

*Пономарев Максим Сергеевич,
студент направления подготовки 15.03.04 «Автоматизация
технологических процессов и производств»
ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
Россия, г. Москва*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

***Аннотация:** в статье рассмотрены принципы применения машинного зрения для автоматизированного контроля качества продукции. Описаны состав программно-аппаратного комплекса, последовательность обработки изображений и способы выявления геометрических, цветовых и поверхностных дефектов. Показаны особенности использования классических алгоритмов и нейросетевых моделей, а также требования к освещению, калибровке, синхронизации с производственной линией и накоплению данных.*

***Ключевые слова:** машинное зрение, автоматизированный контроль, качество продукции, обработка изображений, дефект, промышленная камера, нейронная сеть, программируемый логический контроллер.*

***Annotation:** the article considers the principles of machine vision application for automated product quality control. The hardware and software structure, the image-processing sequence and methods for detecting geometric, color and surface defects are described. The features of conventional algorithms and neural-network models are discussed together with requirements for illumination, calibration, production-line synchronization and data storage.*

***Key words:** machine vision, automated inspection, product quality, image processing, defect, industrial camera, neural network, programmable logic controller.*

Структура и принцип работы системы машинного зрения

Типовой комплекс включает источник освещения, объектив, промышленную камеру, вычислительное устройство, программное обеспечение, средства синхронизации и исполнительный механизм. Камера формирует цифровое изображение контролируемой зоны, после чего вычислительный модуль выполняет обработку и передаёт итоговый сигнал в программируемый логический контроллер. Контроллер фиксирует результат, управляет отбраковочным устройством и связывает данные контроля с номером изделия или производственной партии.

Качество исходного изображения во многом определяется не разрешением камеры, а организацией освещения. Прямой свет хорошо выявляет цвет и общую форму, контровая подсветка формирует чёткий силуэт и удобна для измерения размеров, а рассеянное или коаксиальное освещение уменьшает блики на металлических и полимерных поверхностях. Освещение должно сохранять стабильную яркость, спектральный состав и геометрию. Изменение внешнего света, загрязнение защитного стекла или вибрация камеры способны ухудшить результат даже при корректно настроенном алгоритме.

Обработка кадра обычно включает несколько этапов. Сначала выбирается область интереса, содержащая контролируемый объект. Затем выполняются коррекция яркости, подавление шума и повышение контраста. На следующем этапе изображение разделяется на объект и фон, выделяются границы или характерные участки, после чего рассчитываются признаки: площадь, длина, диаметр, взаимное положение деталей, цветовые координаты, текстура и число локальных дефектов. Полученные значения сравниваются с допусками, а итоговое решение передаётся системе управления. Основные подходы к фильтрации, сегментации и распознаванию изображений систематизированы в отечественных учебных изданиях [4, 5].

Алгоритмы обнаружения дефектов

При стабильной геометрии изделия эффективны классические алгоритмы. Пороговая обработка применяется для отделения объекта от однородного фона, контурный анализ - для оценки формы, а морфологические операции - для удаления одиночного шума и заполнения небольших разрывов. Для контроля сборки используются поиск шаблона и сопоставление характерных точек. Размеры определяются после калибровки камеры, связывающей пиксели с физическими единицами. При высокой точности дополнительно учитываются перспективные и оптические искажения.

Классические методы удобны тем, что их решение можно объяснить конкретным признаком и допуском. Они не требуют большого набора размеченных изображений, но становятся сложными, если внешний вид допустимой продукции значительно изменяется. Например, естественная текстура материала, неоднородная окраска или непредсказуемая форма поверхностного дефекта затрудняют составление набора жёстких правил.

Для таких задач применяются нейросетевые модели, выполняющие классификацию изделия, обнаружение дефектной области или сегментацию изображения. Обучающая выборка должна отражать реальные варианты продукции, освещения и положения объекта. Её разделяют на обучающую, проверочную и тестовую части, причём кадры одной партии не следует распределять между разными частями случайным образом: это может привести к завышенной оценке качества модели. После запуска необходимо контролировать появление новых видов дефектов и при необходимости обновлять набор данных.

Качество алгоритма нельзя оценивать только общей долей правильных решений. Для производства важны два вида ошибки: пропуск дефектного изделия и ложная отбраковка годной продукции. Для критических дефектов порог принятия решения выбирают так, чтобы минимизировать вероятность пропуска, даже если доля ложного брака несколько увеличится. Неоднозначные случаи целесообразно направлять на повторный кадр или

выборочную проверку оператором. Подобное сочетание автоматического и экспертного контроля снижает риск необоснованных решений.

