

Е. Б. БОЛЕЦКИЙ, В. В. ВАКУН, М. И. ТРУФАНОВ

БИНОКУЛЯРНОЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО С ИЗМЕНЯЕМЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ

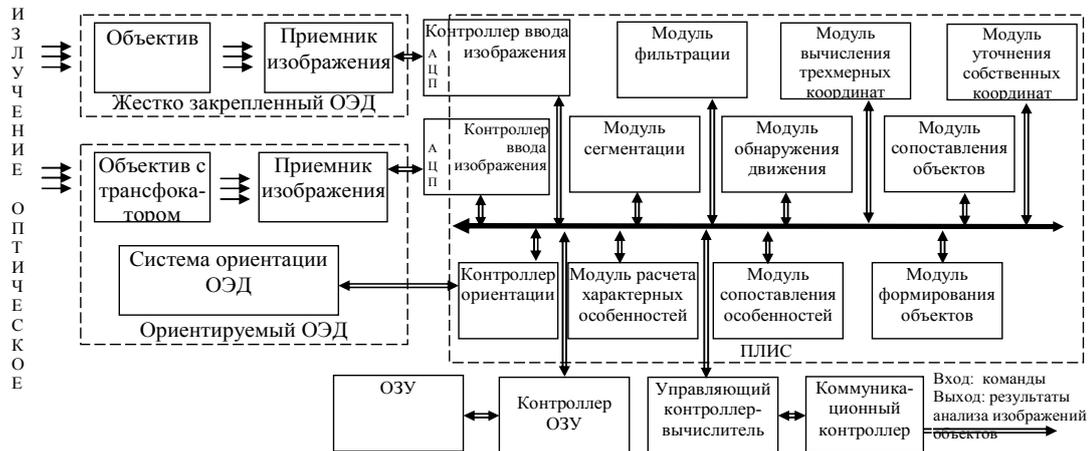
Разработано биноклярное оптико-электронное устройство для вычисления трехмерных координат объектов рабочей сцены. Отличительная особенность устройства — использование оптико-электронных датчиков с изменяемым фокусным расстоянием — позволяет повысить точность анализа изображений.

Ключевые слова: биноклярное оптико-электронное устройство, техническое зрение, пространственные координаты, траектория движения.

Задача создания пространственного сенсора робототехнических устройств и систем посредством автоматического построения трехмерной рабочей сцены по поступающим с оптико-электронных датчиков двумерным изображениям является весьма востребованной для многих областей науки и промышленности.

Очевидным путем повышения точности измерения параметров объектов рабочей сцены является использование длиннофокусных оптических систем (ОС) или ОС с изменяемым фокусным расстоянием. Однако при использовании двух идентичных длиннофокусных оптико-электронных датчиков (ОЭД) со сходными параметрами обзор недостаточно широк и слишком мала область, в которой получаемые кадры перекрываются, формируя трехмерное изображение.

У предлагаемого в настоящей работе устройства фокусное расстояние одного ОЭД может быть изменено для работы на ближних и дальних дистанциях. Структурно-функциональная схема биноклярного оптико-электронного устройства с переменным фокусным расстоянием для трехмерного „очувствления“ представлена на рисунке.



Устройство содержит группу отдельных модулей, выполняющих операции согласно разработанным алгоритмам, взаимодействие модулей осуществляется через системную шину. Большинство модулей реализовано в программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС). Общее управление функционированием устройства обеспечивает контроллер-вычислитель. За исключением модулей контроллера-вычислителя, ОЗУ и оптико-электронных датчиков, все модули реализованы в ПЛИС. Контроллеры ввода изображения содержат аналого-цифровые преобразователи (АЦП), которые являются отдельными элементами и также не входят в состав ПЛИС. Отличительная особенность устройства — использование модулей

предварительной оценки глубины объектов рабочей сцены, выбора приоритетных анализируемых объектов, вычисления трехмерных координат объектов по стереопаре изображений, поступающих от оптико-электронных датчиков с различными параметрами, сопровождения объектов, уточнения собственного пространственного положения, калибровки и связей между ними.

