

УДК 681.518.52

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ГОРЯЧЕКАТНЫХ ДВУТАВРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛИНЕЙНЫХ КАМЕР

Афонин С.П., ст. гр. ЦСИби-222, IV курс,
Гончаров М.А., ст. гр. ЦСИби-222, IV курс,
Научный руководитель: Симикина А.А., к.т.н., доцент кафедры ИиАПС,
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.
Горбачева, г. Кемерово

Контроль качества поверхности горячекатных двутавров является важной частью технологической цепочки, так как поверхностные дефекты влияют на последующие операции, ресурс и потребительские свойства продукции. Ручной визуальный контроль на высоких скоростях линии ограничен человеческим фактом и затрудняет обеспечение воспроизводимости результатов.

Дополнительной проблемой становится рост объема данных при использовании многокамерных систем и необходимости оперативного принятия решения (годен/брак) в составе линии. В связи с этим актуальна разработка автоматизированного комплекса, объединяющего захват изображений, алгоритмы анализа, надежную доставку и хранение результатов, а также средства отчетности для ОТК.

Цель проекта - разработка архитектуры программно-аппаратного комплекса для автоматизированного контроля поверхности горячекатных двутавров с обеспечением надежного прохождения полного жизненного цикла данных: от захвата до подтвержденного сохранения финальных результатов и управляемой очистки промежуточных данных.

Для достижения цели решены следующие задачи:

1. организация синхронного захвата с нескольких линейных камер с привязкой к сигналам энкодера и датчиков;
2. реализация устойчивой доставки файлов/чанков на сервер с учетом сетевых отказов;
3. построение серверного пайплайна приема, контроля полноты и обработки данных компьютерного зрения;
4. формирование итоговой записи по изделию (список дефектов, параметры, решение) и отчетов;
5. обеспечение трассируемости событий и воспроизводимости запуска алгоритмов.

Обобщенная структура комплекса и взаимодействие его модулей приведены на рисунке 1.

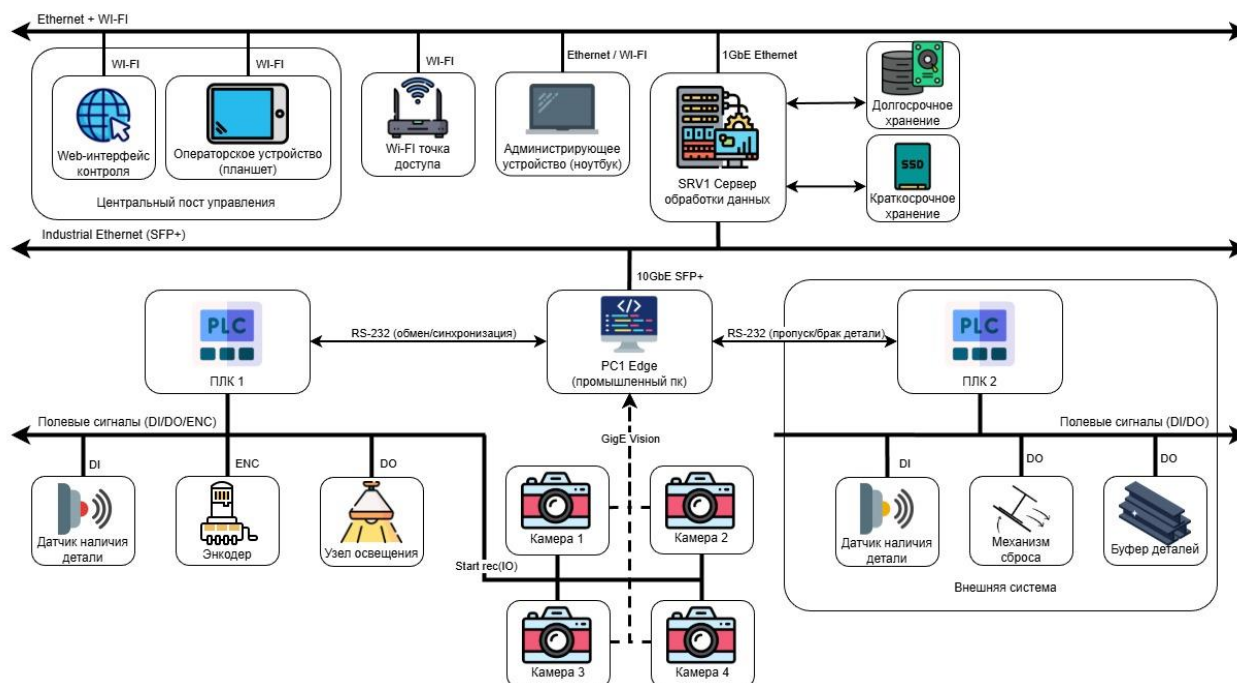


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизации контроля

Структура комплекса включает в себя три основных уровня: edge-уровень у производственной линии, сервер обработки и уровень представления результатов. На edge-уровне промышленный ПК принимает поток данных от четырех камер по интерфейсу GigE Vision, выполняет первичную упаковку и буферизацию, а также обеспечивает передачу данных на сервер по высокоскоростному каналу (industrial Ethernet). Синхронизация захвата и управление освещением выполняются через ПЛК на основе сигналов датчика наличия изделия, энкодера и дискретных линий управления. Серверный уровень обеспечивает прием, хранение в рабочем SSD-контура, запуск обработки и экспорт итогов в долговременное хранилище на HDD. Операторский доступ реализован через веб-интерфейс в локальном сегменте предприятия (без подключения к внешней сети). При необходимости итоговое решение передается в систему управления линией (ПЛК) для дальнейших технологических действий, таких как маршрутизация или отбраковка изделия.

