

ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОРЕСУРСЫ

doi: 10.51639/2713-0576_2026_6_3_41

Научная статья

УДК 621.311-52

ГРНТИ 44.29.31

ВАК 2.4.2

Автоматизация учёта электроэнергии на основе микросервисной архитектуры и методов компьютерного зрения

Иван Григорьевич Григорьян, Юлия Борисовна Щемелева *
Филиал Южного федерального университета в г.Геленджике,
Геленджик, Россия
* Da-yula@yandex.ru

Аннотация

В статье рассматривается проблема автоматизации сбора показаний приборов учёта электроэнергии. Предлагается комплексная система, объединяющая мобильное приложение, серверную часть на микросервисной архитектуре и модуль компьютерного зрения на основе YOLOv26s и PaddleOCR. Описывается механизм выявления проблемных случаев для формирования очереди дообучения. Приводятся результаты экспериментальной оценки точности системы.

Ключевые слова: компьютерное зрение, микросервисная архитектура, автоматизация учёта электроэнергии, дообучение нейросетей

В сфере жилищно-коммунального хозяйства остро стоит проблема достоверности и оперативности сбора показаний приборов учёта электроэнергии [1, 2]. Существующая практика ручного ввода данных сопряжена с тремя основными недостатками: высоким риском ошибок при переписывании и вводе цифр, значительными временными затратами персонала управляющих компаний, а также возможностью сознательной фальсификации показаний потребителями.

Массовое распространение мобильных устройств с высококачественными камерами создаёт техническую предпосылку для автоматизации этого процесса [3 - 5]. Потребитель или контролёр может сделать фотографию счётчика, после чего система автоматически извлечёт показания и серийный номер. Однако на пути реализации такого подхода существуют серьёзные препятствия. Реальные фотографии счётчиков часто содержат блики от защитного стекла, размытие из-за дрожания камеры, неравномерное освещение, частичное перекрытие цифр рамкой, а также большое разнообразие типов приборов с различным расположением дисплея и серийного номера [6, 7].

Таким образом, актуальной научно-практической задачей является создание системы, способной надёжно распознавать показания счётчиков в разнообразных условиях съёмки, а также непрерывно улучшать свои характеристики по мере накопления реальных данных.

Целью данной работы является разработка и экспериментальное подтверждение работоспособности комплексной системы автоматического считывания показаний

счётчиков электроэнергии, построенной на принципах микросервисной архитектуры и использующей современные методы компьютерного зрения.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов детекции объектов и оптического распознавания символов, обосновать выбор конкретных моделей (YOLO, PaddleOCR) для применения в задаче распознавания счётчиков.

2. Спроектировать архитектуру системы, обеспечивающую разделение ответственности между мобильным клиентом, серверной частью и модулем машинного обучения.

3. Реализовать конвейер обработки изображений, включающий детекцию областей интереса, предобработку фрагментов и распознавание числовых данных.

4. Разработать механизм автоматического выявления случаев низкого качества распознавания и формирования очереди для дообучения моделей.

5. Провести ручную разметку обучающей выборки и экспериментальную оценку точности разработанной системы.

Разработанная система построена по клиент-серверной схеме. Мобильное приложение на платформе Flutter обеспечивает три основные функции: выбор или съёмку фотографии счётчика, отображение результатов распознавания в удобной форме, а также работу с очередью дообучения. Все вычислительно ёмкие задачи вынесены на сервер, что обусловлено ограниченными ресурсами мобильных устройств и необходимостью централизованного управления версиями моделей.

Серверная часть реализована на асинхронном веб-фреймворке FastAPI. Выбор этого инструмента обусловлен высокой производительностью, встроенной поддержкой асинхронных операций и автоматической генерацией OpenAPI-документации. В качестве базы данных используется SQLite — встраиваемая реляционная СУБД, не требующая отдельного серверного процесса и достаточная для нагрузки учебного проекта. Загружаемые изображения сохраняются на файловой системе, а в базе данных хранятся извлечённые показания, серийный номер, тип счётчика и временная метка.

Центральный компонент системы — модуль компьютерного зрения, реализующий последовательную детекцию и распознавание. На первом этапе изображение обрабатывается нейросетевой моделью YOLOv26s. Выбор данной версии обусловлен балансом между точностью и вычислительными затратами. Модель обучена локализовывать на изображении четыре класса объектов: корпус счётчика, дисплей с показаниями, область серийного номера и пломбы. Архитектура YOLOv26s включает CSP-блоки для извлечения признаков и механизм PANet для агрегации признаков разного масштаба, что позволяет эффективно обнаруживать как крупные, так и мелкие объекты.

После локализации областей интереса из изображения вырезаются фрагменты, содержащие дисплей и серийный номер. Каждый фрагмент подвергается предобработке: масштабирование до фиксированной высоты 48 пикселей с сохранением пропорций, адаптивная нормализация яркости и бинаризация по методу Оцу.

