

# ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ ПРИ СЕПАРАЦИИ ФРУКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

День Ба Минь, Тимофеев А. Н., Коротаев В.В., Ярышев С.Н.  
Университет ИТМО, тел: +79681859146, email: [bmdinh@itmo.ru](mailto:bmdinh@itmo.ru)

Рассмотрены особенности преобразования информации в многоканальных оптико-электронных системах при сепарации фруктов сложной формы. Показано, что калибровки четырехкамерной системы по двумерному тестовому объекту в виде прозрачной шахматной доски может позволить эффективнее оценить геометрические параметры плода, а применение межкадровой разности повышает контраст итогового изображения.

**Введение:** Контроль качества при сборе и сепарации сельскохозяйственной продукции производится в достаточно короткие сроки и это обуславливает необходимость исследования и разработки интеллектуальных автоматизированных систем сортировки [1]. Очевидно, что автоматизированные системы сортировки, работают намного быстрее, чем любые ручные процедуры проверки качества и позволяют проводить эффективную проверку всей продукции с помощью объективных и стабильных критериев. Активному развитию способствует и появление как технических [2], так и программных средств машинного зрения [3].

Плоды, выращиваемые на территории Вьетнама (питаия, сахарное яблоко и ананас и др.) имеют сложную форму и специфическую текстуру поверхности. Поэтому исследование путей совершенствования роботизированных оптико-электронных каналов и систем обеспечения сортировки (ОЭСОС) позволяющих снизить погрешности определения параметров формы и текстуры поверхности за счет комплексирования информации с нескольких изображений полученных для полей наблюдения подсвеченных импульсными источниками оптического излучения требуемого спектрального состава являлись актуальными.

Как показывает анализ различных ОЭСОС при их функционировании возникает множество задач, решение которых заключается не только в оптимальном расположения элементов, но и в их взаимодействиях т.е. процедурах преобразования информации в разных каналах [4].

Особенности преобразования информации в многоканальных системах заключаются в синхронизации и обработке нескольких изображений с различных видеокамер. Как правило, видеокамеры работают по определенному алгоритму, и полученная информация о исследуемых фруктах передается в блок обработки и управления, где и производится комплексирование информации с целью выделения информативных признаков для сортировки.

На основании проведенного анализа [5, 6, 7] сформирована обобщенная структура многокамерных ОЭСОС (Рис. 1), состоящая из базового компьютера, модуля регистрации и транспортера. При этом модуль регистрации содержит одновременно несколько каналов (видеокамер), у каждого из которых свой управляемый импульсный источник подсветки, обеспечивающий равномерное освещение в поле зрения канала. Такая структура позволяет легко конфигурироваться под класс требований автоматической сортировки плодов сложной формы.

В соответствии с указанным выше в многокамерных ОЭСОС преобразование информации можно представить следующей схемой (Рис. 2). В этой схеме, оптическое излучение источников  $ИИ_{1,1} - ИИ_{M,3}$  отражаясь от контролируемых объектов  $КО_1 - КО_N$  оптическими системами  $ОС_1 - ОС_M$  видеокамер  $ВК_1 - ВК_M$  формируется в распределение облученности в плоскости фоточувствительности матричных приемников оптического излучения  $МПОИ_1 - МПОИ_N$ . С помощью модулей предварительной обработки  $МПО_1 -$

МПО<sub>N</sub> это распределение преобразуется в цифровые изображения которые в модуле обработки МО блока обработки и управления системой БОУ обрабатываются с целью извлечения информативных признаков для принятия окончательного решения классификатором К.

