DOI: 10.58168/Forestry2025_837-842
УДК 630 6

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОРОД В СОРТИМЕНТАХ ДРЕВЕСИНЫ

В.М. Сидоренков[1], Ю.С. Ачиколова[2], А.А. Мартынюк[3], С.К. Тадорошко[4], Е.М. Сидоренкова[5], Д.О. Астапов[6], О.В. Рябцев[7], А.В. Сережкин[8]

[1] канд. с.-х. наук, и.о. директора,
[2] зав. лабораторией динамики леса,
[3] доктор с.-х. наук, научный руководитель,
[4] вед. инженер лаборатории геоинформационных технологий,
[5]зав. лабораторией геоинформационных технологий,
[6] зав. лабораторией лесоустройства и лесной таксации,
[7]зав. отделом инноваций, внедрения и лесного проектирования
[8]главный аналитик
Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, г. Пушкино, Московская обл.,Россия

Аннотация. В работе проведен анализ различных систем определения объема и породного состава древесины в штабелях и на прицепах лесовозов. Выделены перспективные программные средства, позволяющие проводить измерения объема древесины в штабелях и на прицепах лесовозов на основе анализа фотоизображений, в том числе с использованием технологий компьютерного зрения. В статье приводятся примеры использования современной технологии компьютерного зрения на основе модели YOLO для определения породного состава древесины. Результаты показали высокую точность распознавания пород деревьев с применением компьютерного зрения. Обученная нейросеть может использоваться в различных программных продуктах, где определение объема древесины осуществляется на основе анализа фото- или видеоизображений.

Ключевые слова: сортименты древесины, распознавание пород, штабеля, прицепы лесовозов, YOLO, разметка данных, обучение нейросети.

FEATURES OF APPLYING COMPUTER VISION TECHNOLOGIES FOR WOOD SPECIES RECOGNITION IN TIMBER ASSORTMENTS

V.M. Sidorenkov [1], Yu.S. Achikolova [2], A.A. Martynyuk [3], S.K. Tadoroshko [4], E.M. Sidorenkova [5], D.O. Astapov [6], O.V. Ryabtsev [7], A.V. Serezhkin [8]

[1] Ph.D. in Agricultural Sciences, Acting Director,
[2] Head of the Forest Dynamics Laboratory,
[3] Dr. Sci. in Agricultural Sciences, Scientific Supervisor,
[4] Lead Engineer, Laboratory of Geoinformation Technologies,
[5] Head of the Laboratory of Geoinformation Technologies,
[6] Head of the Laboratory of Forest Management and Forest Inventory,
[7] Head of the Department of Innovation, Implementation and Forest Planning,
[8] Chief Analyst
All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry (VNIILM) Pushkino, Moscow Region, Russia

© Сидоренков В. М., Ачиколова Ю. С., Мартынюк А. А., Тадорошко С. К., Сидоренкова Е. М., Астапов Д. О., Рябцев О. В., Сережкин А. В., 2025

Abstract. The study analyzes various systems for determining the volume and species composition of timber in stacks and logging trucks trailers. Promising software tools are identified for measuring the timber volume based on photo image analysis, including the computer vision technologies. The article provides examples of applying modern computer vision technology based on the YOLO model to define the timber species composition. The results demonstrated high accuracy in recognizing tree species be means of computer vision. The trained neural network can be used in various software products that determine timber volume based on photo or video image analysis.

Keywords: timber assortment, species recognition, stacks, logging trailers, YOLO, data labeling, neural network training.

Введение

Оценка объемов древесины имеет решающее значение при учёте штабелей круглого леса и при перевозке древесины. Проведение работ по измерению объёмов круглого леса необходимо на протяжении всей логистической цепочки и одинаково актуально как для поставщиков, так и для переработчиков древесины. Результаты измерения объемов лесоматериалов в одном и том же штабеле различаются при измерении диаметров бревен различными способами: с помощью харвестерных измерительных систем, путем измерения диаметров бревен через короткие промежутки времени посредством электронных 3D-систем, систем, использующих алгоритмы компьютерного зрения, или измерения вручную. Развитие технологий по измерению древесины в штабелях показывает, что лесная промышленность заинтересована в разработке методов и систем измерения, чтобы иметь более дешевый и эффективный способ определения объема древесины, который в одинаковой степени может быть использован как при фотометрическом способе получения данных, так и с другими современными технологиями.

