

МАКЕТ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СОРТИРОВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

А. Г. Дивин, П. В. Балабанов, Г. В. Шишкина, Г. В. Мозгова

*Кафедра «Мехатроника и технологические измерения»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
kafedra@uks.tstu.ru*

Ключевые слова: алгоритм функционирования; программное обеспечение; робот Fanuc; роботизированный комплекс; сортировка сельскохозяйственной продукции; техническое зрение.

Аннотация: Разработан макет роботизированного комплекса для сортировки сельскохозяйственной продукции. Показана процедура настройки системы технического зрения. Приведен алгоритм функционирования и листинг программы сортировки картофеля по размеру.

Сортировка овощей и фруктов является обязательной процедурой перед закладкой продукции на хранение или перед отправкой потребителю. Происходит выбраковка из исходной массы образцов, имеющих несоответствующие размеры, а также повреждения, полученные вследствие механических воздействий или фитозаболеваний. В настоящее время сортировка, как правило, предусматривает ручной труд, при котором человек длительное время совершает монотонную и утомительную работу. Поэтому поиск альтернативных методов сортировки сельскохозяйственной продукции является актуальной задачей.

Анализ разработанных роботизированных комплексов для отбраковки объектов растительного происхождения [1 – 8] позволяет сделать вывод о том, что наиболее перспективное направление в данной сфере – это применение систем технического зрения в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн электромагнитного спектра. Также в последнее время применение нейронных сетей и нечеткой логики в алгоритмах обработки изображений становится более востребовано.

Несмотря на достаточно большое число разработанных систем технического зрения, все они далеки от совершенства. В частности, решения об отбраковке несоответствующей по качеству продукции в процессе сортировки могут оказаться неверными в силу того, например, что яблоки разного сорта отличаются размерами и структурой, а их качество варьируется от сезона. Поэтому необходимо создание новых методов и алгоритмов сортировки. Также существует явная нехватка математических алгоритмов, ориентированных на компьютеры с высокой производительностью, поддерживающих параллельную обработку для анализа одновременно нескольких объектов.

Предлагаемый роботизированный комплекс для сортировки сельскохозяйственной продукции позволяет распознавать в видимой, ультрафиолетовой и ин-

фракрасной [9 – 10] областях спектра объекты, имеющие поверхностные или подповерхностные дефекты, механические повреждения, несоответствующие форму, размер или цвет. Важным элементом разрабатываемого сортировочного комплекса является система технического зрения, которая получает, обрабатывает и анализирует цифровое изображение объекта при помощи оптического тепловизора, видеокамер, компьютера и других электромеханических устройств. Схема макета роботизированного комплекса для сортировки картофеля показана на рис. 1.

Клубни картофеля 7 перемещаются по роликовому конвейеру, причем каждый клубень находится в ложе между соседними роликами 2, которые совершают линейное перемещение и одновременно вращаются благодаря жестко закрепленной на одной оси зубчатой шестерни 3, перемещающейся по рейке 1. Вращение роликов вызывает вращение клубня, благодаря чему камеры 4, 5 и 6 просматривают большую часть поверхности клубня. При этом камеры 4 и 5 типа Basler acA1920-155um имеют чувствительность в видимом диапазоне длин волн электромагнитного излучения, а камера 6 FLIR A 35 в интервале 8...14 мкм инфракрасного диапазона длин волн. Камера 4 предназначена для регистрации эмиссионного излучения от клубней картофеля, испытывающих воздействие от источника 8 ультрафиолетового излучения. Камера 5 регистрирует отраженный от клубней свет видимого диапазона источников 9, а тепловизор 6 с адаптером 12 – излучение от клубней, испытавших воздействие от инфракрасного нагревателя 10. Система технического зрения, реализованная в среде LabView с библиотекой NI Vision, служит для обработки изображений, поступающих с камер, поиска дефектов и регистрации координат несоответствующих объектов. Используя сигнал энкодера конвейера (на рис. 1 не показан), программно рассчитывается момент времени, в который с компьютера 11 через модуль дискретного выхода 13 поступает сигнал на контроллер 15 манипулятора 16 (Fanuc LRM-200id/4S), благодаря чему возможно удаление дефектного объекта с конвейера. Манипулятор данного типа

