

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 628.0.032-405.08

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.196-205>

В.И. Ветохин, доц., д-р техн. наук

Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава, Украина

e-mail: veto.vladim@gmail.com

В.В. Голдыбан, канд. техн. наук, **М.И. Курилович**

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: labpotato@mail.ru

Способ и устройство для автоматического распознавания некондиционных клубней картофеля

В статье приведено описание макетного образца автоматической сортировальной машины, предназначенной для распознавания внешних дефектов клубней картофеля и их автоматической инспекции струей сжатого воздуха. Процесс распознавания состоял из трёх основных модулей: сегментации, трекинга движущегося в кадре по конвейеру картофеля и классификации с помощью обученной искусственной нейронной сети. Для сегментации клубней картофеля на фоне транспортирующего конвейера в режиме реального времени использован метод, основанный на вычислении цветового порога. Для трекинга движущихся клубней картофеля использовался алгоритм центроидного трекинга. Для обучения искусственной нейронной сети был создан собственный набор данных, состоящий из изображений товарных и дефектных клубней картофеля.

клубень картофеля, дефект, автоматическая сортировка, машинное зрение

В.І. Ветохін, доц., д-р техн. наук

Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна

В.В. Голдибан, канд. техн. наук, **М.І. Курилович**

РУП «НПЦ НАН Білорусі по механізації сільськогосподарства». м. Мінськ, Республіка Білорусь

Спосіб і пристрій для автоматичного розпізнання некондиційних бульб картоплі

У статті наведений опис макетного зразка автоматичної сортувальної машини, призначеної для розпізнавання зовнішніх дефектів бульб картоплі і їх автоматичної інспекції струменем стисненого повітря. Процес розпізнавання складався із трьох основних модулів: сегментації, трекінга, що рухається в кадрові по конвеєру картоплі й класифікації за допомогою навченої штучної нейронної мережі. Для сегментації бульб картоплі на фоні транспортуючого конвеєра в режимі реального часу використаний метод, заснований на обчисленні колірної порогової. Для трекінга бульб картоплі, що рухаються, використовувався алгоритм центроїдного трекінга. Для навчання штучної нейронної мережі був створений власний набір даних, що складається із зображень товарних і дефектних бульб картоплі.

бульба картоплі, дефект, автоматичне сортування, машинний зір

Постановка проблеми. Для производительной и точной сортировки картофеля создаются нетрудоёмкие современные методы, такие как машинное зрение. Основой этого метода является фото/видео съёмка образцов, анализ изображений, сравнение их со стандартом и принятие решения об отделении некондиционных образцов из общего потока.

© В.И. Ветохин, В.В. Голдыбан, М.И. Курилович, 2020

Анализ последних исследований и публикаций. Учеными исследовались разные методы и способы для автоматической сортировки корнеклубнеплодов.

Так, Я.С. Нордоном из Вагенингского Университета (Нидерланды) предложена разработка высокоскоростной системы машинного зрения для контроля качества и сортировки картофеля по размеру, его форме и внешним дефектам [1].

Н.В. Бышовым из Рязанского государственного агротехнологического университета (Российская Федерация) предложена разработка идентификационного устройства для создания набора эталонных данных геометрических параметров и цветовой информации основанной на применении акустооптического перестраиваемого фильтра, который формирует поток оптического излучения, освещающего поверхность клубней картофеля [2].

А. Голмохамади из Табрицкого Университета (Иран) предложена разработка сортировочной машины для картофеля посредством обработки изображений в рамках проекта машинного зрения [3].

Р. Мартели из Болонского Университета (Италия) предложен метод идентификации и оценки для обнаружения внешних повреждений картофеля с помощью системы автоматического распознавания изображений [4].

М. Таваколи из Исламского Университета Азад (Иран) была создана техника для определения проросших участков картофеля с использованием систем машинного зрения [5].