Для решения задач автоматизации определения объемов лесоматериалов разработаны различные методы и модели, в том числе базирующиеся на 3D-имитации и анализе фотоизображений. Одна из таких моделей описывается в работе, выполненной группой исследователей из Королевской лесной академии Эберсвальде [9; 10]. Модель генерирует виртуальные штабеля древесины на основе одного индивидуального набора данных о бревнах, который может быть получен автоматически или задан пользователем. Технология с учетом доработки получила практическое реализацию в работе Berendt F. с соавторами [4]. На основе группы оптических камер формировалась 3-D модель штабеля. Отличием технологии от ранее рассмотренной являлась возможность получения изображений с камер на портативных устройствах. Компанией Dralle A/S [5] для определения объема древесины в штабеле использовались стереокамеры, которые были установлены на крыше автомобиля. Стереокамеры позволяли в оперативном режиме также получать измерения с погрешностью не более 3%.

Развитие систем измерения лесоматериалов на основе технологий искусственного интеллекта привело к появлению программ, сочетающих методы измерения сортиментов древесины по фотоизображениям и классификации сортиментов по качеству древесины. Одним из примеров таких подходов является программный комплекс «NeuroWood» [2], в котором реализованы технологии на основе машинного зрения и искусственного интеллекта. Программный продукт может использоваться в стационарном варианте и на мобильных устройствах. В программе применены сверточные нейросети глубокого обучения. Алгоритм выполняет сегментацию сортиментов, заключающуюся в распознавании каждого сортимента в штабеле, даже если имеются частичные перекрытия друг друга. Для каждого распознанного бревна система определяет его диаметр в случае стационарной установки длины. После обработки результатов распознавания система может интегрировать их программу 1С. Другим программным продуктом в области учета древесины является Smart Timber [13]. Программный комплекс представлен мобильным

приложением с интегрированным веб-кабинетом. Программа предназначена для автоматизации процесса сбора данных по заготовке и перемещению древесины на предприятии.

Перечисленные программные продукты позволяют полностью автоматизировать процесс измерения древесины при заготовке леса, складировании и перевозке на лесовозах. Многие из этих систем используют алгоритмы обработки данных на основе нейросетей или компьютерного зрения. Значительная часть систем стационарного измерения объема сортиментов на лесовозах оперирует высокоточными датчиками лазерного сканирования в сочетании с оптическими камерами высокого разрешения. В целом существующие технологические разработки позволяют создавать роботизированные системы учета потоков древесины на лесовозах в рамках логистических цепочек контроля. Несмотря на неплохие возможности осуществления задач по измерению объемов древесины, еще недостаточно развиты методы определения породного состава, а также качества древесины сортиментов в штабеле или на лесовозе. Решение этих вопросов непосредственно связано с использованием технологий компьютерного зрения.

Компьютерное зрение, несмотря на уже более чем полувековую историю его развития, является новым направлением в науке. Практическая реализация алгоритмов и технологий компьютерного зрения стала возможна в настоящее время благодаря электронно-вычислительной технике с графическими процессорами обработки информации с применением свёрточных сетей глубокого обучения.

Анализ литературных источников [1, 3, 12] показывает наличие свободно распространяемого программного кода: для целей проекта подходит несколько библиотек, на которых можно осуществить развертывание алгоритмов компьютерного зрения. К одной из самых распространенных и мощных библиотек машинного обучения можно отнести PyTorch [7]. Библиотека представляет гибкую платформу для разработки нейросетей с использованием технологий компьютерного зрения, преимуществом её является автоматизация процессов разработки и выполнения программы. В отличие от других фреймворков PyTorch обеспечивает моментальную автоматизацию процесса вычисления графа операций. При автоматизации также вычисляются веса и по градиенту показывается, как нужно их изменить, чтобы уменьшить ошибку. В библиотеке содержится большое количество готовых моделей, которые можно использовать при разработке собственных проектов. Преимущества данной технологии использованы при создании библиотек компьютерного зрения DeepForest [11], YOLO [8].

Другой распроданной библиотекой является Keras [6]. Её преимущество состоит в простом использовании и доступности. Технология имеет инструменты, интегрированные в различные системы разработки программных продуктов, что дает возможность её широкого применения.

Материалы и методы. Основной целью исследований являлось определение породного состава сортиментов на лесовозах и штабелях. Реализация цели требовала выполнения следующих задач:

- Распознавание объектов (Object Detection) – идентификация и локализация объектов на изображении;

- Классификация изображений – отнесение изображения к определенному классу (архитектура ResNet, EfficientNet);

- Сегментация – разделение изображения на области (модели U-Net, Mask R-CNN).

При проведении исследований рассматривались два варианта использования технологий: на базе библиотек PyTorch и Keras. Более гибкие технологические решения в библиотеке PyTorch дают возможность разработки самостоятельных продуктов, таких как YOLO. В программном продукте содержится несколько вариантов нейросетей, которые можно использовать в зависимости от оборудования, сложности задачи и получения необходимых вариантов расчета.