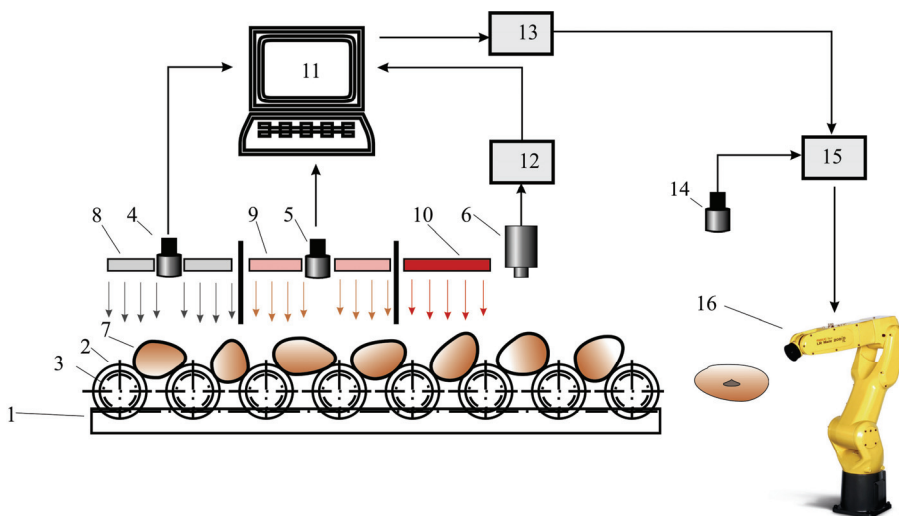


Рис. 1. Схема макета роботизированного комплекса для сортировки картофеля:

- 1 – рейка; 2 – ролик; 3 – зубчатая шестерня; 4, 5, 6, 14 – камеры; 7 – клубни картофеля;
 8 – источник ультрафиолетового излучения; 9 – источник света видимого диапазона;
 10 – инфракрасный нагреватель; 11 – компьютер; 12 – адаптер;
 13 – модуль дискретного выхода; 15 – контроллер; 16 – манипулятор

имеет также возможность работы с видеокамерой 14, что позволяет ему сортировать клубни по размерам.

Технические средства подсистемы сортировки по размеру включают робот Fanuc и камеру 14, оптическая ось которой расположена над объектом контроля. Если камера установлена на руке робота, то в процессе работы необходимо обеспечить перпендикулярность оптической оси камеры к плоскости XU , когда робот движется для захвата объекта. Программное обеспечение роботизированной системы сортировки создано в приложении iRPickTool, установленном в контроллера R-30iB.

Процедура настройки системы технического зрения включает несколько этапов: установка центральной точки схвата (ЦТС) робота (точки касания пальцев схвата с захватываемым объектом); установка калибровочной сетки (для настройки камеры); установка системы координат (для определения взаимного расположения камеры и схвата); создание видеопроцесса (где задается форма и размеры распознаваемого объекта); создание управляющей программы для робота.

В качестве рабочего органа предложено использовать пневматический схват Festo, для которого расстояние от фланца крепления на роботе до ЦТС составляет 70 мм. Данное значение при написании программы сохранено в позиционном регистре PR [10] (рис. 2) в целях компенсации размера схвата. Процедура установки ЦТС робота Fanuc стандартная, поэтому в рамках данной работы не приводится.

При установке камеры использовалась типовая процедура, осуществляемая в программе iRVision, а также калибровочная сетка (см. рис. 2) с расстоянием между соседними кругами 25 мм. Параметры видео процесса, задаваемые в данной программе, задавались таким образом, чтобы системой распознавались объекты, имеющие форму, близкую к форме круга или эллипса с радиусом или размером полуоси, равными или меньшими 17 мм.

Управляющая программа имеет структуру, представленную на рис. 3. Она включает основную программу PK_MAIN, программу инициализации PK_INIT, программу захвата объекта PK_PICK и программу PK_DROP укладки отбракованного объекта. Вызов подпрограмм осуществляется из программы PK_MAIN в соответствии с алгоритмом, представленном на рис. 3.

