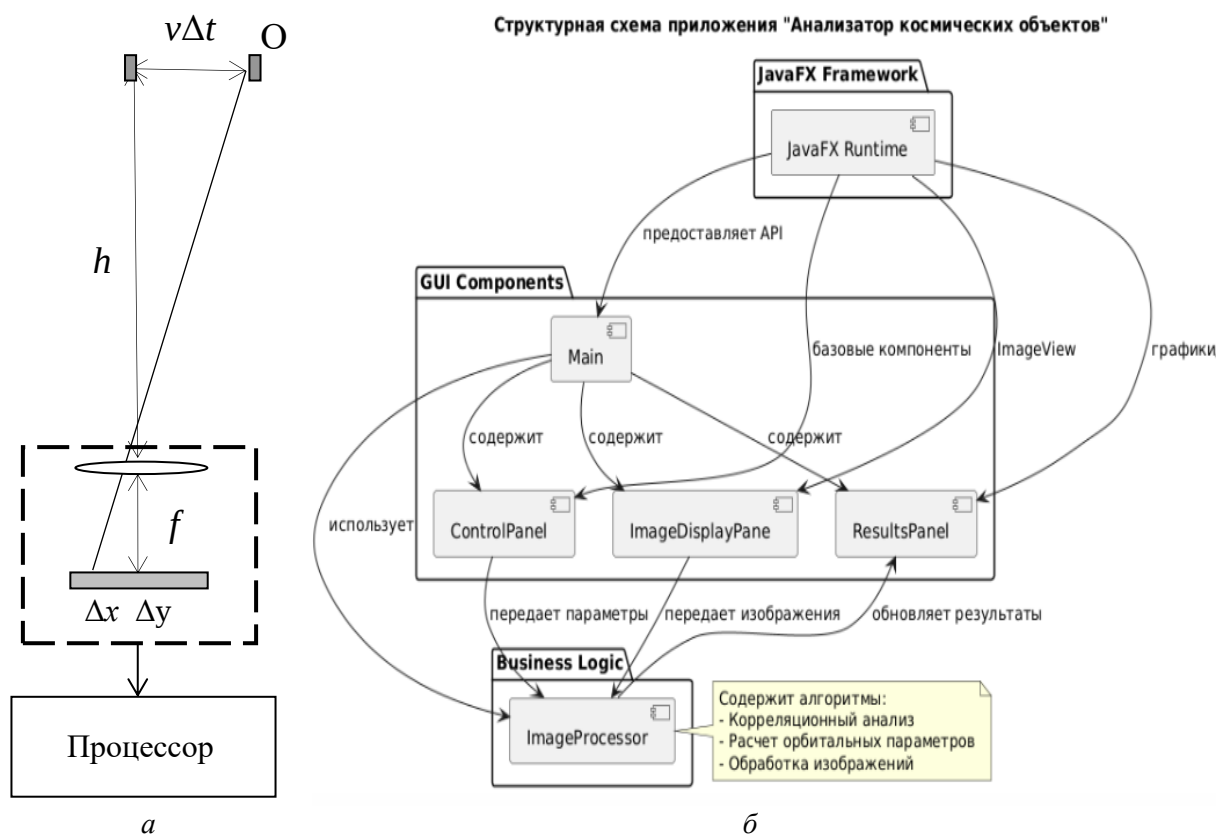


Рис.1. Функциональная схема методики определения скорости и дальности (а);
структурная схема программного приложения (б)

Методика измерений заключается в следующем. С помощью цифровой фотокамеры на фотоприемной матрице формируют два цифровых изображения измеряемого объекта, полученные с интервалом времени Δt . Полученные изображения поступают в процессор, где производится измерение координат и длины перемещения объекта по следующему алгоритму. На первом изображении формируется окно сканирования с изображением объекта. Автоматически окно сканирования с такими же координатами формируется и на втором снимке. После этого осуществляют сканирование одного окна относительно другого, при этом вычисляется значение двухмерной нормированной корреляционной функции между выделенными изображениями в соответствии с выражением [3].

По положению максимального значения нормированной корреляционной функции определяют сдвиг между изображениями $\Delta x = x_2 - x_1$ и $\Delta y = y_2 - y_1$, где x_2 , x_1 и y_2 , y_1 – координаты объекта, полученные с интервалом времени Δt . С учетом полученных координат определяется длина перемещения объекта на фотоприемной матрице Δl по следующей формуле:

$$\Delta l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (1)$$

Затем, используя известные законы и геометрию полученных изображений, получаем систему из двух уравнений движения объекта:

$$m \frac{v^2}{R_3 + h} = G \frac{mM}{(R_3 + h)^2}, \quad \frac{v \cdot \Delta t}{h} = \frac{\Delta l}{f}, \quad (2)$$

где m – масса объекта, M – масса земли, R_3 – радиус земли, G – гравитационная постоянная, h – высота орбиты, v – скорость космического объекта, Δl – длина перемещения объекта на фотоприемной матрице за время Δt , f – фокус. Учитывая, что $R_3 \gg h$, решение системы уравнений (2) для дальности до объекта h и скорости объекта v будут иметь следующий вид

$$h = \frac{f \cdot \Delta t}{\Delta l} \sqrt{\frac{GM}{R_3}}, \quad v = \sqrt{\frac{GM}{R_3 + h}}, \quad (3)$$

Разработано программное приложение, реализующее предложенную методику и позволяющее проводить автоматизированный анализ изображений. На рис. 1, б представлена структурная схема разработанного приложения. Схема отражает последовательность этапов обработки данных и взаимодействие между функциональными блоками системы. Программа начинается с блока загрузки изображений. Далее изображения передаются в модуль предварительной обработки, где осуществляется их масштабирование, фильтрация и выбор рабочей области для дальнейшего анализа.

В интерфейсе программы предусмотрены следующие возможности: загрузка пары изображений, полученных с интервалом времени Δt , указание параметров съёмки, запуск анализа и визуализация результатов. В верхней части окна интерфейса расположена панель управления, содержащая основные элементы для проведения измерений: загрузка изображений, ввод интервала Δt , запуск анализа, выполнение калибровки. В центральной области интерфейса отображаются миниатюры загруженных изображений объекта. Пользователь может выбрать область анализа, которая используется для расчёта корреляционной функции.

В процессе работы приложение вычисляет сдвиги по координатам Δx и Δy , рассчитывает величину перемещения объекта на фотоприёмной матрице и, на основе этого, параметры орбиты и скорость движения. Правая часть окна предназначена для вывода результатов. Здесь отображаются числовые значения дальности (h) и скорости (v) объекта, а также график корреляционной функции, по которому определяется сдвиг между изображениями. В нижней части фиксируются этапы анализа и возможные ошибки.

Проведено тестирование программного приложения, которое показало, что интерфейс программы обеспечивает удобство работы пользователя, сочетая функции загрузки и обработки изображений.

Библиографические ссылки

1. Колесса А. А., Колесса А. Е. Определение доверительной области параметров траектории баллистического объекта по угловым измерениям//ТРУДЫ МФТИ. 2025. Том 17, № 1. С. 62–75.
2. Коротаев А. И. Введение в цифровую фотограмметрию. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2009. 212 с.
3. Устройство измерения дальности и скорости объекта по цифровому изображению: пат. 13653 РБ / В. Л. Козлов, В. С. Баранова, А. А. Спиридонов, Д. В. Ушаков; дата публ.: 05.02.2025.