

**М.М. Фролов**, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

**М.И. Труфанов**, канд. техн. наук, с.н.с., ФГБУН "Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук" (Россия, 143000, Одинцово, Московская обл., ул. Маршала Жукова, 30а) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

## **ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ РАБОЧЕЙ СЦЕНЫ ПРИ МНОЖЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ ВИДЕОДАННЫХ**

*В работе рассмотрены подходы к построению территориально распределенного оптико-электронного устройства, обеспечивающие анализ значительных по протяженности и объему рабочих сцены в интересах автоматизации процессов контроля и управления робототехническими средствами в промышленных сборочных цехах, складских помещениях. Принципиальным отличием предложенного решения является возможность получения изображений анализируемых объектов при помощи размещенных в различных частях рабочего пространства оптико-электронных датчиков для реализации функции бинокулярного зрения на значительно большей по площади рабочей сцене по сравнению с аналогами. Отличительной новизной разработанного теоретического подхода является подход к бинокулярному техническому зрению, состоящий в итерационном выполнении процедур калибровки выбранных пар оптико-электронных датчиков и последующем вычислении пространственных координат анализируемых объектов при помощи калиброванных пар оптико-электронных датчиков. Полученные результаты анализа изображений с каждого из оптико-электронных датчиков используются для сопровождения движущихся объектов и анализа их траекторий движения в пространстве рабочей сцены.*

*Для реализации разработанных теоретических подходов предложено модульное оптико-электронное устройство, состоящее из двух типов модулей. Первый тип модуля – автономный оптико-электронный модуль, включающий в себя оптико-электронный датчик и средства обработки и извлечения первичных признаков непосредственно при получении изображений для их последующего анализа. Вторым типом – вычислительный модуль, обеспечивающий обработку первичных данных с совокупности модулей первого типа. Передача данных между модулями устройства обеспечивается по радиоканалу по WiFi сети. Отличительной особенностью разработанного устройства является первичная обработка изображений непосредственно при их получении и передача по радиоканалу малого объема данных о выделенных объектах в вычислительный модуль, который выполняет финальные этапы обработки данных и формирует набор параметров, описывающих характеристики и пространственные координаты найденных на рабочей сцене объектов для их дальнейшего использования.*

*Проведены экспериментальные исследования на разработанной имитационной модели, подтвердившие корректность разработанного теоретического подхода и возможность применения на практике.*

**Ключевые слова:** обработка изображений; территориально распределенный; техническое зрение; бинокулярный; предварительная обработка.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-198-205

**Ссылка для цитирования:** Фролов М.М., Труфанов М.И. Оптико-электронное устройство вычисления параметров объемных объектов рабочей сцены при множественных источниках видеоданных // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 6(81). С. 198-205.

\*\*\*

### **Введение**

Анализ изображений трехмерных объектов является весьма актуальным для многих задач в области создания автономных робототехнических транспортных решений. Аспект вычисления трехмерных координат, позиций, оптических и иных свойств объектов важен в первую очередь для вычисления параметров ана-

лизируемых трехмерных объектов, определения их взаимного местоположения и решения задач, направленных на распознавание объектов [1-3].

В частности, задача определения позиций объектов рабочей сцены востребована в промышленности для построения автоматических устройств транспортировки объектов на складе, цехе, значительном по объему пространстве, иных

промышленных объектах в условиях динамически меняющейся обстановки в расположении объектов.

Известные системы технического зрения в основном используют принцип бинокулярного зрения для реализации пространственного восприятия, либо же множество отдельных монокулярных оптико-электронных датчиков. В первом случае не обеспечивается пространственное восприятие на всей рабочей сцене, а лишь в узком поле наблюдения, ограниченной областью видимости бинокулярной оптико-электронной системы. Во втором случае известные подходы не позволяют реализовать трехмерное восприятие [4, 5].

Таким образом, к настоящему времени отсутствует алгоритмическое и аппаратно-программное решение, позволяющее обеспечить трехмерное техническое зрение на все области наблюдаемого пространства для крупных промышленных объектов.