Распознавание объектов с использованием библиотеки YOLO основано на алгоритмах обработки изображения, позволяющих осуществлять определение сортиментов древесины и проводить их сегментацию, выделение на изображении. Сегментация изображений – фундаментальная задача компьютерного зрения, которая включает в себя разбиение изображения на несколько сегментов или областей, каждая из которых соответствует различным объектам или частям объектов. Основная цель сегментации изображений – упростить представление изображения, сделать его более содержательным и простым для анализа. После определения (распознавания) и сегментации отрезов сортиментов древесины осуществляется их классификация по породному составу, смысл которой состоит в автоматическом присвоении каждому элементу на изображении определенной категории, в данном случае – породы дерева.

Решение задачи классификации проводилось с использованием свёрточной сети на основе технологий YOLO v.8 Ultralytics. YOLO – семейство моделей для обнаружения объектов и сегментации изображений в реальном времени, разработанных компанией Ultralytics.

Ключевым аспектом применения нейросетей является их обучение на большом массиве данных. В качестве обучающей выборки использовано белее 200 фотографий прицепов лесовозов с сортиментами древесины и 30 фотографий штабелей сортиментов древесины. Разметка дынных по породам осуществлялась в программном комплексе Label Studio [14].

В результате разметки фотографий по каждой породе получилось около 1000 наблюдений для целей обучения нейросети.

Программное обеспечение YOLO позволяет использовать 5 моделей, в зависимости от размера данных, оборудования, на котором будет проводиться обучение, и требований к получаемой точности результатов. Проведенный эксперимент по возможностям различных моделей определять породный состав насаждений показал, что наиболее точные результаты по сравнению с другими позволяет получить модель medium (рис 1). Основным её преимуществом является возможность обучения нейросети на оборудовании с графическим процессором на базе видеокарты NVIDIA RTX 3080. Использование сетей типа «large», требует применение профессионального оборудования, что затруднительно в большинстве научно-исследовательских организаций.



Рис. 1. Результаты обработки пачек сортиментов на лесовозах с использованием обученной нейросети (S – сосна, B – береза, L – липа)

Существующие ограничения на применение технологии связаны с особенностями классификации данных при обучении. Сортименты, которые загрязнены землей в процессе их трелевки или транспортировки, могут определяться не верно. Решение проблемы возможно введением дополнительного класса в процессе разметки данных.

В целом результаты проведенной работы показали высокую точность распознавания пород деревьев в пачках сортиментов на лесовозах. Точность распознавания в большинстве случаев превышает 70%. Высокая скорость обработки данных позволяет автоматизировать процесс распознавания пород в пачках и штабелях сортиментов. Обученную нейросеть легко интегрировать в различные программные продукты систем учета древесины.

Вывод. В заключении можно отметить, что применение компьютерного зрения для распознавания сортиментов древесины демонстрирует высокую эффективность и, как следствие – перспективность метода. Современные алгоритмы машинного обучения в сочетании с новыми сенсорными технологиями позволяют создавать полностью автоматизированные системы контроля оборота и качества древесины. Дальнейшее развитие направления связано с повышением точности распознавания и снижением стоимости внедрения технологий, совершенствованием алгоритмов разметки данных.

Развитие технологий измерения параметров древесины в местах складирования и при транспортировке с использованием высокоточных, мобильных (не стационарных) измерительных средств (приборов), легких и компактных, простых в управлении, с длительным запасом автономной работы, позволит обеспечить необходимую оперативность и точность осуществления контроля при учете древесины во время контрольных (надзорных) мероприятий.

Список литературы

1. Войтов Д.Ю., Васильев С.Б., Кормилицын Д.В. Разработка технологии определения породы деревьев с применением компьютерного зрения//Лесной вестник / Forestry bulletin, 2023, Т. 27, N 1, С. 60-66.
2. Проект neurowood. Применение AI/CV в лесной отрасли. – URL: https://neurowood.ru/ (дата обращения: 12.08.2025).
3. Чирышев Ю.В., Атаманова А.С. Распознавание круглых лесоматериалов с помощью случайных решающих деревьев и гистограммы направленных градиентов//Фундаментальные Исследования, 2017, N 1, С. 124-128.
4. Berendt F., de Miguel-Díez F., Wallor E., Blasko L., Cremer T. Comparison of different approaches to estimate bark volume of industrial wood at disc and log scale//Scientific Reports, 2021, Т. 11, N 1, С. 15630.
5. Dralle – Measurements you can trust. – URL: https://dralle.dk/ (дата обращения: 12.08.2025).
6. Gulli A., Pal S. Deep Learning with Keras/Google-Books-ID: 20EwDwAAQBAJ. – Packt Publishing Ltd, 2017. – 310 p.
7. Imambi S., Prakash K.B., Kanagachidambaresan G.R. PyTorch//Programming with TensorFlow: Solution for Edge Computing Applications/ eds. K.B. Prakash, G.R. Kanagachidambaresan. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – P. 87-104.
8. Jiang P., Ergu D., Liu F., Cai Y., Ma B. A Review of Yolo Algorithm Developments: The 8th International Conference on Information Technology and Quantitative Management (ITQM 2020 & 2021): Developing Global Digital Economy after COVID-19//Procedia Computer Science, 2022, Т. 199, С. 1066-1073.
9. de Miguel-Diez F., Purfürst T., Acuna M., Tolosana-Esteban E., Cremer T. Estimation of conversion factors for wood stacks in landings and their influencing parameters: a comprehensive literature review for America and Europe//Silva Fennica, 2023, Vol. 57, Estimation of conversion factors for wood stacks in landings and their influencing parameters, No. 1, P. 1-47.