М. Барнесом из Университета Линкольна (Великобритания) представлено решение, основанное на минимализме программы AdaBoost для выявления дефектных пятен, присутствующих в изображениях картофеля [6].

Ху Донгангом из Хуацзоньского сельскохозяйственного Университета (Китай) предложен метод сортировки картофеля по форме с помощью систем технического зрения [7].

М.Р. Ахмедом из Мичиганского Университета (США) предложили метод гиперспектрального изображения, который может быть использован для ускорения получения изображения, прогнозирования и обнаружения дефектов [8].

Т. Фангом из Китайского сельскохозяйственного университета и Национального научно-исследовательского центра агроперерабатывающего оборудования Китая был предложен неразрушающий метод обнаружения ризоктониоза картофеля, основанный на технологии машинного зрения [9].

Н. Эльсайдом из научно-исследовательского института сельскохозяйственного машиностроения (Египет) была разработана система сортировки клубней картофеля, с помощью акустического ударного метода [10].

Как видим из представленного обзора, наиболее перспективным направлением в области сортировки картофеля является применение систем технического зрения и автоматической инспекции. В основу данного метода положен принцип визуального анализа данных, согласно которому полученные с видеокamеры изображения движущихся по конвейеру клубней обрабатываются и формируются в образы, с последующей классификацией и выдачей соответствующего управляющего сигнала на блок управления сортировальной машины, который активизирует исполнительное устройство.

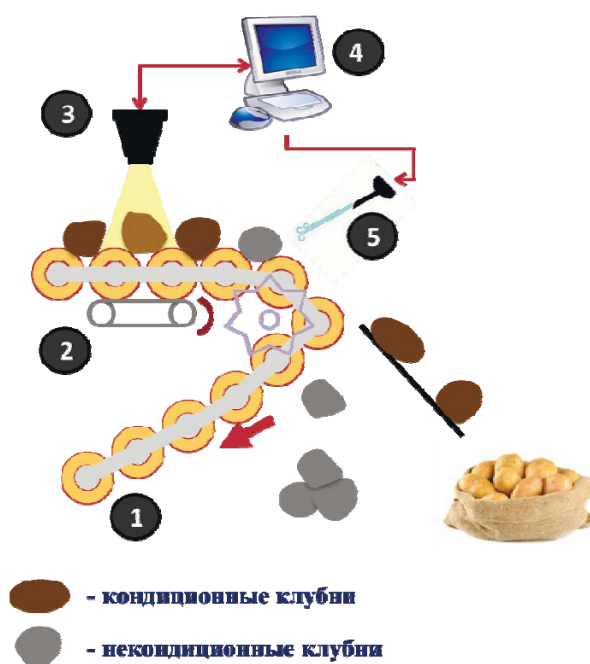
Постановка задачи. Целью статьи является повышение качества и производительности сортировки путём разработки способа и интеллектуального устройства для автоматического распознавания и инспекции некондиционных клубней картофеля.

Изложение основного материала. В настоящее время отечественными производителями сортировка некондиционных клубней картофеля для последующей товарной реализации выполняется на переборочных столах. Ворох картофеля, поступающий на сортирующие устройства, представляет собой смесь товарных и дефектных клубней. Задача сортировки заключается в разделении дефектных клубней от общей поступающей массы картофеля согласно предъявляемым требованиям к обрабатываемой продукции ГОСТ 26832-86-2010 [11]. Для сортировки продовольственного картофеля РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», при участии «ОИПИ НАН Беларуси», разработан и изготовлен макетный образец автоматической сортировальной машины, принципиальная схема которого представлена на рис.1.

Она состоит из рамы, вальцово-подающего конвейера, механизмов привода, системы распознавания, состоящей из видеокамеры и персонального компьютера, и пневматической системы отделения.

Рама установки выполнена из конструкционного алюминиевого профиля для создания определённой прочности и жёсткости конструкции, и удобства монтажа на неё основных узлов установки и электрооборудования.