Единицей обработки является скан прокатного изделия. Логически скан соответствует одному изделию, а физически представляется набором файлов-чанков и служебных артефактов, формируемых по мере поступления данных от камер. Доставка на сервер выполняется по артефактам: каждый чанк фиксируется в очереди отправки и подтверждается сервером отдельным АСК-сообщением. На сервере реализован контроль полноты: для каждого скана ведется

манифест ожидаемых и принятых чанков, что позволяет однозначно определить готовность данных к обработке. После завершения обработки формируется итоговый пакет и выполняется экспорт в долговременную базу данных.

Только после получения подтверждения (receipt) выполняется очистка промежуточных данных на SSD и соответствующих записей краткосрочной базы данных.

Последовательность стадий жизненного цикла данных представлена на рисунке 2.

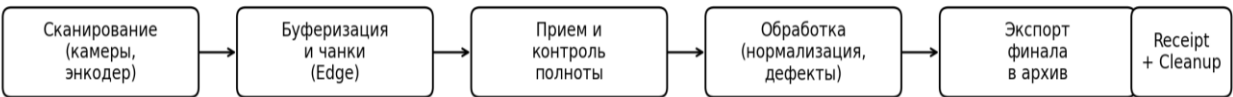


Рисунок 2 – Жизненный цикл данных: от захвата скана до подтвержденного экспорта и очистки промежуточных данных

Для ограничения объема долговременного хранения и повышения надежности прохождения данных применена трехконтурная модель баз данных (БД-1, БД-2, БД-3). Двоичные данные (изображения и промежуточные артефакты) размещаются в файловом хранилище соответствующего уровня, а в базе данных сохраняются метаданные, ссылки на файлы, контрольные суммы и статусы обработки. Более подробная информация представлена в таблице 1.

Уровень	Назначение	Примеры сущностей, данных
БД-1 (Edge)	Фиксация метаданных сканирования; учет артефактов на диске edge-узла; очередь отправки и подтверждение доставки.	scan_id; артефакты (chunk); outbox; АСК; журнал событий.
БД-2 (краткосрочное)	Прием данных с edge; контроль полноты; управление пайплайном обработки; хранение выбранных промежуточных артефактов до экспорта.	manifest полноты; запуски обработки; конфигурации алгоритмов; экспорт; очередь очистки.
БД-3 (Долгосрочное)	Долговременное хранение финальных результатов и отчётности; основа	список дефектов (координаты, класс); PDF-отчет; параметры наладки камер; сотрудники; квитанция экспорта.

	ние для выдачи receipt и последующей очистки краткосрочного уровня.	
--	---	--

На edge-уровне (БД-1) фиксируется карточка скана, набор артефактов (чанков) с путями к локальным файлам, а также реализован паттерн Outbox+АСК: для каждого артефакта ведется запись очереди отправки отдельное подтверждение приема. Это позволяет повторять отправку при временной недоступности сети и обеспечивает трассируемость.

На сервере (БД-2) дополнительно хранится манифест приема, статусы обработки и сведения о примененной конфигурации алгоритмов.

Для долговременного хранения (БД-3) сохраняются только финальные результаты: агрегированные параметры изделия и массив дефектов в виде структурированного JSON, отчеты (PDF), параметры наладки камер по модели изделия и минимальные данные сотрудников ОТК. Сырьевые изображения и основная масса промежуточных артефактов в «холодное» хранилище не переносятся.

Операторское рабочее место реализовано как веб-интерфейс в локальной сети предприятия. Интерфейс обеспечивает просмотр результатов по каждому изделию (список дефектов, параметры, статус), доступ к журналам событий и формирование отчетов по шаблонам. Отчет содержит идентификатор изделия, сведения о выбранной модели, параметры контроля и перечень обнаруженных дефектов с координатами на развертке. Для обеспечения ответственности и удобства документооборота предусмотрена привязка отчета к сотруднику (инспектору ОТК).

Разработана архитектура автоматизированного комплекса контроля поверхности прокатных изделий, сочетающая edge-захват с промышленной синхронизацией, серверную обработку данных компьютерного зрения и многоуровневое хранение результатов. Применение трехконтурной модели БД и подтверждаемого экспорта (receipt) обеспечивает управляемый жизненный цикл данных: рабочие файлы хранятся до завершения обработки, после чего выполняется очистка, а в долговременном контуре сохраняются только результаты и отчетность. Предложенные решения повышают надежность, трассируемость и масштабируемость системы при больших потоках данных. Дальнейшее развитие проекта предполагает расширение перечня типов дефектов, улучшение алгоритмов классификации и интеграцию средств мониторинга состояния оборудования.

Список литературы:

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс ; пер. с англ. — Москва : Техносфера, 2005. — 1072 с.
2. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Высшая школа, 2001. — 343 с.
3. Джейн, А. К. Статистические методы распознавания образов / А. К. Джейн, Р. П. В. Дуин, Дж. Мао // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2000. — Т. 22, № 1. — С. 4–37.