#### **Описание предлагаемого решения**

Отличительной новизной предлагаемого оптико-электронного устройства является использование множества размещенных в различных частях рабочей сцены с оптико-электронных датчиков с априори некалиброванным взаимным местоположением с реализацией процедур калибровки каждой пары оптико-электронных датчиков и построения алгоритма обработки изображения и на основе принципа бинокулярного зрения для различных оптико-электронных датчиков, имеющих общие области перекрытия полей восприятия. Данное решение позволяет обеспечить реализацию пространственного технического зрения на значительно большем по сравнению с аналогами объеме рабочей сцены [6].

Алгоритм функционирования устройства представлен на рис. 1. Структурно-функциональная организация разработанного оптико-электронного устройства, решающего задачу оценки параметров и местоположения объектов рабочей сцены, представлена на рис. 2-4.

Рассмотрим разработанный алгоритм обработки изображений оптико-электронным устройством при множественных источниках видеоизображений, обеспечивающих вычисление параметров наблюдаемых объектов в трехмерном пространстве и измерение их характеристик.

#### **Алгоритм обработки данных при множественных источниках изображений с нескольких оптико-электронных датчиков, размещенных в различных частях рабочей сцены**

Разработанный алгоритм (рис. 1) состоит из двух частей – первоначальной калибровки и настройки системы из нескольких оптико-электронных датчиков (блоки 1-6 алгоритма на рис. 1) и процедур обработки изображений, направленных на определение параметров объектов рабочей сцены и оценку их местоположения в трехмерном пространстве (блоки 7 – 21 алгоритма).

В первой группе блоков выполняются процедуры, обеспечивающие остановление взаимного положения локальных систем координат видеокамер для последующего трехмерного восприятия. Производится первоначальный ввод изображений (блок 1) и выполняется яркостная нормализация изображений (блок 3). Затем производится последовательным перебором и построением функций корреляции поиск общих фрагментов на изображениях [7, 8] для построения совокупности стереопар, используемых далее в блоках 7-21 алгоритма для трехмерного зрения.