Вальцово-подающий конвейер представляет собой бесконечный тяговый рабочий орган с закрепленными на нем вальцами. Рабочая поверхность вальцов выполнена в виде однополосного гиперболоида вращения. Параметры вальцевого подающего конвейера: длина $l = 160$ мм, максимальный диаметр $d_{\max} = 70$ мм, минимальный диаметр $d_{\min} = 60$ мм, зазором между вальцами $c = 21$ мм, количество вальцов – 36. Вальцовый конвейер предназначен для транспортировки и вращения клубней картофеля.

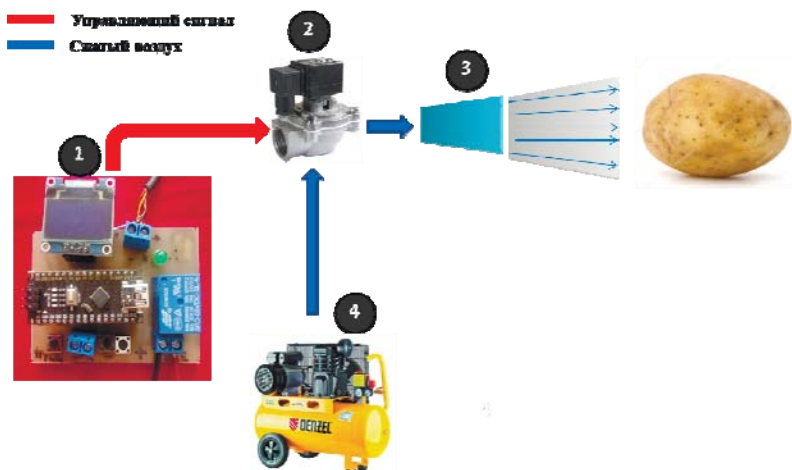


1 – вальцово-подающий конвейер; 2 – приводной ремень; 3 — промышленная скоростная видеокамера;
4 – вычислительный модуль в виде компьютера; 5 – система отделения

Рисунок 1 – Принципиальная схема макетного образца автоматической сортировальной машины
Источник: разработано авторами

Для вращения клубней в зоне системы распознавания предусмотрен механизм привода валцов, который состоит из мотор-редуктора, приводного ремня 1, шкивов 2. Валцы, в области механизма привода, вращаются посредством трения о приводной ремень. Частота вращения валцов регулируется посредством мотор-редуктора.

Пневматическая система отделения некондиционных клубней картофеля состоит из электронного блока управления 1, импульсного клапана 2, форсунки 3, компрессора 4 (рис. 2). Она предназначена для отделения некондиционных клубней картофеля струёй сжатого воздуха.



1 – электронный блок управления; 2 – импульсный клапан; 3 – форсунка; 4 – компрессор

Рисунок 2 – Схема пневматической системы отделения

Источник: разработано авторами

Импульсный клапан осуществляет кратковременную подачу воздуха. Для управления режимом работы импульсного клапана специально изготовлен электронный управляющий блок, который подключён к вычислительному модулю через виртуальный СОМ-порт. Блок управления позволяет установить необходимую длительность открытия клапана.

Система распознавания состоит из механического защищенного корпуса, высокоскоростной камеры, вычислительного модуля, структурированной подсветки, модуля коммуникации с пневматической системой отделения. Она предназначена для распознавания дефектов клубней картофеля и выдачи сигнала исполнительному устройству.

Основной задачей системы распознавания является формирование и выдача блоку управления автоматической сортировальной машины данных, содержащих информацию о кондиции клубня картофеля и номер его позиции на линейном транспортёре. Эта информация используется для активизации пневмоклапана, установленного на транспортёре.

Механический защищённый корпус представляет собой составное каркасное изделие. Корпус предназначен для выполнения следующих функций:

- фиксации видеокамеры машинного зрения и структурированной подсветки на определенном расстоянии от вальцового конвейера, перемещающего клубни картофеля;
- перекрытие доступа попадания на анализируемый видеокамерой машинного зрения картофель стороннего света, кроме собственной структурированной подсветки.

