

3. Посыпанов Г.С. Биологический азот. Проблемы экологии и растительного белка. – М.: Изд-во МСХА, 1991. – 272 с.

4. Серегина, И. И. Цинк, селен и регуляторы роста в агроценозе / Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Перспектив", 2018. – 208 с.

5. Ягодин Б.А., Кузин Е.Н. и др. Агрехимия: Учебник / под ред. Е.Н. Кузина. – М.: КолосС, 2022. – 585 с.

УДК 631.3-52:004.932

Р.А. Филиппов, канд. с.-х. наук,

А.И. Кутырёв, канд. техн. наук

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва
E-mail: rostislav-filippov@yandex.ru*

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ УБОРКИ УРОЖАЯ В САДОВОДСТВЕ

Ключевые слова: роботизированная уборка урожая, компьютерное зрение, YOLOv11, YOLOv12, стереокамера ZED, Intel RealSense D455, распознавание плодов

Key words: robotic harvesting, computer vision, YOLOv11, YOLOv12, ZED stereo camera, Intel RealSense, fruit recognition

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы применения алгоритмов компьютерного зрения для роботизированной уборки плодов садовых культур. Выполнен анализ современных работ по визуальному распознаванию плодов при роботизированной уборке. Проведено сравнение стереокамер для получения карт глубины ZED X (Stereolabs) и Intel RealSense D455 при работе с нейросетевыми архитектурами детекции YOLOv11 и YOLOv12. Установлено, что применение YOLOv12 в связке с камерой ZED обеспечивает наилучшие показатели средней точности (метрика mAP) и минимальные ошибки пространственной локализации плодов. Сделан вывод о целесообразности использования комплекса ZED X + YOLOv12 в системах машинного зрения высокоточных роботизированных плодосборочных комплексов.

Summary: The article discusses the application of computer vision algorithms for robotic harvesting of fruit crops. An analysis of current research on visual fruit recognition for robotic harvesting is performed. A comparison is made of stereo cameras for depth map acquisition—the ZED X (Stereolabs) and Intel RealSense D455—when used with the YOLOv11 and YOLOv12 neural network detection architectures. It is established that the combination of

YOLOv12 with the ZED X camera provides the best mean average precision (mAP) metrics and minimal fruit spatial localization errors. It is concluded that the ZED X + YOLOv12 system is advisable for use in machine vision systems of high-precision robotic fruit harvesting complexes.

В настоящее время всё большее внимание уделяется вопросам обеспечения продовольственной безопасности, которые напрямую связаны с внедрением современных технологий автоматизации в растениеводстве. Как отмечается в обзорных работах, в период с 2005 по 2024 год количество публикаций по тематике роботизированной уборки фруктов возросло с 732 до 2130, что свидетельствует о стремительном росте интереса к данной области, где визуальное восприятие становится основным направлением исследований [1-4]. Особенно высокими темпами развивается направление роботизации в отрасли садоводства, где решающее значение имеет точная и быстрая идентификация плодов. Для эффективного функционирования таких систем требуется использование интеллектуальных алгоритмов компьютерного зрения, способных в реальном времени распознавать плоды, определять их координаты и обеспечивать взаимодействие робота-сборщика с растительными объектами [5,6].

В основе большинства современных решений лежат стереосенсоры и RGB-D-камеры, позволяющие формировать трёхмерное представление окружающего пространства. Такие камеры предоставляют возможность не только обнаружить объект, но и оценить расстояние до него, что является важным для манипуляционных систем и автономных платформ, осуществляющих сбор фруктов. На практике чаще всего применяются стереокамеры ZED X и Intel RealSense D455. Они широко распространены в научных и промышленных разработках благодаря сочетанию стоимости, функциональности и компактности [7].

Камера ZED X (Stereolabs) представляет собой профессиональное решение, ориентированное на получение высокоточного изображения глубины. Она отличается большим базовым расстоянием между объективами, что обеспечивает высокую точность определения расстояний и устойчивость к колебаниям освещения. Благодаря широкому углу обзора и алгоритмам обработки стереопары такая система работает даже в условиях плотной листвы и неоднородного естественного освещения, что характерно для садовых насаждений. В свою очередь, камера Intel RealSense D455 использует дополнительную инфракрасную подсветку, что позволяет формировать карту глубины на малых расстояниях и в условиях недостаточного освещения. Однако при работе на открытых солнечных участках инфракрасное излучение может поглощаться окружающей средой, что приводит к снижению точности и общей стабильности системы.

Анализ современных исследований, посвящённых уборке ягодных культур, показывает, что задача распознавания плодов земляники садовой

сопряжена с дополнительными трудностями [8]. Плоды земляники часто скрыты под листьями, имеют небольшие размеры и подвержены значительным вариациям формы и цвета в процессе созревания. Роботизированные системы сбора земляники садовой, разрабатываемые в США и Европе, используют трёхмерные камеры и свёрточные нейронные сети для выделения ягод на изображении и оценки степени их зрелости [9,10]. По результатам полевых испытаний 2025 года, современные комбайны для сбора земляники садовой способны правильно распознавать ягоды в 80% случаев, а в 93% случаев определять, скрыты ли они под листвой [11].