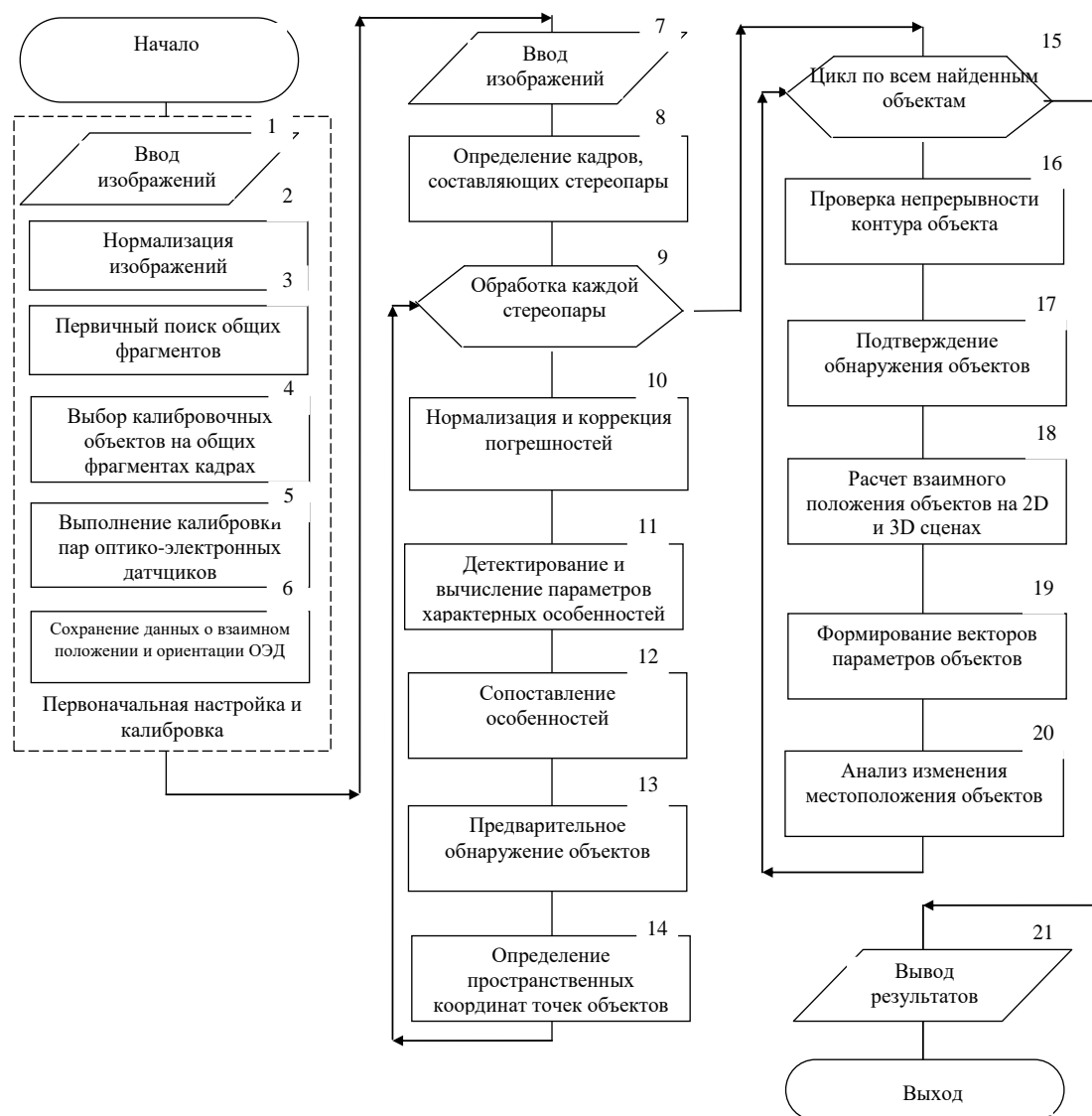


Рис. 1. Алгоритм вычисления параметров объектов трехмерной рабочей сцены

В блоке 4 сформированы стереопары и осуществляется выбор калибровочного объекта для выполнения калибровки и установления взаимосвязи локальных систем координат каждого из оптико-электронных датчиков. По выбранному калибровочному объекту осуществляется калибровка в блоке 5 и сохранение вычисленных калибровочных параметров в блоке 6 для дальнейшего использования.

Далее согласно алгоритму после повторного получения изображений в блоке 7 формируются стереопары из всего массива кадров с различных видеокамер. По

сле этого каждая из стереопар – совокупности из двух кадров – обрабатывается в цикле 9.

Производится нормализация яркости и коррекция погрешностей (блок 10 алгоритма) на основе ранее вычисленных калибровочных параметров. Затем на основе метода детектирования особенностей формируются массивы характерных точек (блок 11), которые сопоставляются друг с другом в блоке 12. В результате сформированы пары точек, которые предположительно являются общими и которые могут быть использованы для вычисления трехмерных координат объектов.

В блоке 13 производится обнаружение объектов как замкнутых однородных областей на двумерных изображениях [9, 10]. После чего в блоке 14 вычисляются на основе диспаратностей и ранее найденных в результате калибровки взаимосвязей локальных систем координат оптико-электронных датчиков координат точек объектов в трехмерном пространстве. Таким образом, к данному шагу алгоритма сформированы массивы координат точек в трехмерном пространстве, предположительно соответствующих единым объектам.

В цикле 15 производится анализ и принятие решения об обнаружении объектов, а также вычисление их параметров. Для подтверждения обнаружения объектов проверяется непрерывность контура каждого объекта. Непрерывность контура оценивается по плавности изменения расстояний в трехмерном пространстве точек, составляющих контур (блок 16), а также по непересечению различных объектов (в блоке 17).

Затем в блоке 18 выполняется окончательный расчет трехмерных координат объектов. Далее в блоке 19 формируются целевые вектора, содержащие значения яркости, цветности, координат объектов и иные параметры в зависимости от задачи распознавания объектов. В блоке 20 выполняется определение объектов, изменивших свое местоположение относительно предыдущих кадров. В блоке 21 выводятся данные вычисленные параметры объектов для дальнейшей обработки.