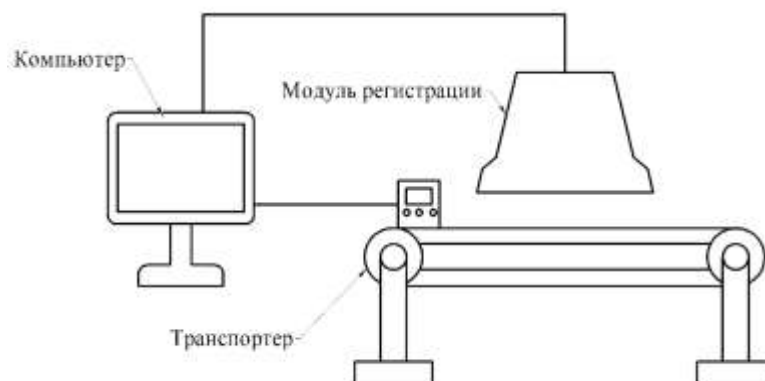


Рис. 1 – Структура ОЭСОС контроля параметров плодов сложной формы

В процессе предобработки модуль управления МУ синхронизирует сигналы ИИ<sub>1,1</sub> – ИИ<sub>M,3</sub> с работой видеокамер ВК<sub>1</sub> – ВК<sub>M</sub> и корректирует их параметры с целью получения максимального контраста в изображениях.

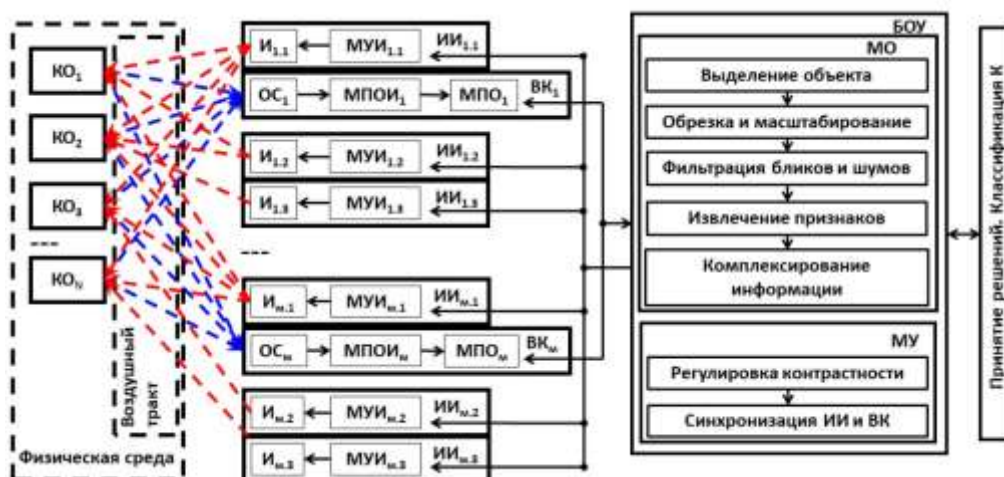


Рис. 2 – Обобщенная схема преобразования информации в ОЭСОС

Формируемая база данных плодов содержит статические и динамические изображения плодов в виде последовательности кадров. Статические изображения отражают только пиковый уровень интенсивности, в то время как динамические изображения фиксируют форму плодов, изменяющиеся в динамике.

В соответствии с изложенным выше ОЭСОС можно выделить следующие основные этапы преобразований информации:

- предварительная обработка изображения;
- извлечение информативных признаков;
- выработка решения, классификация плода.

Исследования показали, что четырехкамерная система подходит для использования в точных высокоскоростных системах трехмерного восстановления, поскольку система обеспечивает перекрывающееся поле зрения, точные измерения и высокую экономическую эффективность. Более того, четырехкамерная система может наблюдать объект с нескольких направлений, что позволяет устранить окклюзию и уменьшить количество точек объекта, не попадающих в поле зрения видеокамер.

Оптимальная структура ОЭСОС характеризуется основными параметрами, в том числе, взаимным расположением видеокамер, их углом обзора, фокусным расстоянием объектив, а также калибровочными параметрами. Поэтому на этапе предварительной обработки изображения приходится обеспечивать нахождение собственных параметров каналов ОЭСОС, которые минимизируют погрешности определения трехмерных координат точек исследуемых плодов.

