УДК 631.354.2

Поступила в редакцию 20.11.2024
Received 20.11.2024

А. Н. Юрин

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ ПЛОДОВ (APPLECTL)

Аннотация. В данной статье представлено обоснование программы управления системой технического зрения для оптической сортировки плодов технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 и приведено описание основных ее составляющих.

Ключевые слова: интерфейс, пользователь, изображение, яблоко, сорт, заказ, параметры, статистика, лотки, инженерия, точка сброса, функция.

A. N. Yurin

RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru

DEVELOPMENT OF A TECHNICAL VISION SYSTEM CONTROL PROGRAM FOR OPTICAL FRUIT SORTING (APPLECTL)

Annotation. This article presents the rationale for the technical vision system control program for optical sorting of fruits of the technological line for sorting and packing apples LSP-4 and provides a description of its main components.

Keywords: interface, user, image, apple, grade, order, parameters, statistics, trays, engineering, reset point, function.

Введение

В настоящее время контроль качества плодов – недостаточно механизированный процесс и на его выполнение приходится до 70 % всех трудозатрат товарной их обработки [1–4].

В процессе сортировки учитывается размер плодов, наличие повреждений от болезней, вредителей и механического воздействия.

Из всех известных средств автоматизации, предназначенных для такой цели, наиболее качественно этот процесс может быть выполнен только оптическими средствами контроля на основе системы технического зрения (в дальнейшем – СТЗ) [5–6]. Немаловажной частью СТЗ является ее электронный блок управления (ЭБУ), управление которым осуществляется посредством программного обеспечения [7].

Создание программного обеспечения, позволяющего осуществлять эффективное управление СТЗ, является важной задачей [8].

Основная часть

Программный продукт предназначен для управления системой технического зрения для сортировки плодов по диаметру и наличию дефектов от механических повреждений, вредителей и болезней на три товарных сорта.

Область применения: сельскохозяйственные предприятия любых форм собственности, специализирующиеся на производстве плодовой продукции.

Конструкция и рабочий процесс СТЗ

СТЗ представляет собой сложное распределенное техническое устройство, состоящее из двух основных элементов:

– электрического блока управления с вычислительным модулем и сенсорным монитором (рисунок 1);

– оптический модуль, с видеокамерой и подсветкой (рисунки 2; 3, *а*, *б*).

В основу работы системы классификации СТЗ положен принцип визуального анализа данных. При прохождении через оптический модуль плоды фотографируются, изображение передается в вычислительный модуль, где программное обеспечение классифицирует поступающие плоды согласно заданным параметрам.

СТЗ обеспечивает получение изображений движущихся яблок, распознавание и обработку полученных изображений, формирование изображений в образы с последующей классификацией яблок по сортам, выдачу управляющего сигнала сбрасывателям, осуществляющим сброс яблок с индивидуальных кареток конвейера на выходные конвейеры соответствующих сортов.