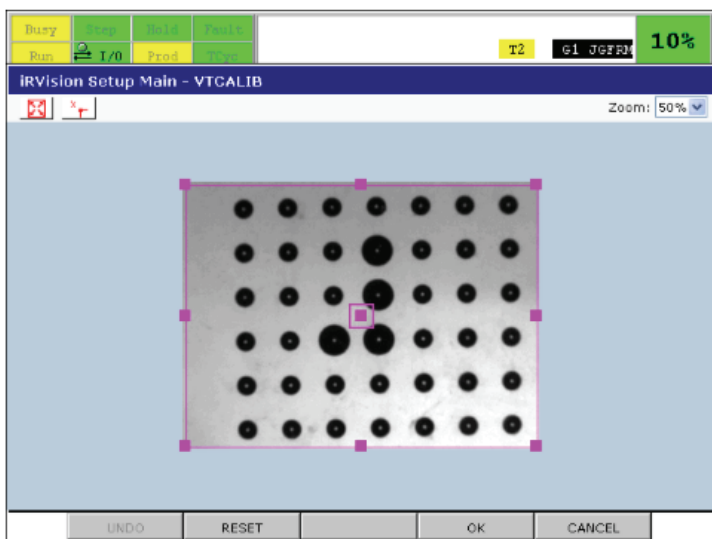


Рис. 2. Изображение калибровочной сетки в программе iRVision

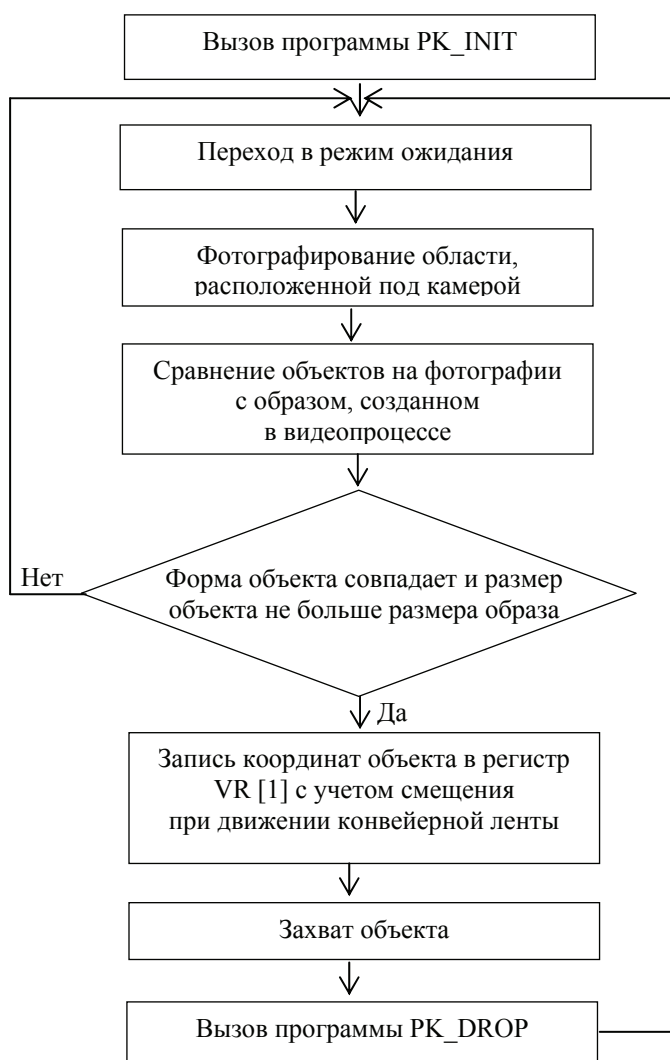


Рис. 3. Алгоритм функционирования программы PK_MAIN сортировки картофеля по размеру

При вызове программы PK_INIT (листинг 1.2) происходит сброс всех используемых в программах регистров, инициализация регистра PR [10], а также вызов функций, считывающих сигнал энкодера двигателя транспортера infeed и сигнал с камеры FSTN1. Далее робот переходит в режим ожидания. Схват робота расположен в точке P [1], определяемой координатами XYZ, и заданной в режиме обучения. Далее вызывается программа PK_PICK (листинг 1.3), отвечающая за распознавание объекта контроля и захват объекта, удовлетворяющего требованиям отбраковки (т.е. объекта округлой формы с диаметром меньшим 35 мм).

В программе PK_PICK осуществляется периодическое (с периодом 50 мс) фотографирование области конвейерной ленты, расположенной перпендикулярно оптической оси камеры. В созданном видеопроцессе осуществляется сравнение объектов на фотографии с эталонным образом, представляющим собой круг диаметром 35 мм. Если на фотографии имеются объекты, форма которых близка к форме

эталонного образа, а их размер не больше размера образа, то координаты распознанного объекта, подлежащего отбраковке, с учетом скорости движения конвейерной ленты, записываются в видеорегистр VR [1]. Полученные координаты в качестве сигнала смещения voffset передаются роботу, который с заданной скоростью 1000 мм/с перемещает схват к объекту и сопровождает объект в течение времени 0,3 с (оператор wait), достаточного для закрытия схвата и захвата объекта.