Для захвата и передачи графических изображений, движущихся на транспортёре клубней картофеля, в вычислительный модуль для последующего их анализа с целью

определения их кондиции используется видеокамера машинного зрения. Видеокамера машинного зрения состоит из блока высокоскоростной промышленной видеокамеры, имеющего пыле- и влагозащищённый корпус с креплениями, и оптического объектива с механической настройкой резкости. Блок высокоскоростной видеокамеры имеет промышленные разъёмы для подключения электропитания и информационного канала, которые выходят из защищенного механического корпуса через специальные отверстия.

Структурированная подсветка предназначена для равномерного освещения рабочей области, необходимого для правильного функционирования изделия, и включает линейный светодиодный модуль и источник электропитания светодиодного модуля напряжением 24 В. Учитывая требования к системе распознавания, в качестве структурированной подсветки было решено использовать современные светодиодные ленты, обладающие рядом положительных характеристик.

В качестве блока высокоскоростной видеокамеры была выбрана видеокамера машинного зрения VCXU-13C, которая размещена в механическом защищенном корпусе размером 800×360×490 мм, скорость съёмки – 222 кадров/с. Электропитание совмещено с информационными каналами и подаётся по интерфейсу USB 3.0.

В качестве оптического объектива для высокоскоростной камеры был выбран объектив 0814MM-C со следующими параметрами: оптимальный размер прибора с зарядовой связью матрицы 2Мп и 1/2“, фокусное расстояние $f=8$ мм, диафрагма F1.4, тип крепления к камере C-mount.

Учитывая требования функционирования оптической системы распознавания, в качестве вычислительного модуля был выбран ноутбук HP Pav Gaming 15, оснащённый дискретной видеокартой NVidia.

Для сегментации изображения, т.е. отделения изображений картофеля от конвейера, который в данном случае является фоном, был выбран алгоритм сегментации по цветовому порогу [12-14].

Так как конвейер светлый, а картофель тёмный, то можно подобрать пороговое значения, при котором пиксели ниже заданного порога будут относиться к картофелю, а пиксели выше заданного порога будут принадлежать конвейеру. Бинарное изображение, полученное после применения порогового значения $thresh = 170$, показано на рис. 3.

Проблема бинаризации изображения конвейера по порогу состоит в том, что яркость теневых участков конвейера и яркость картофеля совпадают. Кроме этого, промежутки между валиками имеют низкую яркость, что также отмечается алгоритмом как картофель. Для преодоления этого недостатка используется следующий алгоритм:

- 1) посчитать сумму пикселей в каждой строке маски анализируемого изображения;

- 2) если эта сумма меньше заданной минимальной ширины картофеля в пикселях, то такая строка считается принадлежащей конвейеру и помечается нулевыми значениями (фон);

- 3) применить морфологические преобразования.

Результат применения такого алгоритма показан на рис. 4. На маске изображения конвейера с картофелем остались артефакты фона. Они удаляются путём анализа площади связанных компонентов. Если площадь ниже порогового значения, то такой компонент относится к конвейеру, иначе – к картофелю.



Рисунок 3 – Результат пороговой сегментации картофеля

Источник: разработано авторами



Рисунок 4 – Результат применения алгоритма сегментации, основанного на анализе яркости изображения

Источник: разработано авторами

Для окончательного принятия решения о качестве картофеля сравнивается несколько его проекций. В результате, пока картофель проходит в рабочей зоне видеокамеры машинного зрения, он успевает попасть на несколько её кадров. Чтобы не перепутать клубни картофеля между собой, потребовалось сопоставлять информацию, полученную по различным последовательным кадрам. Для этого в систему встроены алгоритм центроидного трекинга движущихся клубней картофеля.