Интеграция в технологический процесс

На движущейся линии кадр должен быть связан с конкретным изделием. Для запуска съёмки применяются фотодатчик, сигнал от энкодера или команда контроллера. Если объект движется быстро, используют короткую выдержку и импульсный источник света, что уменьшает смазывание. Расстояние между точкой съёмки и отбраковочным механизмом учитывается программой: контроллер помещает результат в очередь и активирует исполнительное устройство в момент подхода соответствующего изделия.

Автоматизированная система выполняет не только сортировку. Накопление статистики позволяет выявлять изменение технологического процесса до появления массового брака. Например, постепенное смещение отверстия, изменение оттенка или рост площади царапин могут указывать на износ инструмента, нарушение дозирования или загрязнение оборудования. Сохранение времени проверки, номера партии и изображения обеспечивает прослеживаемость, соответствующую процессному подходу системы менеджмента качества [3].

Таблица 1.

Сравнение ручного контроля и системы машинного зрения

Критерий	Ручной контроль	Машинное зрение
Стабильность решения	Зависит от опыта и утомления оператора	Определяется настройками и сохраняется между сменами
Скорость проверки	Ограничена возможностями человека	Соответствует такту производственной линии
Прослеживаемость	Требуется ручного заполнения записей	Автоматическое сохранение результата и изображения
Гибкость	Высока при новых и сложных дефектах	Требуется перенастройки алгоритма или обновления модели
Начальные затраты	Относительно невысокие	Необходимы камера, освещение, вычислитель и разработка ПО

Из таблицы видно, что машинное зрение обеспечивает повторяемость и высокую скорость, однако не устраняет необходимость технологической экспертизы. Оператор участвует в формировании критериев качества,

проверке спорных случаев и анализе новых дефектов. Поэтому наибольший эффект достигается при распределении функций: система выполняет массовую однотипную проверку, а специалист контролирует исключения и корректирует правила.

Методика внедрения

Разработка начинается с формализации требований. Для каждого дефекта задаются место появления, минимальный обнаруживаемый размер, допустимые отклонения и последствия пропуска. Затем собирается набор реальных образцов, включающий годную продукцию, типичные дефекты и пограничные случаи. На этом этапе важно убедиться, что признак действительно видим на изображении: программный алгоритм не способен надёжно определить характеристику, которая не проявляется при выбранной оптике и освещении.

После подбора оборудования создаётся пилотный стенд. На нём проверяют изменение положения изделия, скорость движения, вибрацию, загрязнение, колебания внешнего света и различия между партиями материала. Настройка выполняется по отдельной выборке, а итоговая проверка — по изображениям, которые ранее не использовались. Система считается готовой не после получения единичного успешного результата, а после устойчивой работы в течение представительных производственных режимах, включая пуск, остановку и смену ассортимента.

Эксплуатация требует регламентного обслуживания. В него входят очистка оптики и светильников, контроль креплений, проверка калибровки, архивирование версий программного обеспечения и периодическая оценка ошибок. При изменении упаковки, поставщика материала или параметров технологического процесса алгоритм необходимо повторно проверить. Такой подход превращает машинное зрение из отдельной камеры в полноценный измерительный канал автоматизированной системы управления.

Машинное зрение является эффективным средством автоматизированного контроля качества продукции. Оно обеспечивает

высокую скорость проверки, повторяемость решений и накопление данных о каждом изделии. Надёжность результата определяется согласованной работой освещения, оптики, камеры, алгоритма обработки и средств автоматизации.

Классические методы целесообразны для формализуемых признаков и стабильных условий, а нейросетевые модели - для изменчивых поверхностей и сложных дефектов. В обоих случаях необходимы корректная калибровка, разделение данных для обучения и проверки, учёт ошибок пропуска и ложной отбраковки, а также испытания в реальных режимах.

Использованные источники:

1. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
2. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
3. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования.
4. Визильтер Ю. В. [и др.]. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. — Москва : ДМК Пресс, 2007. — 463 с.
5. Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П., Перетягин Г. И., Спектор А. А. Цифровая обработка изображений в информационных системах : учебное пособие. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. — 352 с.
6. Пономарев А. Н., Казанцева Л. В. Машинное зрение: актуальность и применение // Научно-технический вестник Поволжья. — 2021. — № 4. — С. 100–102.
7. Ситников В. В., Люминарский В. В., Коробейников А. В. Обзор методов распознавания объектов, используемых в системах машинного зрения // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. — 2018. — Т. 21, № 4. — С. 222–229. — DOI: 10.22213/2413-1172-2018-4-222-229.