Устройство работает в двух режимах — основном, в котором оно выполняет функции измерения трехмерных координат объектов и идентификации объектов, и в режиме калибровки, в котором минимизируются погрешности, возникающие с течением времени. Общим процессом для обоих режимов является получение изображения. Оптическое излучение фокусируется объективами на соответствующие приемники изображения, которые преобразуют излучение в электрический сигнал яркости каждого пиксела, который передается на вход контроллеров ввода изображений для аналого-цифрового преобразования. Затем кадры изображения поступают на входы системной шины и записываются в ОЗУ. Первый и второй контроллеры ввода изображения могут быть реализованы, например, по схеме, представленной в работе [1].

Модуль фильтрации считывает изображения из ОЗУ, уменьшает в режиме обработки скользящим окном [2] влияние на них случайных помех и записывает исправленные изображения в ОЗУ. В результате в ОЗУ формируются два кадра изображения (с первого и второго приемников) с пониженным уровнем шума и систематических искажений.

В основном режиме функционирования устройства модуль сегментации осуществляет декомпозицию изображения согласно способу [3] на отдельные области по цветоконтрастным характеристикам. Одновременно с этим модуль расчета характерных особенностей выделяет на разных кадрах изображений, записанных после в ОЗУ, так называемые характерные особенности [4, 5], которые представляют собой уникальные в локальной области объекты (точечные, линейные, площадные), используемые для сопоставления одних и тех же объектов на разных кадрах. Параметры характерных особенностей записываются также в ОЗУ.

Модуль сопоставления особенностей выявляет пары характерных особенностей на разных кадрах и „привязывает“ для последующего расчета трехмерных координат по диспаратности двумерных координат особенностей [2].

Из ОЗУ совокупность параметров сегментов и параметров сопоставленных особенностей считывает модуль формирования объектов, принимающий решение о принадлежности выделенных сегментов одному или разным объектам. Результаты обработки модуль формирования объектов записывает в параметры (набор характерных особенностей, сегментов и двумерных координат на каждом кадре) объектов, по которым модуль вычисления трехмерных координат объектов определяет пространственное положение характерных особенностей и границ объектов. Далее модуль расчета трехмерных координат записывает координаты объектов в ОЗУ. Таким образом, ОЗУ получает описания трехмерных объектов, найденных на рабочей сцене.

В зависимости от конечной цели функционирования устройства описания найденных трехмерных объектов могут быть переданы в модуль сопоставления объектов, позволяющий сравнить текущий и найденный ранее объекты. В первом случае параметры всех объектов, найденных на предыдущих кадрах, считываются из ОЗУ модулем сопоставления объектов, который на основе координат анализируемого и найденных на предыдущих кадрах объектов по близости параметров и близости координат вычисляет наиболее похожий объект предыдущего кадра (как правило, смещение объектов от кадра к кадру незначительно, что позволяет в качестве основного критерия использовать близость координат), в результате в ОЗУ сохраняется траектория движения каждого объекта рабочей сцены. Траектории могут быть использованы для распознавания объектов или для передачи на дальнейшую обработку. Передаваемые на обработку траектории из ОЗУ поступают на коммуникационный контроллер.

Процессом функционирования всего устройства и синхронизацией отдельных модулей управляет вычислитель на базе сигнального процессора. При необходимости получения увеличенного изображения анализируемого объекта вычислитель подает команду на контроллер ориентации для изменения фокусного расстояния и ориентации второго ОЭД. После получения увеличенного изображения объекта второй ОЭД возвращается в исходное состояние.

