

УДК 004.8: 620.179.1: 621.791

ПОИСК ДЕФЕКТОВ В СВАРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

В. Д. КОРЧАГИН

Научный руководитель Е. Е. КОВШОВ, д-р техн. наук, проф.
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева
Москва, Россия

В современном мире искусственные нейронные сети (ИНС) и информационные технологии являются ключевыми компонентами, способствующими интенсивному развитию различных сфер человеческой деятельности и оптимизации внутренних бизнес-процессов организаций.

ИНС основаны на математических моделях, имитирующих функционирование человеческого мозга, обладающих способностью к обобщению как структурированной, так и неструктурированной информации в больших объемах. В частности, ИНС используются для создания рекомендательных систем, видеонаблюдения и обнаружения на основе методов компьютерного зрения (КЗ), предсказания погодных условий, генерации изображений и множества других задач.

В последние годы КЗ находит все более широкое применение в различных отраслях промышленности, включая обнаружение дефектов в сварных соединениях, что имеет критическое значение для обеспечения безопасности и надежности металлических изделий. Одним из вариантов применения данных технологий стала ее имплементация в задачах обработки изображений как результата неразрушающего радиационного контроля (НРК).

Для интеграции технологий КЗ в производственные НРК-процессы было проведено комплексное исследование, направленное на изучение зависимости скорости на инференсе и точности моделей машинного обучения от доступных вычислительных ресурсов и глубины исследуемых архитектур данных.

Учитывая, что на промышленных предприятиях преимущественно используются персональные компьютеры с ограниченной вычислительной мощностью, в процессе исследований было необходимо проанализировать внутреннюю структуру наиболее успешных решений уровня State-of-the-Art (SOTA) для задач классификации и детекции объектов, а также рассмотреть примеры реализации моделей для выявления дефектов в исследуемой или смежных предметных областях с целью разработки эффективной модели ИНС, сочетающей высокую релевантность и скорость обработки изображений. Также требовалось изучить наиболее эффективные методы оптимизации вычислений, построения распределенных локальных вычислительных систем, а также способы хранения, обработки и передачи неструктурированной текстовой информации и полихроматических растровых изображений.

В ходе выполнения научной работы проведено эмпирическое исследование лучших архитектур ИНС для классификации и детекции дефектов металла, преимущественно в сварных соединениях, на открытых наборах данных, а также

проведена оценка эффективности полученных результатов. Было замечено, что при использовании глубоких сверточных моделей наблюдается явный эффект переобучения. При оценке эффективности было выявлено, что современные модели с малым, но достаточным числом параметров демонстрируют большую стабильность к переобучению.

На основе выполненных вычислительных экспериментов разработан прототип архитектуры DICONDE-YOLO, которая объединяет лучшие архитектурные решения и методы оптимизации вычислительных мощностей, такие как Efficient Convolution Attention, Atrous Spatial Pyramid Pooling и (Max) Depthwise Convolution. В качестве базовой архитектуры использовалась YOLOv8. При этом основная цель разработки заключалась в решении проблемы слабой обобщающей способности модели в отношении слабоконтрастных объектов малой размерности, выявленной в ходе эмпирического исследования. Решение проблемы достигается за счет использования подходов, ранее продемонстрировавших положительные результаты при модификации базовой архитектуры ИНС. Для оценки качества обучения применялись базовые метрики YOLOv8: CIoU и DFL.

Сформирован прототип программно-аппаратной архитектуры распределённой локальной системы с компьютерным зрением, основанный на микросервисном подходе. Для создания эффективного решения предлагается использование следующих технологий: Redis, MongoDB, Elasticsearch, NGINX, RabbitMQ, Prometheus, Grafana, gRPC и protobuf.

Разработано прикладное программное обеспечение (ПО) с графическим интерфейсом для разметки данных в формате DICONDE, предназначенное для формирования выборки для обучения, тестирования и оценки эффективности разработанной архитектуры ИНС. Для создания макета использовались среда разработки Qt Designer, язык программирования Python и библиотека PySide6. Функционал разработанного ПО включает возможность работы с файлами, имеющими расширение **.jpg/*.jpeg* и **.dcm*, графическое выделение прямоугольных областей и произвольных контуров с заданием метки дефекта, а также экспорт результатов в форматах JSON, XML.

В качестве хранилища данных разметки используется локальная версия NoSQL базы данных MongoDB, взаимодействие с которой осуществляется с помощью библиотеки *pymongo*. Тестовые испытания разработанного ПО показали его полное соответствие требованиям для осуществления разметки данных для формирования обучающей выборки.

Проведено исследование нейросетевых моделей для задачи обработки данных радиационного неразрушающего контроля в контексте обнаружения дефектов сварных соединений. На основе выполненных экспериментов разработаны прототип архитектуры DICONDE-YOLO и прикладное ПО. Полученные результаты обладают практической значимостью, в том числе для решения задачи комплексирования алгоритмов поиска дефектов на изображениях по результатам радиационного контроля в промышленном производстве и энергетике.