На вход алгоритма трекинга поступает набор координат прямоугольников, ограничивающих клубни картофеля. Алгоритм трекинга учитывает информацию, сгенерированную им для предыдущего кадра видеопоследовательности (если он не первый), и выдаёт каждому ограничивающему прямоугольнику текущего кадра уникальный номер (назначает ИД). Тем самым алгоритм сопоставляет картофель на двух кадрах, т.е. позволяет идентифицировать один и тот же картофель на разных кадрах как один, а не как несколько разных. Это позволяет «не выпускать из виду» клубни картофеля в процессе их движения по всей рабочей области видеокамеры машинного зрения. На рис. 5 приведена блок-схема работы алгоритма трекинга движущихся клубней картофеля.

Здесь $BList$ обозначает список координат ограничивающих прямоугольников (x_1, y_1, x_2, y_2) , являющихся условной границей выделенных клубней и поступающих на вход алгоритма; $ObjList$ – список объектов (ИД id и координат ограничивающих прямоугольников (x_1, y_1, x_2, y_2)), сгенерированный алгоритмом трекинга для предыдущего кадра; $\min(ObjList)$ ($\max(objList)$) обозначает, что из списка координат ограничивающих прямоугольников выбирается наименьшая координата левого нижнего угла прямоугольника (наибольшая координата правого нижнего угла). Регистрация

объекта обозначает присвоение ему нового ИД и включение его в список объектов, deregистрация – удаление объекта из списка объектов, соотнесение объектов означает присвоение объектам текущего кадра ИД, который выбираются из списка ИД объектов предыдущего кадра. Результат работы алгоритма трекинга объектов приведён на рис. 6.

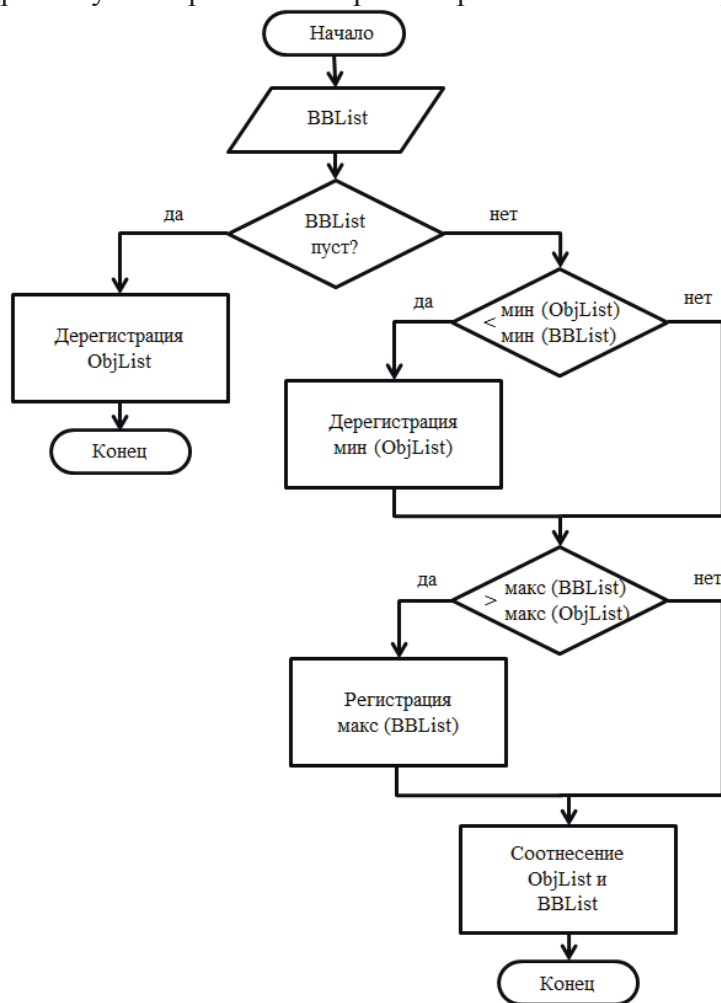
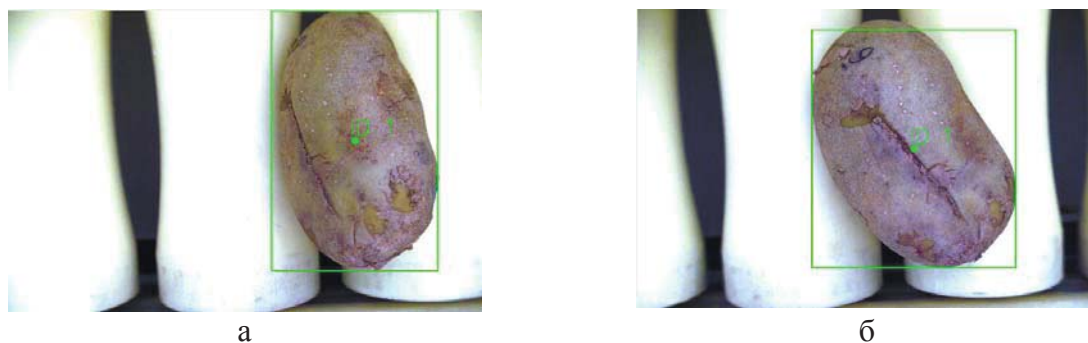