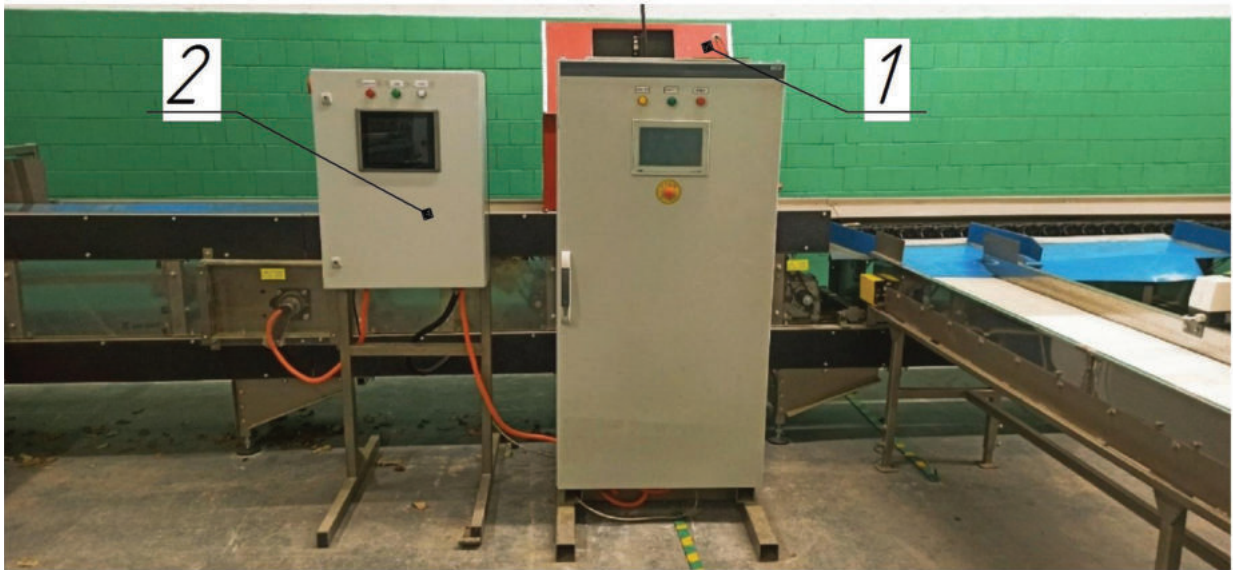
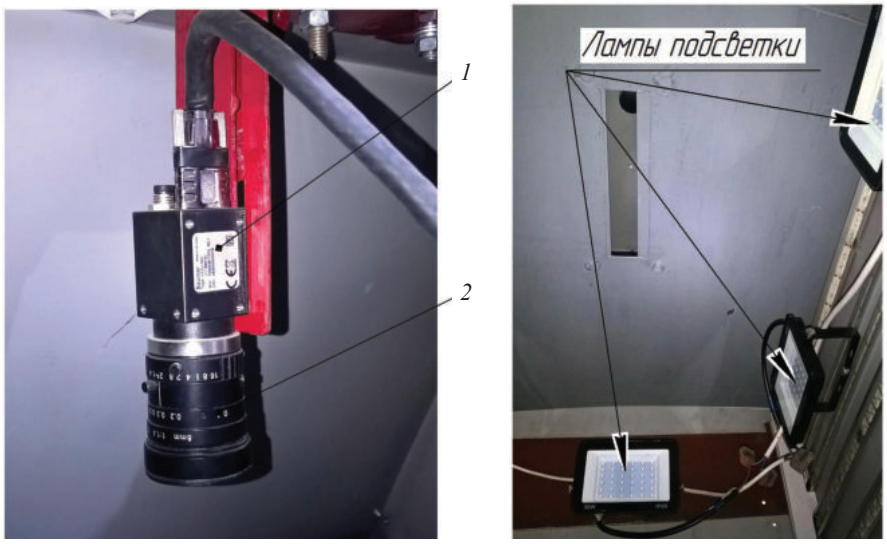


Рисунок 1 – Система технического зрения:
1 – оптический модуль с видеокамерой и структурной подсветкой; *2* – электронный блок управления

Рисунок 2 – Оптический модуль СТЗ



а *б*

Рисунок 3 – Компоненты оптического модуля СТЗ: *а* – видеокамера VCXU-32C (поз. 1) с объективом AZURE-0818M3M (поз. 2); *б* – лампы структурной подсветки

В качестве вычислительного модуля использован промышленный компьютер DS-1200 с процессором Intel® Core™ i7-8700 Hexa-Core, оперативной памятью DDR4 объемом 16 ГБ, жестким диском объемом 256 ГБ. Диалог с оператором осуществляется посредством сенсорного монитора CV-110H/M1001.

В качестве структурированной подсветки использованы светодиодные лампы со светодиодами типа Smd 5050 (тепло-белого свечения) суммарной мощностью 160 Вт (220 V) (рисунок 3, *б*).

Программный продукт обеспечивает: управление видеокамерой системы технического зрения (рисунок 3, *а*), осуществляющей фотографирование яблок; обнаружение их признаков; распознавание дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей; присвоение сорта и управление исполнительными механизмами разделения потока плодов на сорта.

Общие сведения:

Программное обеспечение системы технического зрения (СТЗ) написано на 2 языках программирования Python и C++, работает в операционной системе Ubuntu 16.04, использующей ядро Linux и содержит следующие элементы:

– подпрограмма сегментации и трекинга;
– подпрограмма распознавания дефектов яблок на изображениях с помощью ИНС;
– подпрограмма классификации сортов яблок по комплексным параметрам;
– подпрограмма работы с базой данных (Base);
– подпрограмма настройки параметров видеокамеры (Camera);
– подпрограмма управления данными о заказах (Ctl);
– подпрограмма управления механизмами (Transporter);
– подпрограмма интерфейса пользователя (UI);
– подпрограмма «верхнего» уровня.