Модуль уточнения собственных координат (за начало системы координат принято положение центральной точки плоскости изображения первого приемника изображения) решает обратную задачу трехмерного восприятия — находит собственные трехмерные координаты по множеству трехмерных координат известных объектов рабочей сцены. Для этого модуль уточнения собственных координат считывает трехмерные координаты множества неподвижных объектов и уточняет (вычисляет) координаты.

Коммуникационный контроллер обеспечивает прием команд и передачу данных об объектах.

Для устранения погрешностей, возникающих вследствие изменения фокусного расстояния и ориентации видеодатчика, введен режим калибровки. В этом режиме согласно методу [6] биноклярная система приводится в такое состояние, при котором главные оптические оси указанных оптико-электронных датчиков взаимно параллельны, а фокусные расстояния равны. Отметим, что фокусное расстояние первого (жестко закрепленного) ОЭД не изменяется, а второго (ориентированного) изменяется (диапазон изменения фокусного расстояния второго ОЭД включает фокусное расстояние первого ОЭД).

Калибровка осуществляется только при неподвижном положении робота, на котором установлено рассматриваемое оптико-электронное устройство по неподвижному объекту.

При работе модуля выбора калибровочного объекта используются следующие критерии: неподвижность объекта, достаточная удаленность, наличие четко выраженных характерных особенностей (граней, углов, точек). Для этого последовательно считываются из ОЗУ изображения и параметры всех объектов рабочей сцены, на основе указанных критериев вычисляются значения функции, определяющие объект, который будет использоваться в качестве калибровочного. Далее на основе анализа изображения калибровочного объекта вычисляются параметры положения второго ОЭД и передаются в вычислитель, который дает команду контроллеру ориентации на приведение вычисленных параметров и фокусного расстояния к заданным значениям. После калибровки устройство переходит в основной режим работы, рассмотренный выше.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что разработанное биноклярное ОЭУ качественно отличается от аналогов возможностью решения широкого спектра задач трехмерного зрения, дополнительными функциями получения детализированных изображений объектов для их последующего использования; количественно — снижением погрешности вычисления координат не менее чем в 3,2 раза при обеспечении реального времени обработки.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (НШ-2357.2014.8) и гранта РФФИ № 15-07-01303.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2295153 РФ. Корректирующее устройство ввода изображения в ЭВМ / М. И. Труфанов, Д. В. Титов. Заявл. 4.07.2005; опубл. 10.03.2007. Бюл. № 7. 6 с.
2. Гридин В. Н., Титов В. С., Труфанов М. И. Адаптивные системы технического зрения. М.: Наука, 2009. 441 с.
3. Патент № 2365998 РФ. Способ формирования панорамных изображений / Е. И. Бугаенко, М. И. Труфанов, П. А. Сорокин. Заявл. 18.12.2006; опубл. 27.08.09. Бюл. № 24. 14 с.

4. *Lowe D. G.* Object recognition from local scale-invariant features // Proc. of the 7th Intern. Conf. on Computer Vision. Kerkyra, Greece, 1999. P. 1150—1157.
5. *Lindeberg T.* Feature Detection with Automatic Scale Selection // Intern. J. of Computer Vision. 1998. Vol. 30, N 2. P. 79—116.
6. Патент № 2250498 РФ. Способ автоматической адаптивной трехмерной калибровки бинокулярной системы технического зрения и устройство для его реализации / *С. В. Дегтярев, В. С. Тутов, М. И. Труфанов.* Заявл. 25.02.2003; опубл. 20.04.2005. Бюл. № 11. 15 с.

Сведения об авторах

- Евгений Борисович Болецкий** — аспирант; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск; E-mail: focus_2002@mail.ru
- Валерий Валерьевич Вакун** — аспирант; Юго-Западный государственный университет, кафедра вычислительной техники, Курск; E-mail: tarrkstu@yandex.ru
- Максим Игоревич Труфанов** — канд. техн. наук, доцент; Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук, г. Одинцово; заведующий лабораторией; E-mail: mtruphanov@hotmail.com

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
10.09.14 г.