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма трекинга движущихся клубней картофеля
 Источник: разработано авторами



а) и б) – изображения одного и того же картофеля на соседних кадрах видеопоследовательности

Рисунок 6 – Результат работы алгоритма трекинга объектов
 Источник: разработано авторами

Алгоритм трекинга клубней картофеля обладает высокой скоростью работы, которая намного меньше скорости работы алгоритма сегментации.

Процесс классификации выделенного на конвейере картофеля реализован с помощью нейросетевого классификатора.

Принцип действия разработанного макетного образца автоматической сортировальной машины заключается в следующем.

Картофель, поступая на вальцовый подающий конвейер, перемещается в зону распознавания, где ему придается вращение посредством ременного привода. Клубни картофеля обрабатываются компьютерной программой. Идентифицированные клубни как некондиционные, перемещаясь вальцовым транспортирующим устройством к системе отделения, удаляются с вальцового конвейера струей сжатого воздуха. Неотделённые клубни продолжают движение по технологической линии. Время между моментом идентификации некондиционного клубня разрабатываемой системы распознавания и подачей последующего единичного сигнала для удаления задаётся, исходя из геометрических и скоростных характеристик вальцового подающего устройства.

Внешний вид макетного образца автоматической сортировальной машины представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Макетный образец автоматической сортировальной машины

Источник: разработано авторами

Проведены экспериментальные исследования, которые позволили определить оптимальные параметры основных модулей макетного образца: рабочее давление в пневмосистеме 500 кПа, время открытия воздушного клапана 0,6 с, расстояние от сопла форсунки до середины вальца 80 мм, при этом точность сортирования составила 98 %.

Выводы. Разработан макетный образец автоматической сортировальной машины, в основу работы которой положена концепция интеллектуального анализа данных, согласно которой полученные с видеокamеры изображения клубней картофеля обрабатываются и

формируются в образы с последующим распознаванием и выдачей сигнала исполнительному устройству системы автоматической инспекции в виде единичного импульсного сигнала при определении клубня как некондиционного.