Для анализа эффективности распознавания плодов в рамках настоящего исследования применялись современные нейросетевые модели семейства YOLO, включая варианты YOLOv11 и YOLOv12 [12-14]. Согласно комплексным оценкам, выполненным в коммерческих садах на основе данных с камер Intel RealSense D455, YOLOv11n достиг наивысшей скорости инференса (2,4 мс), опережая YOLOv8n (4,1 мс), YOLOv10n (5,5 мс) и YOLOv12n (4,6 мс), что подчёркивает их применимость для задач реального времени. По точности и полноте детекции плодов в сложных условиях съёмки YOLOv12l показывает наивысший показатель полноты (0,912) и mAP@50 на уровне 0,931, уступая лишь некоторым конфигурациям YOLOv9. Обе архитектуры показывают высокие результаты при работе с объектами малого размера и частично перекрытыми плодами, что характерно для яблоневых садов. Однако YOLOv12, благодаря встроенному механизму внимания и оптимизированной архитектуре, демонстрирует более высокое качество распознавания, особенно в случаях, когда яблоки частично закрыты листьями или расположены в глубине кроны. Сравнительный анализ результатов показал, что обе камеры являются эффективными инструментами для задач роботизированного сбора яблок, однако ZED X демонстрирует более высокую устойчивость к внешним условиям и лучшую точность как в плане детекции объектов, так и при определении пространственных координат. Это позволяет рекомендовать её к использованию совместно с моделью YOLOv12 как оптимальное сочетание для систем машинного зрения, ориентированных на автоматизированный сбор фруктов. В перспективе подобные решения могут стать базовым элементом высокоточных роботизированных комплексов в садоводстве и ягодоводстве, обеспечивая повышение продуктивности, снижение зависимости от человеческого труда и улучшение качества сельскохозяйственной продукции.

В проведённом исследовании по распознаванию яблок были рассмотрены две нейросетевые архитектуры детекции YOLOv11 и YOLOv12 и две аппаратные платформы для получения глубины: стереокамера ZED X и камера Intel RealSense D455 (рис.1).

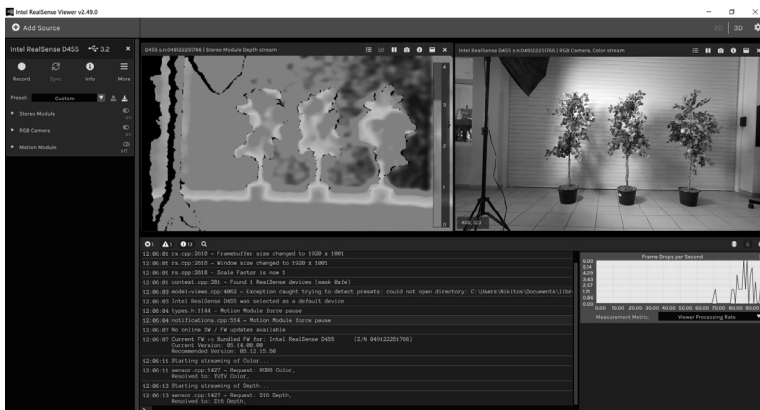


Рисунок 1. Пример работы камеры Intel RealSense D455

По итогам экспериментов качество детекции при использовании YOLOv11 в связке с ZED X достигло 91,2 процента (средняя абсолютная процентная ошибка). Это означает, что при заданных критериях совпадения модель показывала совокупно высокую точность и полноту распознавания плодов. При замене аппаратной платформы на RealSense D455 mAP для YOLOv11 составил 88,5 процента. Разница между ZED X и RealSense D455 для этой архитектуры составляет 2,7%. Для более новой архитектуры YOLOv12 показатели оказались выше. В связке с ZED X mAP достиг 93,7%, что улучшает точность и полноту по сравнению с предыдущей архитектурой. В сочетании YOLOv12 с RealSense D455 итог составил 90,4% (рис. 2).



Рисунок 2. Результаты распознавания плодов яблони с помощью камеры ZED X

Таким образом, по сравнению с YOLOv11 прирост на ZED X равен 2,5% (с 91,2% до 93,7%), а на RealSense D455 1,9% (с 88,5% до 90,4%).

Помимо качества распознавания по метрике mAP, была проведена оценка пространственной точности определения координат плодов. Для стереокамеры ZED X средняя ошибка по оси X составила 4,8 миллиметра, по оси Y - 5,1 мм, а по оси Z - 6,0 мм. Эти значения указывают на высокую согласованность реконструкции глубины и на то, что камера способна позиционировать манипулятор в непосредственной близости от объекта. Для камеры RealSense D455 аналогичные показатели оказались выше, 6,2 мм по оси X, 6,5 мм по оси Y и 8,1 мм по оси Z.