Для решения первой задачи используется следующая оценочная функция:

$$e(f, b, R, t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \|P_i - P_i^*\| \quad (1)$$

где  $f$  - фокусное расстояние объектива,  $b$  - величина базы,  $R$  - матрица поворота,  $t$  - вектор трансляции,  $P_i$  - реальные исследуемые точки объекта,  $P_i^*$  - реконструированные точки объекта.

В свою очередь для решения задачи калибровки ОЭСОС предлагается использовать двухмерный тестовый объект в виде прозрачной шахматной доски (Рис. 3) [8].

В этом случае последовательность калибровки должна состоять из следующих этапов.

1 - Формирование системы.

2 - Определение внутренних параметров каждой видеокамеры, используя одну из известных методики калибровки видеокамеры (например, метод Zhang [9]).

3 - Расчет внешних параметров каналов ОЭСОС, которые будут использоваться как начальные значения для оптимизации.

4 - Определение параметры тестового объекта (показатель преломления, толщина).

5 - Нахождение целевой функции для оптимизации.

6 - Расчет Якобиана целевой функции.

7 - Минимизация погрешности перепроецирования.

8 - Рассчитать оптимальный результат калибровки.

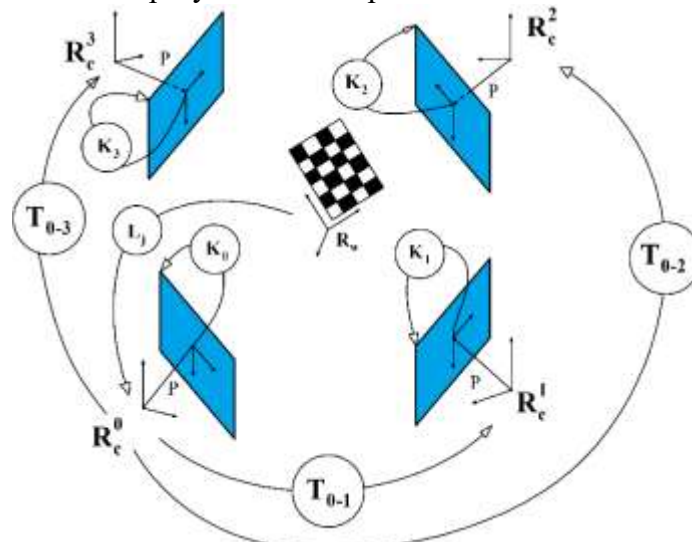


Рис. 3 – Геометрические преобразования в четырехкамерной системе

Калибровочная многокамерная система позволяет получать трехмерное изображение фруктов сложной формы, которое помогает избежать трудностей при определении дефектов на поверхности плодов, что невозможно преодолеть обработкой двухмерных изображений.

Считая, что, фоновая засветка имеет равномерный характер тогда входной сигнал на плоскости матрицы приемников можно представить, как приращение спектрального распределения яркости объектов  $L_2^o(\lambda, x, y)$  относительно спектральной яркости  $L_2^Ф(\lambda)$  пространственно-равномерного фона, а именно:

$$\Delta L(x, y, \lambda; x_0, y_0, \varphi) = L_2^o(x, y, \lambda; x_0, y_0, \varphi) - L_2^Ф(\lambda) \quad (2)$$

где  $x_0, y_0, \varphi$  – параметры, характеризующие положение и ориентацию объекта и подлежащие измерению в ОЭСОС.

Если пренебречь искажениями сигнала, которые обусловлены квантованием, то цифровое изображения плода для каждого из кадров, регистрируемых видеокамерой, представляется двумерным массивом:

$$F(x, y) = \begin{bmatrix} f_{0,0} & f_{0,1} & \dots & f_{0,N-1} \\ f_{1,0} & f_{1,1} & \dots & f_{1,N-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{M-1,0} & f_{M-1,1} & \dots & f_{M-1,N-1} \end{bmatrix},$$

где  $f_{i,j}$  – величина яркости в точке изображения с координатами  $(i,j)$ .