Обработанный фрагмент передаётся в систему оптического распознавания символов PaddleOCR, которая реализует многофазный подход: определяет текстовые области, корректирует ориентацию и производит распознавание. Дополнительно проверяется соответствие распознанного серийного номера формату, заданному регулярным выражением для известных типов счётчиков.

Если хотя бы одна из этих метрик не достигает порогового значения (уверенность OCR ниже 0,7, дисперсия Лапласиана ниже 100 и т.д.), запись вместе с исходным

изображением и указанием причины автоматически помещается в очередь дообучения. Оператор через мобильное приложение (рисунок 1) может подтвердить корректность распознавания (тогда запись используется как положительный пример) или отправить изображение на ручную разметку с исправлением ошибочных значений.

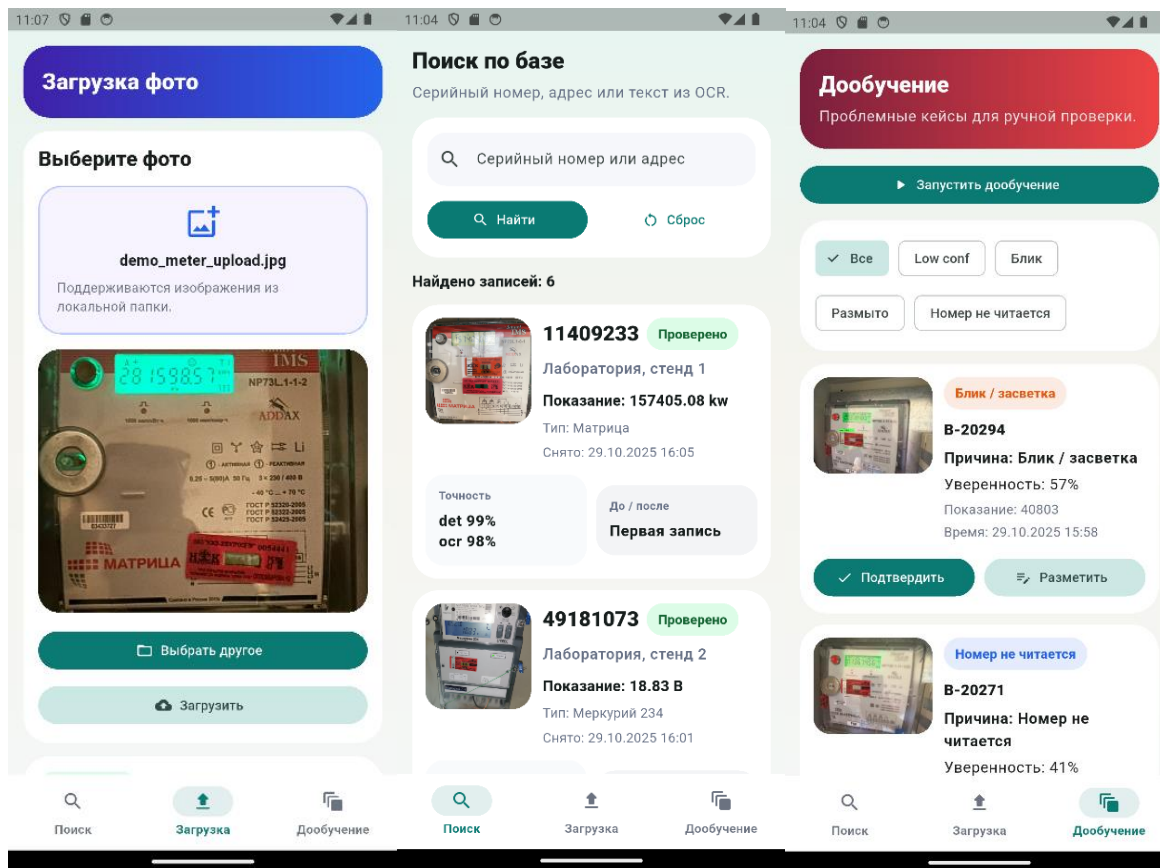


Рисунок 1 – Интерфейс приложения

Для обучения моделей была вручную размечена выборка из 50 изображений счётчиков двух типов — «Матрица» и «Квант». Разметка выполнялась в формате YOLO с указанием ограничивающих прямоугольников для всех четырёх классов.

Тестирование проводилось на отдельной выборке из 30 изображений, не участвовавших в процессе обучения. Оценка качества детекции производилась с помощью метрики mAP (mean Average Precision) при пороговом значении IoU = 0,5. Полученное значение mAP составило 0,98, что свидетельствует о высокой точности локализации всех классов объектов.

