

Е. В. Ващенко^{1✉}, Р. В. Гришин¹

Разработка системы визуального контроля и классификации дефектов на основе технологий машинного обучения

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: Vaschenko-EV2022@sgugit.ru

Аннотация. В статье представлены результаты разработки мобильной системы визуального контроля и классификации производственных дефектов на основе технологий машинного обучения. Рассмотрены особенности автоматизации процессов контроля качества продукции на производстве, а также актуальность применения интеллектуальных методов анализа изображений для повышения точности обнаружения дефектов. Выполнен анализ существующих решений в области компьютерного зрения и мобильных систем мониторинга качества продукции. Разработано мобильное приложение Defect Control, обеспечивающее фиксацию производственных партий, визуальный анализ дефектов по изображениям, автоматическую классификацию выявленных отклонений и формирование статистических отчетов. В качестве технологической основы использованы современные средства веб- и мобильной разработки, а также инструменты интеграции моделей машинного обучения. Проведено тестирование разработанной системы на наборе производственных изображений с различными типами дефектов. Полученные результаты демонстрируют возможность повышения скорости первичного контроля качества и снижения нагрузки на операторов производственного контроля.

Ключевые слова: машинное обучение, компьютерное зрение, контроль качества, мобильное приложение, классификация дефектов, визуальный контроль

E. V. Vashchenko^{1✉}, R. V. Grishin¹

Development of a mobile system for visual inspection and defect classification based on machine learning technologies

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: Vaschenko-EV2022@sgugit.ru

Abstract. The article presents the results of developing a mobile system for visual inspection and classification of production defects based on machine learning technologies. The paper considers the automation of product quality control processes and the relevance of intelligent image analysis methods for improving defect detection accuracy. The Defect Control mobile application was developed to provide production batch tracking, visual defect analysis, automatic classification of detected defects and generation of statistical reports. Testing was carried out on a dataset of production images containing various defect types. The obtained results demonstrate the possibility of increasing the speed of quality inspection and reducing the workload on production quality control operators.

Keywords: machine learning, computer vision, quality control, mobile application, defect classification, visual inspection

Введение

Контроль качества в производстве редко сводится к одному осмотру. Специалист проверяет изделие, сравнивает результат с нормой и фиксирует решение. Затем эти сведения должны остаться в системе. Иначе спорную партию трудно восстановить по истории.

Визуальный контроль особенно чувствителен к человеческому фактору. Усталость, освещение и качество снимка меняют итоговую оценку. Для поверхностных дефектов это заметно сильнее. Царапина может быть тонкой, трещина – короткой, а пятно – слабоконтрастным. Методы цифровой обработки изображений и компьютерного зрения помогают формализовать такие признаки [1, 2].

Технологии машинного обучения дали этой задаче новый уровень. Модель учится на изображениях, а не только на заранее заданных правилах. Поэтому она лучше переносит разные формы дефектов. Подходы глубокого обучения активно применяются для распознавания образов и анализа сложных изображений [3–6].

Но одной модели мало. Производственный контроль требует учета партий, ролей и времени проверки. Нужна система, где снимок связан с партией, контролером и результатом. Без этой связи машинная оценка остается отдельным экспериментом, а не частью рабочего процесса. Общие принципы интеллектуальных систем подтверждают важность такой связки данных и алгоритмов [5].

Цель исследования – разработать мобильную систему визуального контроля и классификации дефектов. Система должна поддерживать производственный сценарий. Пользователь создает партию, фиксирует дефект, прикрепляет изображение и получает предварительный результат анализа. Что дает такая схема на практике? Она сокращает разрыв между осмотром изделия и цифровой записью результата.

Методы и материалы

В рамках исследования была разработана система Defect Control, предназначенная для сопровождения процессов производственного контроля. Архитектура системы включает клиентскую часть мобильного приложения, серверный модуль обработки данных и модуль анализа изображений.

При разработке приложения использовались современные технологии веб- и мобильной разработки. Мобильный интерфейс реализован на React и TypeScript [7, 8]. Серверная часть построена на Node.js и Express [9, 10]. Для хранения данных использована PostgreSQL, а для развертывания учитывалась контейнеризация Docker [11–13].