С учетом изложенного в рассматриваемом канале ОЭСОС при предварительной обработка изображений перемещающегося плода предложено применять процедуру комплексирования информации путем вычисления межкадровой разности яркостей полей кадров зарегистрированных при разнонаправленных источниках подсветки.

**Экспериментальные результаты:** Эксперименты проводились на установке содержащей оптико-электронный канал в виде видеокамеры **ВК** (Рис. 4 а) (VEK 535 с матрицей типа OV5620 CMOS QSXGA 5.17 MPixel), источников оптического излучения **И<sub>1,1</sub>** и **И<sub>1,2</sub>** (светодиодных ламп с потоком оптического излучения 1000 лм) и базового компьютера **БК** (ноутбук под Windows 7). Видеокамера располагалась фронтально на расстоянии 1000 мм, а импульсная подсветка **И<sub>1,1</sub>** и **И<sub>1,2</sub>** осуществлялась поочередно к объекту исследований под различными углами  $\varphi$  от 10 до 40 угловых градусов.

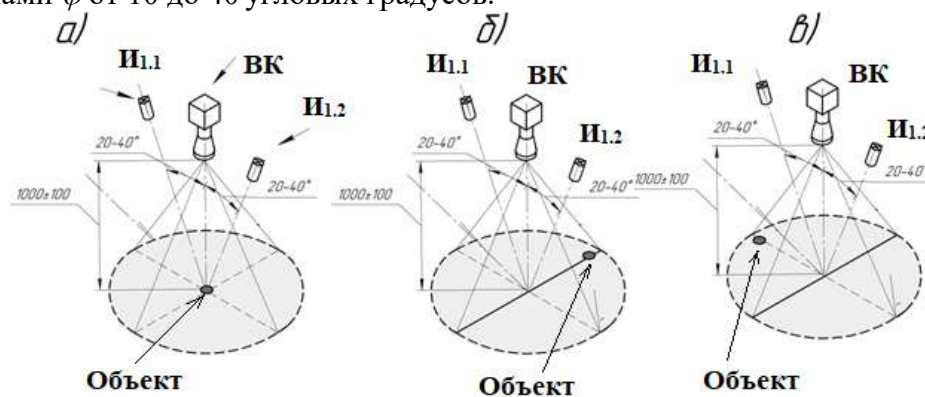


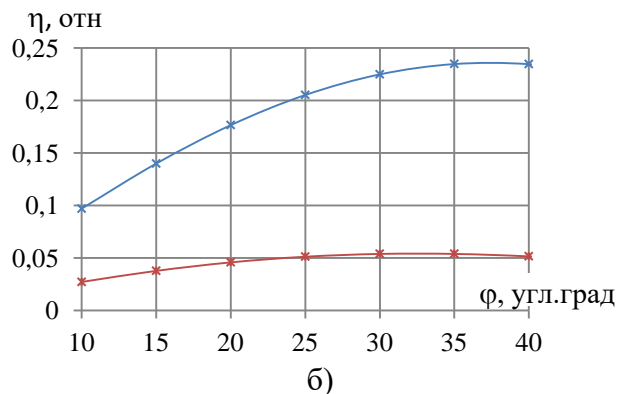
Рис. 4 – Схема эксперимента, ВК – видеокамера, И<sub>1,1</sub>, И<sub>1,2</sub> – источники оптического излучения

Для обработки изображений в среде LabVIEW применялась программа, реализованная по алгоритму межкадровой разности. Оценки качества изображений, полученных с помощью системы, осуществлялась по величине абсолютного контраста  $\eta$ , полученного при стационарном фоне.