Список литературы

1. High speed potato grading and quality inspection based on a color vision system / J.C. Noordam, G.W. Otten, A.J.M. Timmermans, B.H. van Zwol. *Control Systems*. 2017. P. 15–24.
2. Совершенствование технологического процесса сортировки клубней картофеля по цветовой информации / Н.В. Бышов и др. *Научный журнал КубГАУ*. № 89 (05). 2013. С. 1–12.
3. Golmohammadi, A., Bejaei F., Behfar H. Design, Development and Evaluation of an Online Potato Sorting System Using Machine Vision. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. University of Tabriz, Tabriz, Iran. Vol 6 (7). P. 396–402.
4. Martelli, R. Image Analysis Implementation for Evaluation of External Potato Damage. *Applied Mathematical Sciences*. Vol. 9. 2015. №. 81. P. 4029–4041.
5. Tavakoli, M., Mohsen N. Application of the Image Processing Technique for Separating Sprouted Potatoes in the Sorting Line. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*. 2015. Vol. 4(11S). P. 223–227.
6. Barnes, M., Cielniak G., Tom D. Minimalist AdaBoost for blemish identification in potatoes. *UK Journal of Food Engineering*. 2006. Vol. 78. P. 597–605.
7. Donggang, Hu. Potato shape detection based on stable direct least square method of ellipses fitting and its application prospect in Land Science. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*. 2012. Vol. 6. P. 161–171.
8. Ahmed, M. Rady, Daniel E. Guyer. Rapid and/or nondestructive quality evaluation methods for potatoes. *Computers and electronics in agriculture*. 2015. P. 31–48.
9. Fang, Tian, Yankun P., Wensong W. Nondestructive and rapid detection of potato black heart based on machine vision technology. *Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety*. VIII. V(2). China, 2016. P. 83–94.
10. Elbatawi, I.E. An acoustic impact method to detect hollow heart of potato tubers. *Biosystems engineering*. – Giza University. Египт, 2008. P. 206–213.
11. Картофель свежий для переработки на продукты питания. Технические условия : ГОСТ 26832-86-2010. Введ. 06.01.1987. М. : Стандартинформ, 2010. 5 с.
12. Прокопович, Г.А. Разработка системы технического зрения для сервисного мобильного робота. *Третий всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта»*, Иннополис, Республика Татарстан, 22–23 сентября 2015 г. / Ун-т Иннополис, редкол.: В.Е. Павловский [и др.]. Иннополис, 2016. С. 127–136.
13. Training deep face recognition systems with synthetic data / A. Kortylewski [et al.]. *Cornell University Library* [Электронный ресурс]. 2018. URL: <https://arxiv.org/pdf/1802.05891.pdf>. (дата обращения: 16.04.2018).
14. Чигорин, А., Моисеев Б. Классификация автодорожных знаков на основе свёрточной нейросети, обученной на синтетических данных. *The 22nd International Conference on Computer Graphics and Vision*. Москва, Россия, 1–5 октября 2012 г. С. 284–287.

References

1. Noordam, J.C., Otten G.W., Timmermans, A.J.M., van Zwol, B.H. (2017). High speed potato grading and quality inspection based on a color vision system. *Control Systems*. 2017. P. 15–24. [in English].
2. Byshov N.V. et al. (2013). Sovershenstvovaniye tekhnologicheskogo protsessa sortirovki klubney kartofelya po tsvetovoy informatsii [Improvement of the technological process of sorting potato tubers by color information]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU – Scientific journal of KubSAU, № 89 (05)*, 1–12. [in Russian].
3. Golmohammadi, A., Bejaei F., Behfar H. (2013). Design, Development and Evaluation of an Online Potato Sorting System Using Machine Vision. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. University of Tabriz, Tabriz, Iran. Vol 6 (7). P. 396–402. [in English].
4. Martelli, R.(2015). Image Analysis Implementation for Evaluation of External Potato Damage. *Applied Mathematical Sciences*. Vol. 9. №. 81. P. 4029–4041. [in English].