Для анализа изображений использовались инструменты машинного обучения и технологии компьютерного зрения [14].

Разработанная система обеспечивает выполнение следующих функций:

- учет и отслеживание производственных партий;
- автоматическое определение смен;
- загрузку и обработку изображений продукции;
- автоматическую классификацию дефектов;

- формирование статистики и аналитических отчетов;
- визуализацию результатов контроля качества.

Принцип работы системы основан на последовательной обработке изображения. Пользователь загружает фотографию изделия в мобильное приложение, после чего изображение передается в модуль анализа. Далее выполняется выделение признаков дефекта и классификация изображения по заданным категориям.

Для оценки эффективности системы было проведено тестирование на экспериментальном наборе изображений, содержащем поверхностные трещины, сколы, царапины, деформации поверхности и загрязнения.

Результаты

В результате исследования было разработано мобильное приложение Defect Control, обеспечивающее автоматизацию процессов визуального контроля продукции.

Главный экран приложения содержит информацию о текущих производственных партиях, статусе проверки и распределении данных по сменам. Пользователь может оперативно получить сведения о количестве проверенных изделий и выявленных дефектах. Интерфейс основных экранов разработанного мобильного приложения представлен на рис. 1.

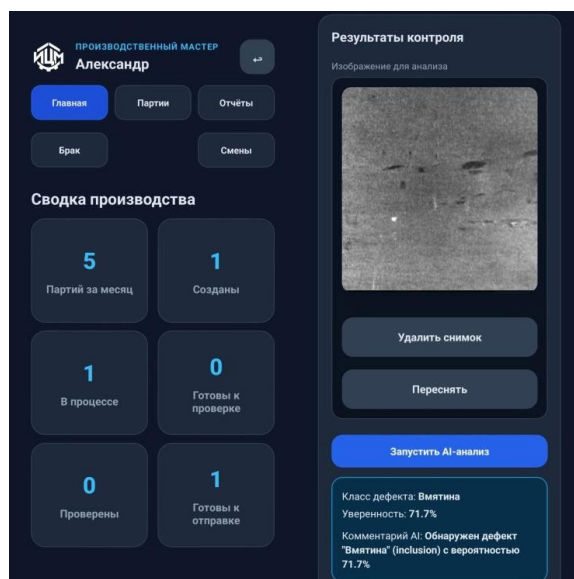


Рис. 1. Интерфейс мобильного приложения Defect Control
а) главный экран; б) анализ изображения

В приложении реализован механизм загрузки изображений продукции с мобильного устройства. После загрузки выполняется автоматический анализ изображения и определение предполагаемого типа дефекта. Результаты анализа отображаются пользователю в виде текстового описания и статистических показателей [15, 16, 17].

Отдельный результат связан с серверным хранением изображений. Файл загружается не в локальную память приложения, а на сервер. В отчет попадает ссылка. Поэтому фотографию видит не только контролер, который ее добавил, но и производственный мастер.

Проверка работоспособности проводилась на наборе из 500 изображений. В набор входили разные типы поверхностных дефектов. Для оценки использовались точность классификации и среднее время обработки. Сводные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты тестирования системы визуального контроля

Показатель	Значение
Количество изображений	500
Средняя точность классификации	92,4 %
Среднее время обработки изображения	1,8 с
Доля корректного определения трещин	94,1 %
Доля корректного определения сколов	91,3 %
Доля корректного определения царапин	90,8 %

Полученные значения показывают, что система подходит для первичного отбора дефектных случаев. Средняя точность 92,4% не означает полной замены контроля. Она показывает, что модель может быть использована как подсказка при работе с изображением.

Среднее время обработки 1,8 с важно для мобильного сценария. Пользователь получает ответ почти сразу. Это снижает паузу между фотографированием изделия и занесением результата в отчет.

Обсуждение

Разработанная система отличается от простого классификатора изображений. Она включает производственный контекст. Для предприятия важен не только класс дефекта. Важны партия, смена, исполнитель, контролер и история изменения статуса.