Далее рассмотрим оптико-электронное устройство, реализующее данный алгоритм.

#### **Структурно-функциональная организация оптико-электронного устройства**

Рассмотрим разработанное оптико-электронное устройство, обеспечивающее реализацию вычислений параметров

трехмерных объектов при использовании нескольких, размещенных в различных частях рабочей сцены оптико-электронных датчиков.

Функционально оптико-электронное устройство построено по модульному принципу и содержит два различных вида модулей, объединенных между собой каналом связи.

Первый вид модулей – модули, обеспечивающие получение изображений и их первичную обработку (рис. 2). Второй вид модулей – модуль, обеспечивающий прием и окончательную обработку данных и изображений и вычисление параметров объектов и их расположение в объеме рабочей сцены (рис. 3). В разработанной системе может быть несколько модулей первого вида и всегда один модуль второго вида (рис. 4).

Первый модуль содержит оптико-электронный датчик с системой ориентации для обеспечения его позиционирования, модуль ввода изображения, модуль управления, буферное запоминающее устройство, которые в своей совокупности обеспечивают получение изображений. Далее полученные изображения передаются в модули сегментации, выделения контуров и предварительного формирования объектов, обеспечивающие вычисление ключевых особенностей характерных точек объектов и формирование вектора параметров, описывающих каждый объект. Модуль передачи данных обеспечивает передачу данных по беспроводной сети в вычислительный модуль устройства

Вычислительный модуль устройства содержит модуль передачи данных, модуль вычисления характерных особенностей, сопоставления объектов, вычисления взаимного положения объектов, вычисления трехмерных координат объектов, ОЗУ, передачи данных и коммуникации.

Функционирование оптико-электронного устройства осуществляется согласно ранее рассмотренному алгоритму обработки изображений (см. рис. 1). Рассмотрим взаимодействие модулей устройства.

Отличительной особенностью разработанного устройства является его территориально распределенный характер, обеспечивающий получение изображений с различных точек рабочей сцены. При

этом для уменьшения потока данных и обеспечения реального времени вычисления пространственных характеристик объектов рабочей сцены и их взаимного положения функции предварительной обработки и вычисления информативных признаков изображений реализованы в модуле предварительной обработки и передачи изображений (см. рис. 3).

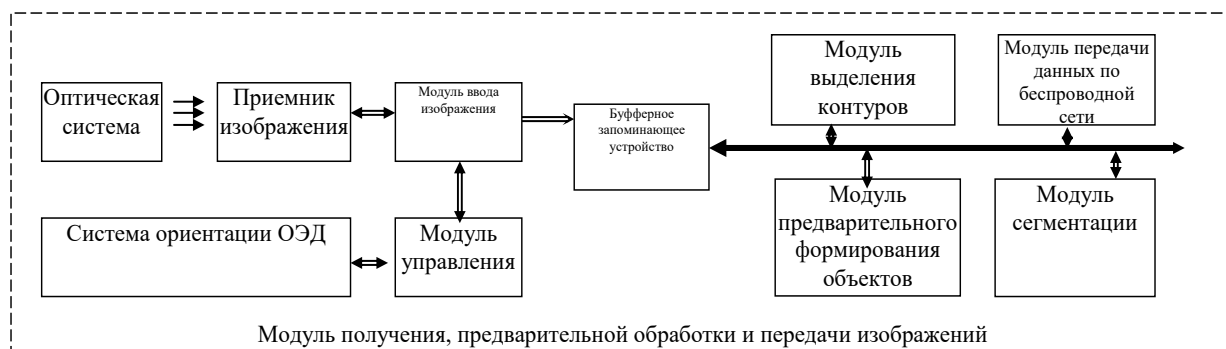


Рис. 2. Структурно-функциональная организация модуля получения, предварительной обработки и передачи изображений