Функциональные назначения подпрограмм

После захвата изображения камерой оно поступает в подпрограмму сегментации (рисунок 4), которая генерирует прямоугольники, ограничивающие яблоки. Прямоугольники поступают на подпрограмму трекинга, которая сопоставляет объекты текущего кадра с объектами предыдущего кадра. Далее изображения идентифицированных яблок классифицируются. Программа собирает информацию об обнаруженных дефектах и размерах яблок до тех пор, пока каждый плод не дойдет до конца анализируемого края (ROI). После того, как яблоко доходит до конца края на основе собранной информации ему присваивается номер одного из четырех классов: 1 – высший

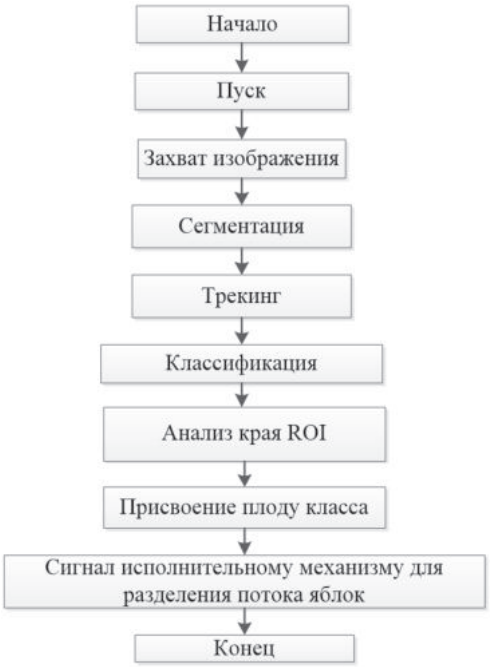


Рисунок 4 – Алгоритм функционирования программы управления системой технического зрения для оптической сортировки плодов (AppleCtl)

сорт, 2 – первый сорт, 3 – второй сорт, 4 – бессортовое. В зависимости от класса программа генерирует сигнал исполнительному механизму для механического разделения потока яблок на сорта по качеству.

Подпрограмма сегментации трекинга

Программа сегментации предназначена для разделения цифрового изображения яблок, движущихся по конвейеру (рисунок 5), от изображения транспортирующих кареток конвейера.

Алгоритм работы программы основан на принципе: конвейер черный, а все яблоки имеют красные, желтые или зеленые оттенки (или их комбинации), благодаря чему они выделяются на фоне конвейера.

Для анализа цвета изображение переводится в формат RGB, для сегментиации зеленых, желтых или красных оттенков цветов на цифровых изображениях яблок.

Для получения полной визуальной информации о качестве яблок необходимо фотографирование их со всех сторон, что обеспечивается механическим вращением плодов на конвейере в поле зрения видеокамеры фотомодуля.

Для обеспечения слежения за перемещающимися и вращающимися плодами используется программа трекинга.

На вход алгоритма программы трекинга поступает набор координат прямоугольников, ограничивающих яблоки. Алгоритм трекинга учитывает информацию, сгенерированную им для предыдущего кадра видеопоследовательности (если он не первый), и выдает каждому ограничивающему прямоугольнику текущего кадра уникальный номер (назначает индивидуальный

