

Высоцкий Роман Николаевич

студент

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы
народов имени Патриса Лумумбы»

г. Москва

Прудкий Александр Сергеевич

студент

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

г. Москва

Кукарцева Светлана Владиславовна

студентка

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

г. Москва

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФРУКТОВ
И ОВОЩЕЙ НА БАЗЕ МАЛЫХ СЕЛЬХОЗПРЕДПРИЯТИЙ**

Аннотация: в статье рассматривается вопрос решения задачи instance-сегментации фруктов и овощей для малого АПК. Предложен лёгкий гибрид: UNet для семантики + водораздел для разделения экземпляров без тяжёлого регрессора Mask R-CNN. Собран датасет (651 изображение), обучена модель, проведено сравнение с Mask R-CNN – новый метод лучше при малых данных и слабом GPU. Подход точно выделяет и измеряет объекты, снижает требования к ресурсам и упрощает разметку, что делает его удобным для прикладных систем контроля качества.

Ключевые слова: сегментация экземпляров, семантическая сегментация, водораздел, контроль качества, компьютерное зрение, агротехника.

I. Введение.

Instance-сегментация позволяет выделять отдельные объекты и получать точную пространственную информацию; пример показан на рисунке 1. Классические методы вроде Mask R-CNN требуют много разметки и мощных GPU, поэтому плохо подходят для задач с малыми датасетами. Высокая вычислительная стоимость осложняет локальное развёртывание, а отсутствие стабильного интернета в АПК делает облачные решения непрактичными.

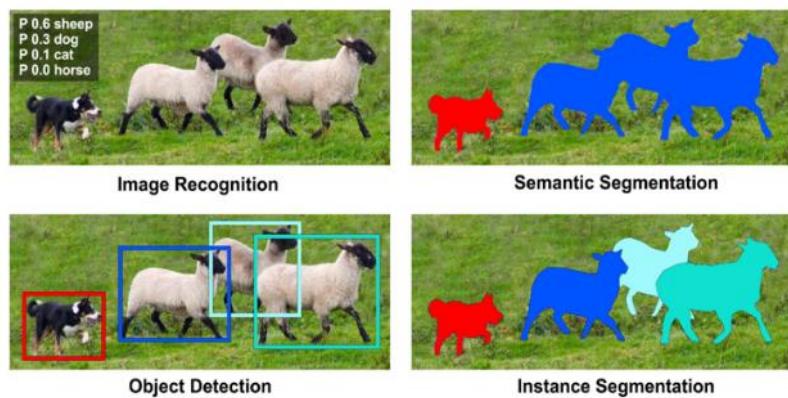


Рис. 1. Визуализация работы алгоритма сегментации экземпляров

Результат особенно важен для автоматизации российских производств. В работе делается акцент на контроле качества фруктов и овощей, где решения пока редки из-за дефицита ИК-камер и дорогих ускорителей [6; 11]. Предложенный подход снижает требования к GPU и позволяет обходиться без ИК-камер, уменьшая затраты и упрощая логистику: качество продукции можно проверять до отправки, ускоряются сортировка и складские операции [8].

II. Новый подход к сегментации экземпляров.

Стандартная instance-сегментация включает классификатор, регрессор и сегментатор [4; 9], что требует больших вычислительных ресурсов и трудоёмкой разметки, где каждый объект нужно вручную обводить [1; 5]. Тяжелым остаётся регрессор, которому нужно больше данных и времени обучения [10].

В работе предлагается исключить регрессор и множество прогонов классификатора, заменив их единой операцией семантической сегментации. Полученная маска затем разделяется на отдельные объекты алгоритмом водораздела, при

этом его традиционная неточность компенсируется качественной семантической маской. Гибрид UNet + Watershed использует одну компактную сеть и один проход по изображению, требует меньше разметки, снижает нагрузку на GPU и подходит для практического применения в АПК.

III. Обучение предложенной модели для определения размеров фруктов.

Для обучения использован собственный датасет из 651 изображений шести классов фруктов. Его создание потребовалось из-за отсутствия подходящих открытых наборов данных, что подчёркивает значимость методов, уменьшающих трудозатраты на разметку. Модель UNet с 5 уровнями обучалась на изображениях 640×640 , при этом датасет был увеличен в 20 раз с помощью аугментаций (случайный поворот и отражение). Для обучения будем использовать комбинированную функцию потерь: $L = L_{CE} - \ln D$, где L_{CE} – это перекрестная энтропия между истинными и найденными метками классов для каждого пикселя, а D – коэффициент Дайса, отражающий то, на сколько вычисленная маска похожа на истинную маску в целом. В качестве оптимизатора применим алгоритм Adam с коэффициентом обучения 0.001.

Получена динамика обучения и итоговые результаты (рисунки 2–3). Далее модель интегрирована в алгоритм водораздела, подобраны рабочие гиперпараметры, после чего показан результат работы всего гибридного метода на сложной сцене с плотно лежащими фруктами. Как видно на рисунке 3, предложенный алгоритм успешно выполняет instance-сегментацию даже при малом количестве обучающих данных. Он позволяет точно измерять размеры и положение каждого фрукта, что делает возможным построение системы контроля качества с несколькими датчиками, направленными на конвейер под одним углом. Например, можно добавлять тепловизор и получать температуру каждого обнаруженного объекта, выявляя нарушения хранения.