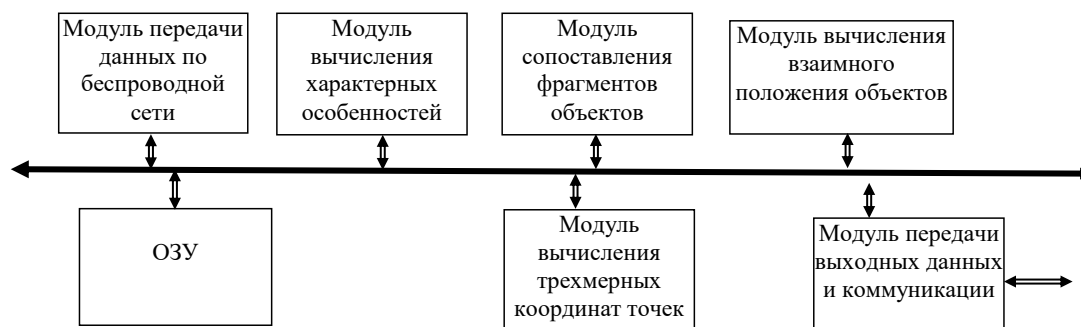


Рис. 3. Структурно-функциональная организация вычислительного модуля разработанного оптико-электронного устройства

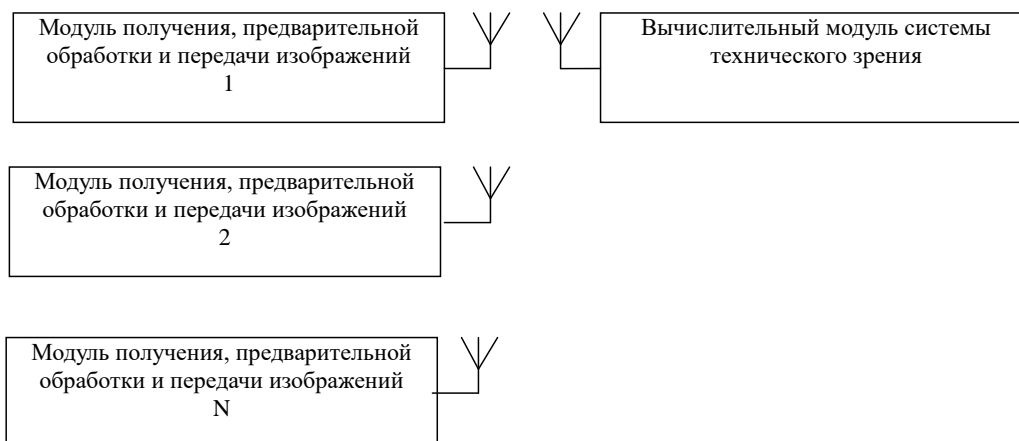


Рис. 4. Обобщенная структурно-функциональная организация оптико-электронного устройства

Финальные этапы обработки производятся в вычислительном модуле (см. рис. 4). Устройство работает следующим образом. Изображения рабочей сцены поступают с приемника изображений в модуль ввода изображения и далее в буферное запоминающее устройство и обрабатываются в реальном времени непосредственно в устройстве, конструктивно связанном с приемником изображением [11]. Обработка изображений состоит в выполнении операций выделения контуров объектов и сегментации объектов с использованием информации о спектральных локальных характеристиках областей изображений и однородности изменения яркости. Полученный вектор параметров, представляющий собой перечень предварительно локализованных объектов с их локальными характеристиками передается в вычислительный модуль, представленный на рис. 3. Вычислительный модуль на основе результатов предварительной калибровки обеспечивает выполнение сопоставления объектов с различных кадров. При этом для уменьшения объема вычислительной сложности обработка изображений производится в общих областях изображений, в которых могут присутствовать одинаковые объекты и исключаются из обработки те изображения, которые не могут иметь общих областей. Далее для каждого сопоставленных объектов выполняется вычисление координат и измерение размеров объектов в трехмерном пространстве. После выполнения данных шагов обработки изображений в модулях разработанного оптико-электронного устройства полученные наборы параметров передаются для дальнейшей обработки в вышестоящее устройство.

## Результаты

Отличительной особенностью предложенного оптико-электронного устройства является возможность вычисления

параметров объектов трехмерной сцены при их наблюдении с априори некалиброванных оптико-электронных датчиков. С практической точки зрения решение позволяет реализовать трехмерное очувствление значительного по объему рабочего пространства посредством использования нескольких оптико-электронных датчиков, что обеспечивает расширение суммарной наблюдаемой области и вычисления параметров объектов в трехмерном пространстве в цехах предприятий и на больших промышленных объектах.