5. Tavakoli, M., Mohsen N. (2015). Application of the Image Processing Technique for Separating Sprouted Potatoes in the Sorting Line. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*. Vol. 4(11S). P. 223–227. [in English].
6. Barnes, M., Cielniak G., Tom D.(2006). Minimalist AdaBoost for blemish identification in potatoes. *UK Journal of Food Engineering*. Vol. 78. P.597–605. [in English].
7. Donggang, Hu. (2012). Potato shape detection based on stable direct least square method of ellipses fitting and it's application prospect in Land Science. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*. 2012. Vol. 6. P. 161–171. [in English].
8. Ahmed, M. Rady, Daniel E. Guyer. (2015). Rapid and/or nondestructive quality evaluation methods for potatoes. *Computers and electronics in agriculture*. P. 31–48. [in English].
9. Fang, Tian, Yankun P., Wensong W. (2016). Nondestructive and rapid detection of potato black heart based on machine vision technology. *Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety*. VIII. V(2). China, P. 83–94. [in English].
10. Elbatawi, I.E. (2008). An acoustic impact method to detect hollow heart of potato tubers. *Biosystems engineering*. Giza University. Egypt, P. 206–213. [in English].
11. Kartoffel' svezhiy dlya pererabotki na produkty pitaniya. Tekhnicheskiye usloviya [Fresh potatoes for processing into food. Specifications]. (2010). HOST 26832-86-2010 from 06 January 1987. Moscow : Standartinform [in Russian].
12. Prokopovich, G.A. (2016). Razrabotka sistemy tekhnicheskogo zreniya dlya servisnogo mobil'nogo robota [Development of a vision system for a service mobile robot]. *Tretiy vserossiyskiy nauchno-prakticheskiy seminar «Bespilotnyye transportnyye sredstva s elementami iskusstvennogo intellekta»*, Inno-polis, Respublika Tatarstan, 22–23 sentyabrya 2015 g. / Un-t Innopolis, redkol.: V.Ye. Pavlovskiy [et al.]. Innopolis, 2016. S. 127–136. [in Russian].
13. Kortylewski, A. [et al.] (2018). Training deep face recognition systems with synthetic data. *Cornell University Library*. 2018. URL: <https://arxiv.org/pdf/1802.05891.pdf>. [in English].
14. Chigorin, A. & Moiseyev, B. (2012). Klassifikatsiya avtodorozhnykh znakov na osnove svortochnoy neyroseti, obuchennoy na sinteticheskikh dannyykh [Classification of road signs based on a convolutional neural network trained on synthetic data]. *The 22nd International Conference on Computer Graphics and Vision*. Moskva, Rossiya, 1–5 oktyabrya 2012 g. S. 284–287. [in Russian].

Volodimir Vetokhin, Assoc. Prof., DSc.

Poltava State Agrarian Academy, Poltava, Ukraine,

Viktor Goldyban, PhD tech. sci., **M. Kurylovich**

RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization», Minsk, Republic of Belarus

Method and Device for Automatic Recognition of Unconditional Potato Tubes

The aim of the article is to improve the quality and productivity of sorting by developing a method and an intelligent device for automatic recognition and inspection of substandard potato tubers.

The article describes a prototype of an automatic sorting machine designed to recognize external defects in potato tubers and automatically inspect them with a jet of compressed air. The recognition process consisted of three main modules: segmentation, tracking a potato moving in a frame along a conveyor belt, and classification using a trained artificial neural network. For the segmentation of potato tubers against the background of the transporting conveyor in real time, a method based on the calculation of the color threshold was used. The centroid tracking algorithm was used to track moving potato tubers. To train the artificial neural network, we created our own dataset consisting of images of marketable and defective potato tubers.

A prototype of an automatic sorting machine has been developed, which is based on the concept of intelligent data analysis, according to which the images of potato tubers obtained from a video camera are processed and formed into images with subsequent recognition and signaling to the executive device of the automatic inspection system in the form of a single pulse signal when determining the tuber as substandard.

club potato, defect, automatic sorting, machine vision

Одержано (Received) 29.10.2020

Прорецензовано (Reviewed) 05.11.2020

Прийнято до друку (Approved) 21.12.2020