Результаты эксперимента показали, что контрастность  $\eta$  в итоговом изображении увеличивалась в зависимости от величины углов подсветки почти в 2 раза (Рис. 5б).



а)



б)

Рис. 5 – Исследуемый объект после обработки изображений (а) и графики зависимости контрастности  $\eta$  двух различных элементов плода от углов синхронной подсветки источниками  $S_1$  и  $S_2$  поочередно (б).

При этом обработка геометрических параметров сегментированных изображений цветной капусты (Рис. 5а), до применения алгоритма межкадровой разности и после, показала уменьшение оценок СКО среднего размера плода на 8%.

Приведенные исследования, полученные для определенных частных условий контроля геометрических параметров плодов, подтверждают эффективность применения межкадровой разности при предварительной обработке изображений.

#### Вывод

Исследования показали, что схему с четырьмя видекамерами целесообразно применять в высокоскоростных системах трехмерного восстановления изображения, поскольку в этом случае обеспечивается перекрывающиеся поля зрения камер. В частности, для контроля объектов сложной формы, большой угол обзор позволяет практически уменьшить количество слепых точек до нуля, тем временем величины погрешности определения формы и размера значительно уменьшаются за счет калибровки и процедур обработки нескольких изображений.

Результаты эксперимента показали, что при использовании межкадровой разности изображений объекта, подсвеченного с разных направлений контрастность  $\eta$  в итоговом изображении, может увеличиваться в зависимости от углов подсветки почти в 2 раза.

Для проведения дальнейших исследований авторами планируется рассмотреть влияние калибровки в многокамерной схеме ОЭСОС на погрешность определения геометрических параметров плодов сложной формы.

#### Список литературы

1. Blasco, J., Aleixos, N., Molto, E., 2003. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. *Biosyst. Eng.* 85 (4), 415–423.
2. Idris, M.; Arof, H.; Tamil, E.; Noor, N.; Razak, Z. Review of feature detection techniques for simultaneous localization and mapping and system on chip approach. *Inf. Technol. J.* 2009, 8, 250–262.
3. Ramli, R.; Idris, M.Y.I.; Hasikin, K.; Karim, A.; Khairiah, N.; AbdulWahab, A.W.; Ahmady, I.; Ahmady, F.; Kadri, N.A.; Arof, H. Feature-Based Retinal Image Registration Using D-Saddle Feature. *J. Healthc. Eng.* 2017, 2017, 1–15.
4. Rosten, E.; Porter, R.; Drummond, T. Faster and better: A machine learning approach to corner detection. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 2010, 32, 105–119.
5. A. Gongal, S. Amatya, M. Karkee, Q. Zhang, K. Lewis, Sensors and systems for fruit detection and localization: a review, *Comput. Electron. Agric.* 116 (2015) 8–19.
6. Sachdeva, V.D.; Fida, E.; Baber, J.; Bakhtyar, M.; Dad, I.; Atif, M. Better object recognition using bag of visual word model with compact vocabulary. In *Proceedings of the 13th International Conference on Emerging Technologies (ICET)*, Islamabad, Pakistan, 27–28 December 2017; pp. 1–4.
7. Noordam, J.; Hemming, J.; Van Heerde, C.; Golbach, F.; Van Soest, R.; Wekking, E. Automated rose cutting in greenhouses with 3D vision and robotics: Analysis of 3D vision techniques for stem detection. In *Acta Horticulturae* 691; van Straten, G., Bot, G.P., van Meurs, W.T.M., Marcelis, L.F., Eds.; ISHS: Leuven, Belgium, 2005; pp. 885–889.
8. Mingchi Feng, Shuai Huang, Jingshu Wang, Bin Yang, and Taixiong Zheng, "Accurate calibration of a multi-camera system based on flat refractive geometry," *Appl. Opt.* 56, 9724-9734 (2017)
9. Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, Nov. 2000, doi: 10.1109/34.888718.