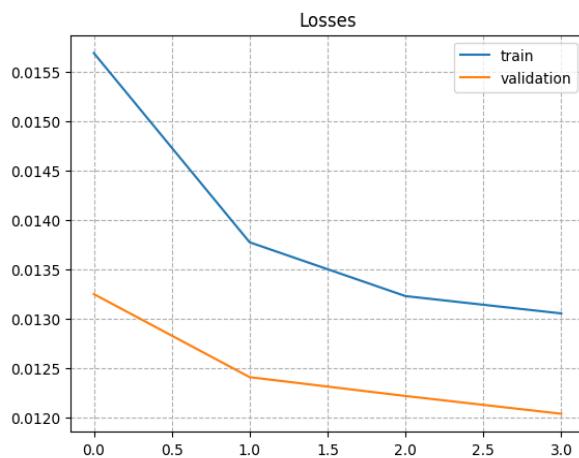


Рис. 2. Динамика обучения модели семантической сегментации

Алгоритм масштабируем: при необходимости можно добавить классификатор сортов, базу допустимых параметров, а также ИК-камеру для поиска внутренних дефектов. Но необходимость последнего следует взвешивать, поскольку ИК-оборудование сильно повышает стоимость внедрения.

VI. Сравнение реализованного метода и альтернативных решений.

Для сравнения рассмотрим результаты работы модели Mask R-CNN обученной на том же наборе данных (рисунок 3). Стандартный подход не достигает приемлемой точности на небольшом датасете. Если вручную задать реальные ограничивающие области, качество резко растёт – значит, проблема в недостаточно обученном регрессоре. В гибридном методе регрессор не используется, поэтому эта проблема отсутствует. Кроме того, Mask R-CNN потребовал примерно в три раза больше видеопамяти, чем предложенный гибридный алгоритм.

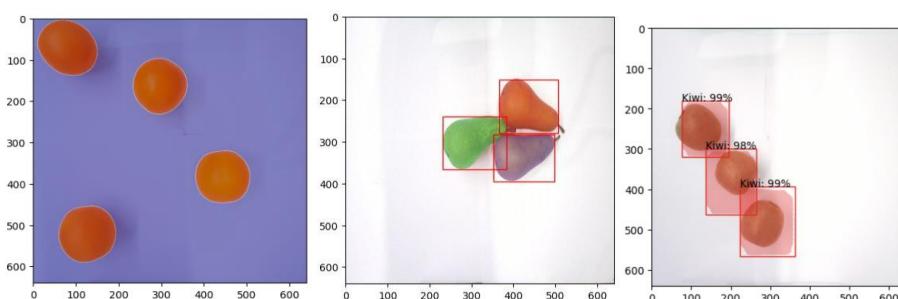


Рис. 3. Визуализация работы обученной модели;
визуализация разделенных масок с использованием алгоритма водораздела;
визуализация результатов работы Mask R-CNN

VII. Заключение.

В работе предложен и экспериментально подтверждён гибридный метод сегментации экземпляров на основе UNet и алгоритма водораздела. Отказ от регрессора и использование двух классов существенно уменьшают объём разметки. На датасете из 651 изображения метод UNet + Watershed обеспечил корректное разделение объектов, тогда как Mask R-CNN не справилась из-за недобученного регрессора. Один проход через UNet снижает нагрузку на GPU и ускоряет расчёты, что делает подход удобным при ограниченных ресурсах. Метод особенно эффективен при малых выборках – в агротехнике и промышленной инспекции – и может быть масштабирован и интегрирован в реальные АПК-системы контроля качества.

Список литературы

1. Вахрушева И.А. Развитие познавательного интереса в процессе формирования математической направленности студентов технического вуза / И.А. Вахрушева // ББК 60 П27. – 2018. – С. 121. EDN YRYMLC
2. Вахрушева И.А. Сборник индивидуальных заданий по математике: практикум. Ч. 2 / И.А. Вахрушева, Е.И. Захаркина, И.А. Максименко. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2016. – 111 с. EDN YKYGRN
3. Вахрушева И.А. Формирование математической направленности студентов технического вуза: теоретический аспект / И.А. Вахрушева, Е.В. Сергеева. – 2022. EDN RADSMZ
4. Григоренко Л.А. Актуализация мотивационного потенциала студентов как педагогическое условие формирования их познавательных потребностей в контексте цифровой образовательной среды технического вуза / Л.А. Григоренко, И.А. Вахрушева // Современные проблемы науки и образования. – 2022. – №5. – С. 75. DOI 10.17513/spno.32165. EDN PUMSQJ

5. Лешер О В. Педагогические условия развития математической направленности студентов технического вуза / О.В. Лешер, И.А. Вахрушева // Мир образования – образование в мире. – 2016. – №1. – С. 145–149. EDN XVPFOB
6. Лешер О.В. Характеристика математической направленности студентов технического вуза: структура и функции / О.В. Лешер, И.А. Вахрушева // Новое в психолого-педагогических исследованиях. – 2014. – №1. – С. 90–101. EDN SGTKOH
7. Лешер О.В. Диагностика сформированности математической направленности студентов университета / О.В. Лешер, И.А. Вахрушева // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2020. – С. 368. EDN NVULFJ
8. Прудкий А.С. Анализ методов точного земледелия / А.С. Прудкий, Н.С. Шайтура // Славянский форум. – 2023. – №1(39). – С. 322–335. EDN NUCDRH
9. Прудкий А.С. Применение систем пространственного позиционирования для навигации автотранспортного предприятия / А.С. Прудкий // Методы и программные средства дистанционного зондирования Земли: сборник материалов. – 2022. – С. 85–96. EDN JXFBNQ
10. Шайтура С.В. Использование дистанционного зондирования при мониторинге полей в точном земледелии / С.В. Шайтура // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2023. – Т. 8. DOI 10.33920/sel-04-2308-06. EDN NNGTIB
11. Lesher O.V. Characteristic of personnel readiness for conflict management in the organization / O.V. Lesher // Religación: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades. – 2019. – Vol. 4. No. 17. – P. 145–150. EDN XDIJJF