## Оценка полученных результатов

Для проведения экспериментальных исследований разработана имитационная модель на языке трехмерной графики, имитирующая заводской цех по сборке кузовов автомобилей. Согласно заданным алгоритмам обеспечивалось перемещение сборочных частей объектов по заданным траекториям. В различных точках рабочего пространства были расположены оптико-электронные датчики, обеспечивающие получение изображений. Изображения передавались в программное обеспечение, имитирующее работу разработанного оптико-электронного устройства. По результатам экспериментальных исследований на имитационной модели было установлено, что полнота обзора рабочей сцены с возможностью вычисления пространственных параметров анализируемых объектов повышена по сравнению с традиционными бинокулярными системами технического зрения на 12% при использовании пяти оптико-электронных датчиков и на 17,4% – при использовании семи оптико-электронных датчиков. Экспериментально подтверждено, что разработанные алгоритмические подходы, на основе которых функционирует оптико-электронное устройство, обеспечивают реализацию трехмер-

ного технического зрения на заданной территории промышленного объекта и могут быть применены на практике.

### Список литературы

1. Ellis R.E. Locating and acquiring on object in a robot workspace using multiple stereo images // SPIE Intelligent robots and computer vision. 1985. Vol. 579. P. 464 – 473.

2. Метод распознавания изображений объектов с использованием трехмерных векторных эталонов и программа для его реализации / В.С. Титов, В.С. Панищев, С.И. Коростелев, В.А. Денисюк // Телекоммуникации. 2007. № 9. С. 10-14.

3. Патент на изобретение RUS 2361273 Способ и устройство для распознавания изображений объектов / Коростелев С.И., Титов В.С., Панищев В.С., зарегистр. 12.03.2007.

4. Yeon C., Aggarwal J. Positioning three dimensional objects using stereo images // IEEE J. robotics and automation. 1987. Vol. RA-3. № 6. P. 361-373.

5. Wang Y.F., Aggarwal J.K. Integration of active and passive sensing techniques for representing three-dimensional objects // IEEE transactions on robotics and automation. 1984. Vol. 5, №. 4. P. 460 – 470.

6. Moment invariants for recognition under changing viewpoint and illumination

/ F. Mindru, T. Tuytelaars, L. Van Gool, T. Moons // CVIU. 2004. P. 3–27.

7. Gilboa G., Osher S. Nonlocal linear image regularization and supervised segmentation // SIAM Multiscale Model. Simul. 2007. Vol.6. №. 2. P. 595–630.

8. Прохоров И. В., Мысцев А.Э. Исследование алгоритмов рекомендательных систем, основанных на вероятностных моделях // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление. Вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. №2 (15). С. 16-21.

9. Perona P., Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion // PAMI. 1990. №12. P.629–639.

10. Liao P., Chen T., Chung P. A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding. // J. Inf. Sci. Eng. 2001. №17. P. 713-727.

11. Titov V.S., Truphanov M.I. The method of automatic determination monochromatic aberration of vision's optical subsystem // Second international conference «Information and Telecommunication Technologies in Intelligent Systems». Proceedings. Spain. Barcelona, 2004. P. 40 – 43.

*Поступила в редакцию 30.10.18*

UDC 004.9

**M.M. Frolov**, Post-Graduate Student, Southwest State University (Russia, 305040, Kursk, 50 Let Oktyabrya str., 94) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

**M.I. Truphanov**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Design Information Technologies Center of Russian Academy of Sciences (Russia, 143000, Odintsovo, Moscow region, Marshal Zhukov str., 30a) (e-mail: info@ditc.ras.ru)

### OPTICAL-ELECTRONIC DEVICE OF CALCULATION OF PARAMETERS OF VOLUME OBJECTS OF WORKING SCENE AT MULTIPLE SOURCES OF VIDEO DATA