Мобильный формат дает практическое преимущество. Контроль можно выполнить на участке, рядом с изделием. Оператору не нужно переносить сведения в отдельный файл. Меньше ручных операций – меньше случайных ошибок.

Серверная часть решает другую проблему. Она делает данные общими для пользователей. Если снимок сохранен только на телефоне, отчет теряет ценность. Если снимок хранится на сервере, его можно проверить позже. Это особенно важно для спорных дефектов [18, 19].

Есть и ограничения. Качество классификации зависит от освещения и резкости снимка. Сложные комбинированные дефекты могут распознаваться хуже. Кроме того, модель обучается на конечном наборе примеров. Чем беднее набор, тем осторожнее нужно относиться к результату.

Дальнейшее развитие системы связано с расширением датасета. В него стоит добавлять реальные фотографии с производственного участка. Тогда модель будет видеть больше вариантов поверхности, шума и масштаба. Еще одно направление – аналитика по партиям, сменам и видам брака [20].

Заключение

В ходе работы разработана мобильная система Defect Control. Она предназначена для визуального контроля и классификации производственных дефектов.

Система объединяет мобильное приложение, серверный модуль, базу PostgreSQL и анализ изображений. Пользователь может создать партию, провести контроль, загрузить фотографию и получить машинную оценку.

Проверка на наборе из 500 изображений показала среднюю точность 92,4 %. Среднее время обработки составило 1,8 с. Эти показатели подтверждают пригодность прототипа для первичного анализа дефектов.

Практическая ценность результата состоит в цифровой фиксации контроля. Данные о партии, дефекте и снимке хранятся вместе. Это повышает прослеживаемость и упрощает последующий анализ качества продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – Москва : Техносфера, 2012. – 1104 с.
2. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. – London : Springer, 2022. – 979 p.
3. Бринк Х., Ричардс Дж. Машинное обучение. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 336 с.
4. Кузнецов А. В. Методы компьютерного зрения в промышленности. – Москва : Инфра-М, 2022. – 290 с.
5. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – Cambridge : MIT Press, 2016. – 775 p.
6. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // Nature. – 2015. – Vol. 521. – P. 436–444.
7. React Native Documentation : сайт. – URL: <https://reactnative.dev/docs/getting-started> (дата обращения: 05.04.2026). – Текст : электронный.
8. TypeScript Documentation : сайт. – URL: <https://www.typescriptlang.org/docs/> (дата обращения: 05.04.2026). – Текст : электронный.
9. Node.js Documentation : сайт. – URL: <https://nodejs.org/docs/latest/api/> (дата обращения: 05.04.2026). – Текст : электронный.
10. Express Documentation : сайт. – URL: <https://expressjs.com/> (дата обращения: 05.04.2026). – Текст : электронный.
11. PostgreSQL Documentation : сайт. – URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата обращения: 05.04.2026). – Текст : электронный.
12. Docker Documentation : сайт. – URL: <https://docs.docker.com/> (дата обращения: 05.04.2026). – Текст : электронный.
13. Axios Documentation : сайт. – URL: <https://axios-http.com/docs/intro> (дата обращения: 05.04.2026). – Текст : электронный.
14. Google Cloud Vision API Documentation : сайт. – URL: <https://cloud.google.com/vision/docs> (дата обращения: 05.04.2026). – Текст : электронный.
15. Советов Б. Я., Цехановский В. В. Информационные технологии. – Москва : Юрайт, 2023. – 327 с.

16. Грекул В. И., Денищенко Г. Н., Коровкина Н. Л. Проектирование информационных систем. – Москва : Юрайт, 2022. – 385 с.
17. Кузин А. В., Левонисова С. В. Базы данных. – Москва : Академия, 2021. – 320 с.
18. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений. – Москва : Вильямс, 2019. – 544 с.
19. Соммервилл И. Инженерия программного обеспечения. – Москва : Вильямс, 2020. – 864 с.
20. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – Pearson, 2021. – 1136 p.

© *Е. В. Ващенко, Р. В. Гришин, 2026*