Рисунок 5 – Моментальный кадр движущихся по конвейеру яблок

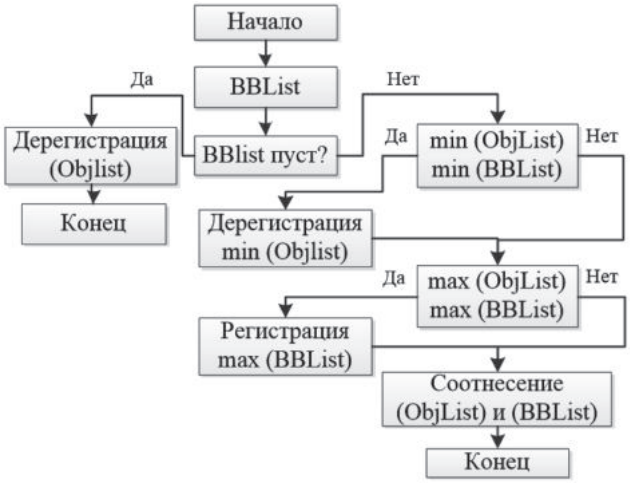


Рисунок 6 – Блок-схема предложенного алгоритма трекинга объектов

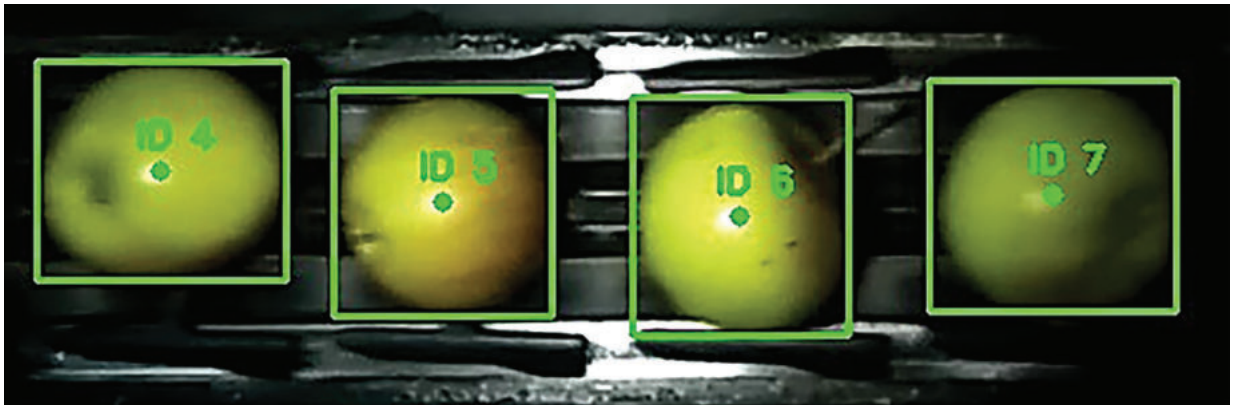


Рисунок 7 – Результат работы алгоритма трекинга объектов

номер – ИД). Алгоритм сопоставляет яблоки на двух кадрах и позволяет идентифицировать одно и то же яблоко на разных кадрах как одно, а не как несколько разных.

На рисунке 6 представлена блок-схема работы алгоритма трекинга.

BBList – это список координат ограничивающих прямоугольников ($x1, y1, x2, y2$), поступающих на вход алгоритма; ObjList – список объектов (ИД id и координат ограничивающих прямоугольников ($x1$, $y1$, $x2$, $y2$), сгенерированный алгоритм трекинга для предыдущего кадра; мин (ObjList) (макс (ObjLis)) обозначает, что из списка координат ограничивающих прямоугольников объектов выбирается наименьшая координата левого нижнего угла прямоугольника (наибольшая координата правого нижнего угла).

Регистрация объекта обозначает присвоение ему ИД и включение его в список объектов, где регистрация – удаление объекта из списка объектов, соотнесение объектов означает присвоение объектам текущего кадра ИД, который выбирается из списка ИД объектов предыдущего кадра. Результат работы алгоритма трекинга объектов показан на рисунке 7.

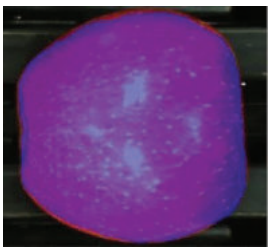
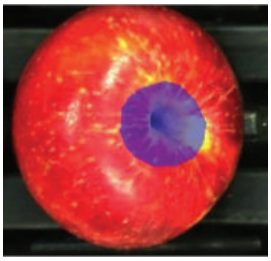
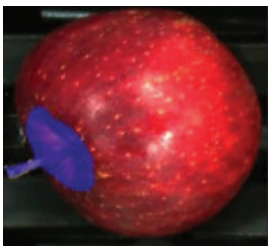
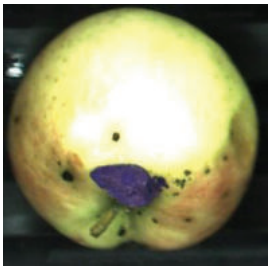
Подпрограмма распознавания дефектов яблок на изображениях с помощью искусственной нейронной сети ИНС

Для распознавания дефектов на изображениях яблок используются сегментационная сеть lraspp mobilenetV3 из пакета mmsegmentation PyTourch на основе обучающей выборки изображений плодов с выделением его помологических особенностей (таблица 1) и 10 различных дефектов плодов (таблица 2).

Результаты определения дефектов яблок представлены на рисунке 8.

Рисунок 8 – Результаты определения ИНС дефектов яблок

Таблица 1 – **Помологические особенности яблок**

Условное обозначение	Наименование	Фото	Условное обозначение	Наименование	Фото
apple	яблоко		**funnel**	«воронка» плодоножки без плодоножки	
sepal	цветоложе		**leg**	плодоножка без «воронки» (не видна)	
stam	«воронка» плодоножки с плодоножкой		**leaf**	лист	

Подпрограмма классификации сортов яблок по комплексным параметрам

Программа классификации сортов яблок по комплексным параметрам предназначена для определения наличия и распознавания дефектов плодов от механических повреждений, болезней и вредителей и присвоения сорта яблокам, в соответствии с указанными в таблице 3.

Подпрограмма работы с базой данных (Base) предназначена для работы с графическим приложением, настройки счетчика шагов энкодера, создания файла архива настроек управления СТЗ.