*The paper considers approaches to the construction of a geographically distributed optical-electronic device, providing an analysis of significant and long working scenes in the interests of automating the processes of control and management of robotic tools in industrial assembly shops and warehouses. The principal difference of the proposed solution is the possibility of obtaining images of the analyzed objects using optical-electronic sensors located in different parts of the workspace to realize the function of binocular vision on a much larger area of the*

working scene compared to analogues. A distinctive novelty of the developed theoretical approach is the approach to binocular technical vision, which consists in iteratively performing calibration procedures for selected pairs of optical-electronic sensors and the subsequent calculation of the spatial coordinates of the objects being analyzed using calibrated pairs of optical-electronic sensors. The results of image analysis from each of the optoelectronic sensors are used to accompany moving objects and analyze their motion paths in the working scene space. To implement the developed theoretical approaches, a modular optoelectronic device has been developed, consisting of two types of modules. The first type of module is a standalone opto-electronic module, which includes an opto-electronic sensor and means for processing and extracting primary features immediately upon receiving images for their subsequent analysis. The second type is a computational module that provides processing of primary data from a set of modules of the first type. Data transfer between device modules is provided via radio over a WiFi network. A distinctive feature of the developed device is the primary processing of images immediately upon their receipt and transmission over the radio channel of a small amount of data about the selected objects to the computing module, which performs the final stages of data processing and generates a set of parameters describing the characteristics and spatial coordinates of the objects found on the working scene for their further use.

Experimental studies were conducted on the developed simulation model, which confirmed the correctness of the developed theoretical approach and the possibility of its application in practice.

**Key words:** image processing; geographically distributed; technical vision; binocular; pre-processing.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-6-198-205

**For citation:** Frolov M.M., Truphanov M.I. Optical-Electronic Device of Calculation of Parameters of Volume Objects of Working Scene at Multiple Sources of Video Data. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 6(81), pp. 198-205 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Ellis R.E. Locating and acquiring on object in a robot workspace using multiple stereo images. *SPIE Intelligent robots and computer vision*, 1985, vol. 579, pp. 464 – 473.
2. Titov V.S., Panishhev V.S., Korostelev S.I., Denisjuk V.A. Metod raspoznavanija izobrazhenij ob#ektov s ispol'zovaniem trehmernyh vektornyh jetalonov i programma dlja ego realizacii. *Telekommunikacii*, 2007, no. 9, pp. 10-14.
3. Korostelev S.I., Titov V.S., Panishhev V.S., zaregistr Patent na izobretenie RUS 2361273 Sposob i ustrojstvo dlja raspoznavanija izobrazhenij ob#ektov. 12.03.2007.
4. Yeon C., Aggarwal J. Positioning three dimensional objects using stereo images. *IEEE J. robotics and automation*, 1987, vol. RA-3, no. 6, pp. 361-373.
5. Wang Y.F., Aggarwal J.K. Integration of active and passive sensing techniques for representing three-dimensional objects. *IEEE transactions on robotics and automation*, 1984, vol. 5, no. 4, pp. 460 – 470.
6. Mindru F., Tuytelaars T., Van Gool L., Moons T. Moment invariants for recognition under changing viewpoint and illumination. *CVIU*, 2004, pp. 3–27.
7. Gilboa G., Osher S. Nonlocal linear image regularization and supervised segmentation. *SIAM Multiscale Model. Simul.*, 2007, vol.6. no. 2, pp. 595–630.
8. Prohorov I.V., Mysev A. Issledovanie algoritmov rekomendatel'nyh sistem, osnovannyh na verojatnostnyh modeljah. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravljenje. Vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie*, 2015, no.2 (15), pp. 16-21
9. Perona P., Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *PAMI*, 1990, no. 12, pp. 629–639.
10. Liao P., Chen T., Chung P. A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding. *J. Inf. Sci. Eng.* 2001, no.17, pp. 713-727.
11. Titov V.S., Truphanov M.I. The method of automatic determination monochromatic aberration of vision's optical subsystem. Information and Telecommunication Technologies in Intelligent Systems. Second international conference. Proceedings. Spain. Barcelona, 2004, pp. 40 – 43.