В результате проведённых исследований установлено, что стереокамера ZED X обеспечивает более высокие значения mAP как для архитектуры YOLOv11, так и для YOLOv12, при этом переход к YOLOv12 даёт дополнительный прирост качества на обеих аппаратных платформах. С точки зрения геометрии сцены ZED X показывает меньшую среднюю ошибку определения координат. Совместное использование высокоточных стереокамер и нейросетевых архитектур, подобных YOLOv12, способно повысить эффективность уборочных роботов и обеспечить внедрение систем машинного зрения в практику промышленного садоводства.

Список использованной литературы

1. Wang C, Pan W, Zou T, Li C, Han Q, Wang H, Yang J, Zou X. A Review of Perception Technologies for Berry Fruit-Picking Robots: Advantages, Disadvantages, Challenges, and Prospects. *Agriculture*. 2024. 14(8). 1346.
2. Chen Z, Lei X, Yuan Q, Qi Y, Ma Z, Qian S, Lyu X. Key Technologies for Autonomous Fruit- and Vegetable-Picking Robots: A Review. *Agronomy*. 2024. 14(10). 2233.
3. Измайлов А.Ю., Хорт Д.О., Смирнов И.Г., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Анализ параметров работы устройства для гидравлического удаления сорной растительности // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29. № 4. С. 614–634.
4. Личман Г. И., Смирнов И. Г., Хорт Д. О., Филиппов Р. А. Применение систем технического зрения в машинных технологиях в садоводстве // Техника и оборудование для села. 2017. № 6. С. 10–17.
5. Хорт Д.О., Кутырев А.И., Смирнов И.Г., Филиппов Р.А., Вершинин Р.В. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. № 1 (38). С. 133–141.
6. Wang W, Li C, Xi Y, Gu J, Zhang X, Zhou M, Peng Y. Research Progress and Development Trend of Visual Detection Methods for Selective Fruit Harvesting Robots. *Agronomy*. 2025. 15(8). 1926.
7. Abeyrathna RMRD, Nakaguchi VM, Minn A, Ahamed T. Recognition and Counting of Apples in a Dynamic State Using a 3D Camera and Deep Learning Algorithms for Robotic Harvesting Systems. *Sensors*. 2023. 23(8). 3810.
8. Хорт Д.О., Кутырев А.И., Смирнов И.Г., Филиппов Р.А., Вершинин Р.В. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при робо-

тизированном сборе // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. № 1 (38). С. 133–141.

9. Chang C-L, Huang C-C. Design and Implementation of an AI-Based Robotic Arm for Strawberry Harvesting. *Agriculture*. 2024. 14(11). 2057.

10. Кутырёв А.И., Филиппов Р.А. Применение сверточной нейронной сети для мониторинга состояния земляники садовой // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24. № 4. С. 685–696.

11. Yue Y, Xu S, Wu H. A Strawberry Ripeness Detection Method Based on Improved YOLOv8. *Applied Sciences*. 2025. 15(11). 6324.

12. Khort D.O., Kutyrev A., Smirnov I., Andriyanov N., Filippov R., Chilikin A., Astashov M.E., Molkova E.A., Sarimov R.M., Matveeva T.A., Gudkov S. Enhancing sustainable automated fruit sorting: hyperspectral analysis and machine learning algorithms // *Sustainability*. 2024. Т. 16. № 22. С. 10084.

13. Кутырёв А.И. Распознавание и классификация болезней листьев яблони на основе анализа их изображений моделями сверточных нейронных сетей (CNN) // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3 (63). С. 215–223

14. Кутырёв А.И., Филиппов Р.А. Распознавание генеративных частей земляники садовой с использованием сверточной нейронной сети (CNN) // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2 (34). С. 72–86.

УДК 631.3

Р.М. Рустамов, *д-р техн. наук, профессор*,

С.Р. Аскаров, *базовый докторант*

Наманганский государственный технический университет»,

г. Наманган, Республика Узбекистан

rrustamov1962@gmail.com

АНАЛИЗЫ, КАСАЮЩИЕСЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРКА МАШИН И ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ РЕМОНТНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ ОВОЩЕВОДЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ ОБЛАСТЕЙ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

Ключевые слова: Ферганская долина, овощеводческий кластер, парк машин, ремонт и техническое обслуживание, мобильный сервис, подразделение технического обслуживания.

Keywords: Fergana Valley, vegetable cluster, machinery fleet, repair and maintenance, mobile service, maintenance unit.

Аннотация. В данной статье рассмотрены задачи и вопросы обоснования состава парка машин и подразделений ремонтно-технического обслуживания для овощеводческих кластеров Ферганской долины.