Подпрограмма настройка параметров видеокамеры (Camera) предназначена для настройки количества кадров съемки в секунду, диафрагмы и выдержки видеокамеры в зависимости от мощности, используемой структурной подсветки фотомодуля СТЗ, для получения качественных фотографий.

Подпрограмма управления данными о заказах (Ctl) предназначена для ведения базы данных о заказах, составления и хранения статистики работы СТЗ.

Таблица 2 – **Дефекты яблок**

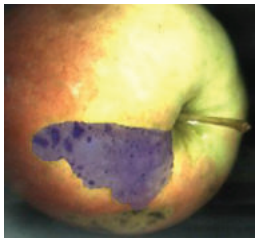
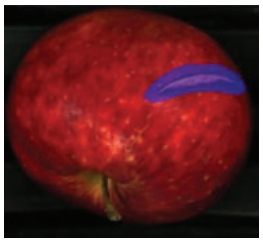
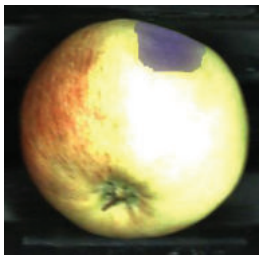
Условное обозначение	Наименование	Фото	Условное обозначение	Наименование	Фото
net	Сетка		point	Парша	
scratch	Порез		spotting	Парша	
pressure	Нажим		wart	Парша	
hail	Градобоина		lumps	Парша	
rot	Гниль		scab	Парша	

Таблица 3 – **Показатели качества выполнения технологического процесса сортировки плодов**

Наименование показателя	Характеристика и требования для сорта		
	высшего	первого	второго
Наибольший размер плода, мм	70–65	65–60	60–55
Механические повреждения:			
«градобоина» / “hail”	н/д*	до 2 $см^2$	2$см^2$–¼ поверхности
«порез», «нажим» / “scratch”, “pressure”	н/д*	до 2 $см^2$	2–4 $см^2$
Повреждения вредителями	н/д*	до 2 $см^2$	2–4 $см^2$
Повреждения болезнями / Disease damage:			
«гниль»/ “rot”	н/д*		
«сетка»/ “net”	н/д*	до ¼ поверхности	допускается
«парша» / “point”, “wart”, “spotting”, “lumps”, “scab”	н/д*	до 2 $см^2$	2$см^2$–¼ поверхности

* н/д – не допускается.

Подпрограмма управления механизмами (Transporter) предназначена для отправления и получения данных энкодера, определения скорости движения и координат индивидуальных кареток главного конвейера для яблок, выработки управляющего сигнала соленоидам делителей потока яблок.

Подпрограмма интерфейса пользователя (UI) предназначена для управления графическим интерфейсом пользователя СТЗ.

Подпрограмма «верхнего» уровня предназначена для осуществления взаимодействия всех подпрограмм между собой, управления ими и организации цикла работы СТЗ.

Вывод

Разработано программное обеспечение сортировщика, обеспечивающее обнаружение признаков, распознавание дефектов от механических повреждений, вредителей и болезней, принятие решения и механическое разделение потока яблок на три товарных сорта.

Список использованных источников

1. Смирнов, И. Г. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур / И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт, А. И. Кутырев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 35–41.

2. Роботизированный комплекс для сортировки яблок / П. В. Балабанов [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–23 окт. 2020 г. / Тамбов. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2020. – Т. 1. – С. 44–47.

3. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision / C. Szegedy [et al.] // Cornel Univercity Library. – URL: https://arxiv.org/pdf/1512.00567.pdf (date of access: 15.05.2018).

4. ImageNet // Stanford Vision Lab, Stanford University, Princeton University. – URL: http://www.image-net.org (date of access: 05.04.2018).

5. Yuzhen, Lu. Development of a multispectral Structured Illumination Reflectance Imaging (SIRI) system and its application to bruise detection of apples [Разработка мультиспектральной системы визуализации отраженного изображения (SIRI) и ее применение для обнаружения повреждений яблок. (США)] / Lu Yuzhen, Lu Renfu // Transactions of the ASABE / Amer. soc. of agriculture and biol. engineering. -St. Joseph (Mich.), 2017. – Vol. 60, № 4. – P. 1379–1389.

6. Казакевич, П. П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500. – DOI: 10.29235/1817-7204-2021-59-4-488-500.

7. Юрин, А. Н. Инновационные технологические процессы и технические комплексы для интенсивного садоводства Беларуси / А. Н. Юрин. – Минск : Беларус. навука, 2022. – 208 с.

8. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе / Д. О. Хорт [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК / Федер. науч. агроинженер. центр ВИМ. – 2020. – № 1 (38). – С. 133–141.