Оценка качества распознавания показаний проводилась подсчётом доли изображений, для которых распознанная строка полностью совпала с эталонным значением. Точность составила 94,3 %. Для серийного номера аналогичный показатель достиг 91,7 %. Все случаи, где распознавание оказалось ошибочным или неуверенным, были автоматически зафиксированы в очереди дообучения, что подтвердило работоспособность предложенного механизма.

В результате выполнения работы были получены следующие основные результаты:

1. Спроектирована и реализована комплексная система автоматического считывания показаний счётчиков электроэнергии, объединяющая мобильное приложение на Flutter, серверную часть на FastAPI с базой данных SQLite и модуль компьютерного зрения.

2. Предложен и апробирован конвейер обработки изображений, использующий YOLOv26s для детекции областей интереса и PaddleOCR для распознавания числовых данных. Достигнута высокая точность детекции ($mAP = 0,98$) и распознавания показаний (94,3 %).

3. Разработан механизм автоматического выявления проблемных случаев на основе набора критериев (уверенность моделей, наличие бликов, резкость, корректность формата серийного номера), позволяющий формировать очередь для дообучения без ручного перебора всей истории обработки.

4. Экспериментально подтверждена работоспособность системы на реальных изображениях счётчиков различных производителей.

Дальнейшее развитие системы предполагает расширение поддерживаемых типов счётчиков, интеграцию с облачными решениями для масштабирования и реализацию полностью автоматического цикла дообучения.

Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что на момент подачи статьи в редакцию, у них нет возможного конфликта интересов с третьими лицами.

Список источников

1. Унижаев Н.В. Особенности внедрения нейросетей и систем искусственного интеллекта на предприятиях электроэнергетики // Вопросы инновационной экономики. 2023. Т.13. №1. С.215-232.
2. Заднепровский, Р. А. О разработке интеллектуальных систем управления энергопотреблением / Р. А. Заднепровский, Ю. Б. Щемелева, С. К. Давыдов // Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России : сборник трудов XVI Всероссийской Черноморской школы-семинара молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников, Геленджик, 21–23 мая 2025 года. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2025. – С. 228-231. – EDN ATLSFW.
3. Щемелева, Ю. Б. Проблема компьютерного зрения в прикладных задачах энергетики / Ю. Б. Щемелева // Инженерно-техническое образование и наука: Сборник трудов V международной научно-практической конференции, Новороссийск, 15–18 апреля 2025 года. – Новороссийск: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 118-119. – EDN CQWDYT.
4. Григорьян, И. Г. Решение прикладных задач электроэнергетики на основе применения нейросетей / И. Г. Григорьян, И. А. Тришкин, Ю. Б. Щемелева // Исследования и творческие проекты для развития и освоения проблемных и прибрежно-шельфовых зон юга России : сборник трудов XVI Всероссийской Черноморской школы-семинара молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников, Геленджик, 21–23 мая 2025 года. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2025. – С. 196-200. – EDN MSPQIB.

5. Григорьян, И. Г. Автоматизация съёма показаний приборов учёта электроэнергии с использованием нейронных сетей / И. Г. Григорьян, Ю. Б. Щемелева, А. Н. Щемелев // Перспективы автоматизации. Рациональное управление. Связь и акустика: Сборник трудов XIV Всероссийской научной конференции, Геленджик, 29 октября – 01 ноября 2025 года. – Геленджик: Южный федеральный университет, 2025. – С. 212-217. – EDN YWTGPF.
6. Применение интеллектуальных алгоритмов SQL-анализа в системах учёта электроэнергии / Ю. Б. Щемелева, А. Н. Щемелев, И. В. Ладыко, С. К. Давыдов // Промышленная энергетика. – 2025. – № 10. – С. 26-34. – DOI 10.71759/vfem-hr70. – EDN ОСНАНС.
7. Щемелева, Ю. Б. Качество данных как фактор успешности внедрения технологий искусственного интеллекта в электроэнергетике / Ю. Б. Щемелева // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2025. – № 1(369). – С. 228-233. – DOI 10.33979/2073-7408-2025-369-1-228-233. – EDN QYFRTQ.

Automation of Electricity Metering Based on Microservice Architecture and Computer Vision Methods

Ivan Grigorievich Grigoryan, Yulia Borisovna Shchemeleva *

Branch of Southern Federal University in Gelendzhik,

Gelendzhik, Russia

* Da-yula@yandex.ru

Abstract

The article addresses the problem of automating the collection of readings from electricity metering devices. A comprehensive system is proposed that combines a mobile application, a server-side component based on a microservice architecture, and a computer vision module leveraging YOLOv26s and PaddleOCR. A mechanism for identifying problematic cases to form a queue for retraining is described. The results of an experimental evaluation of the system's accuracy are presented.

Keywords: computer vision, microservice architecture, electricity metering automation, neural network retraining.