Листинг 1.1 Программа PK MAIN:

Программный код	Комментарий
CALL PK_INIT	Вызов функции инициализации
CALL PKWCSTART	
CALL PK_PERCH	
LBL [100]	Задание параметров инструмента
UTOOL_NUM=0	
UFRAME_NUM=0	
J P [1] 50% CNT100	
CALL PK_PICK	Переход в позицию ожидания
IF R [1]>0, JMP [10000]	Вызов функции захвата
CALL PK_DROP	Вызов функции укладки
IF R [1]>0, JMP [10000]	
JMP LBL [100]	
LBL [10000]	
CALL PKWCEND	Конец задачи
end	

Листинг 1.2 Программа PK INIT:

Программный код	Комментарий
PR [10]=LPOS-LPOS	Обнуление позиционного регистра
PR [10,3]=(-70)	
R [1]=0	Считывание сигнала с энкодера двигателя ленточного транспортера
CALL PKCS GETID ('infeed', CStn ID Reg=11)	
CALL PKFS GETID ('FSTN1', FStn ID Reg=12)	
CALL PKFS PUT QUE (Fstn ID=R[12])	
end	Считывание сигнала с камеры

Листинг 1.3 Фрагмент программы PK PICK:

Программный код	Комментарий
UFRAME_NUM=0	Задание параметров инструмента и рабочей области
UTOOL_NUM=R [3]	
LBL [100]	Перемещение к объекту
.....	
L P [1] 1000 mm/sec CNT100 VOFFSET, VR [1] Tool_Offset, PR [10]	
L P [1] 500 mm/sec CNT0 VOFFSET, VR [1] Tool_Offset, PR [15]	
WAIT. 30(sec)	Выдержка времени, необходимого на закрытие схвата
....	
end	

После схватывания объекта вызывается программа PK_DROP, в соответствии с которой он помещается в емкость для брака.

В связи с утвержденной Правительством программой «Цифровая экономика Российской Федерации» применение роботизированных комплексов, в том числе и в сельском хозяйстве, имеет большие перспективы. Благодаря высоким показателям скорости, грузоподъемности и маневренности роботы успешно заменяют ручной труд, они не знают усталости и не требуют специальных условий труда. К тому же в последнее время цена роботов имеет устойчивую тенденцию к снижению. Уже сейчас в робототехнике достигнуты огромные высоты, и с каждым годом данная сфера будет все больше развиваться, потому что будущее именно за ней.

Работа выполнена в рамках Соглашения № 14.577.21.0214 с Министерством образования и науки Российской Федерации (уникальный идентификатор RFMEFI57716X0214).

Список литературы

1. Polder, G. Calibration and characterization of spectral imaging systems / G. Polder, G. W. van der Heijden // Journal of Multispectral and Hyperspectral Image Acquisition and Processing. – 2001. – P. 10 – 17.
2. Di, W. Advanced applications of hyperspectral imaging technology for food quality and safety analysis and assessment: – Part II: Applications / W. Di, D.-W. Sun // Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2013. – No. 19. – P. 15 – 28.
3. Toyman, H. A Real-Time Apple Grading System Using Multicolor Space / H. Toyman, H. Kuscü // Journal of Scientific World Journal. – 2014. – P. 10 – 13.
4. Razmjoo, N. A real-time mathematical computer method for potato inspection using machine vision / N. Razmjoo, B. Somayeh Mousavib, F. Soleymani // Computers and Mathematics with Applications. – 2011. – No. 63. – P. 268 – 279.
5. Cubero, S. Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables / S. Cubero, N. Alexios, E. Moltó, J. Gómez-Sanchis, J. Blasco // Journal of Food Bioprocess Technol. – 2011. – No. 4. – P. 487 – 504.
6. Santosh, L. A review of vibrational spectroscopic techniques for the detection of food authenticity and adulteration / L. Santosh, L. Sangdae, L. Hoonsoo, Cho Byoung-Kwan // Journal of Trends in Food Science & Technology. – 2015. – No. 46. – P. 85 – 98.
7. Mahendran, R. Application of Computer Vision Technique on Sorting and Grading of Fruits and Vegetables / R. Mahendran, G. C. Jayashree, K. Alagusundaram // Journal of Food Processing & Technology. – 2012. – P. 1 – 7.
8. Panitnat, Y. Agricultural Produce Grading by Computer Vision Based on Genetic Programming / Y. Panitnat // International Conference on Robotics and Biomimetics. – 2015.
9. Филатова, А. Г. Температурное поле дисперсного материала в системе контактирующих тел / А. Г. Филатова, А. А. Чуриков, А. Г. Дивин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 21, № 1. – С. 16 – 21.
10. Чуриков, А. А. Проектирование оптимального режима проведения неразрушающего теплового контроля малогабаритных изделий / А. А. Чуриков, Н. А. Кобышева, Г. В. Шишкина // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 22, № 1. – С. 6 – 14.