10. de Miguel-Díez F., Guigue P., Pettenkofer T., Tolosana-Esteban E., Purfürst T., Cremer T. Development and evaluation of a novel 3D simulation software for modelling wood stacks//PloS one, 2022, T. 17, N 3, C.

11. Open Source Data Labeling. - URL: https://labelstud.io/ (дата обращения: 01.09.2025).

12. Sidorenkov V., Achikolova I., Ryabtsev O., Kapitalinin D. Using YOLOv8 for interpreting survey data of high spatial resolution in the visible spectrum range//The 4th International Electronic Conference on Forests. – Basel, Switzerland: MDPI, 2024.

13. Smart Timber. - URL: https://smart-timber.com (дата обращения: 12.08.2025).

14. Zhou Z.-H., Feng J. Deep forest//National Science Review, 2019, T. 6, N 1, C. 74-86.

References

1. Войтов Д.Ю., Васильев С.Б., Кормилицын Д.В. Разработка технологии определения породы деревьев с применением компьютерного зрения//Лесной вестник / Forestry bulletin, 2023, Т. 27, N 1, С. 60-66.

2. Проект neurowood. Применение AI/CV в лесной отрасли. – URL: https://neurowood.ru/ (дата обращения: 12.08.2025).

3. Чирышев Ю.В., Атаманова А.С. Распознавание круглых лесоматериалов с помощью случайных решающих деревьев и гистограммы направленных градиентов//Фундаментальные Исследования, 2017, N 1, С. 124-128.

4. Berendt F., de Miguel-Díez F., Wallor E., Blasko L., Cremer T. Comparison of different approaches to estimate bark volume of industrial wood at disc and log scale//Scientific Reports, 2021, T. 11, N 1, C. 15630.

5. Dralle – Measurements you can trust. – URL: https://dralle.dk/ (дата обращения: 12.08.2025).

6. Gulli A., Pal S. Deep Learning with Keras/Google-Books-ID: 20EwDwAAQBAJ. – Packt Publishing Ltd, 2017. – 310 p.

7. Imambi S., Prakash K.B., Kanagachidambaresan G.R. PyTorch//Programming with TensorFlow: Solution for Edge Computing Applications/ eds. K.B. Prakash, G.R. Kanagachidambaresan. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – P. 87-104.

8. Jiang P., Ergu D., Liu F., Cai Y., Ma B. A Review of Yolo Algorithm Developments: The 8th International Conference on Information Technology and Quantitative Management (ITQM 2020 & 2021): Developing Global Digital Economy after COVID-19//Procedia Computer Science, 2022, T. 199, C. 1066-1073.

9. de Miguel-Diez F., Purfürst T., Acuna M., Tolosana-Esteban E., Cremer T. Estimation of conversion factors for wood stacks in landings and their influencing parameters: a comprehensive literature review for America and Europe//Silva Fennica, 2023, Vol. 57, Estimation of conversion factors for wood stacks in landings and their influencing parameters, No. 1, P. 1-47.

10. de Miguel-Díez F., Guigue P., Pettenkofer T., Tolosana-Esteban E., Purfürst T., Cremer T. Development and evaluation of a novel 3D simulation software for modelling wood stacks//PloS one, 2022, T. 17, N 3, C.

11. Open Source Data Labeling. - URL: https://labelstud.io/ (дата обращения: 01.09.2025).

12. Sidorenkov V., Achikolova I., Ryabtsev O., Kapitalinin D. Using YOLOv8 for interpreting survey data of high spatial resolution in the visible spectrum range//The 4th International Electronic Conference on Forests. – Basel, Switzerland: MDPI, 2024.

13. Smart Timber. - URL: https://smart-timber.com (дата обращения: 12.08.2025).

14. Zhou Z.-H., Feng J. Deep forest//National Science Review, 2019, T. 6, N 1, C. 74-86.