A Model of Robotic Sorting Facility for Agricultural Products

A. G. Divin, P. V. Balabanov,
G. V. Shishkina, G. V. Mozgova

*Department of Mechatronics and Technological Measurements,
TSTU, Tambov, Russia; kafedra@uks.tstu.ru*

Keywords: algorithm of functioning; software; Fanuc robot; robotic facility; sorting of agricultural products; technical vision.

Abstract: A model of a robotic sorting facility for agricultural products is developed. The procedure for setting up the vision system is shown. The algorithm of functioning and the program for sorting potatoes by size are described.

References

1. Polder G., Heijden van der G. W. Calibration and Characterization of Spectral Imaging Systems, *Journal of Multispectral and Hyperspectral Image Acquisition and Processing*, 2001, pp. 10-17.
2. Di W., Sun D.-W. Advanced Applications of Hyperspectral Imaging Technology for Food Quality and Safety Analysis and Assessment, Part II: Applications, *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2013, no. 19, pp. 15-28.
3. Toylan H., Kuscü H. A Real-Time Apple Grading System Using Multicolor Space, *Journal of Scientific World Journal*, 2014, pp. 10-13.
4. Razmjoo N., Somayeh Mousavib B., Soleymani F. A Real-Time Mathematical Computer Method for Potato Inspection using Machine Vision, *Computers and Mathematics with Applications*, 2011, no. 63, pp. 268-279.
5. Cubero S., Aleixos N., Moltó E., Gómez-Sanchis J., Blasco J. Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables, *Journal of Food Bioprocess Technol*, 2011, no. 4, pp. 487-504.
6. Santosh L., Sangdae L., Hoonsoo L., Byoung-Kwan Cho. A Review of Vibrational Spectroscopic Techniques for The Detection Of Food Authenticity and Adulteration, *Journal of Trends in Food Science & Technology*, 2015, no. 46, pp. 85-98.
7. Mahendran R., Jayashree G. C., Alagusundaram K. Application of Computer Vision Technique on Sorting and Grading of Fruits and Vegetables, *Journal of Food Processing & Technology*, 2012, pp. 1-7.
8. Panitnat Y. Agricultural Produce Grading by Computer Vision Based on Genetic, *International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2015.
9. Filatova A.G., Churikov A.A., Divin A.G. [Temperature Field of a Dispersed Material in a System of Contacting Bodies], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2015, vol. 21, no. 1, pp. 16-21. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Churikov A.A., Konyshva N.A., Shishkina G.V. [Designing the Optimal Mode for Conducting Non-Destructive Thermal Control of Small-Sized Products], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22., no. 1, pp. 6-14. (In Russ., abstract in Eng.)

Das Modell des Roboterkomplexes zum Sortieren landwirtschaftlicher Produkte

Zusammenfassung: Es ist ein Modell des Roboterkomplexes zum Sortieren landwirtschaftlicher Produkte entwickelt. Die Vorgehensweise des Einrichtens des Sichtsystems ist angezeigt worden. Angegeben sind der Algorithmus des Funktionierens und die Auflistung des Kartoffelsortierungsprogramms nach der Größe.

Maquette de l'ensemble industriel robotisé pour le triage des produits agricoles

Résumé: Est conçue la maquette de l'ensemble robotisé pour le triage des produits agricoles. Est montrée la procédure du réglage du système de la vision technique. Est cité l'algorithme du fonctionnement et le listing du programme de triage des pommes de terre suivant les dimensions.

Авторы: *Дивин Александр Георгиевич* – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Мехатроника и технологические измерения»; *Балабанов Павел Владимирович* – доктор технических наук, доцент кафедры «Мехатроника и технологические измерения»; *Шишкина Галина Викторовна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Мехатроника и технологические измерения»; *Мозгова Галина Владимировна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Мехатроника и технологические измерения», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Беляев Павел Серафимович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Материалы и технология», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.
