

РЕГИСТРАЦИИ ПОКАЗАНИЙ РТУТНОГО ТЕРМОМЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Чжан Юньда¹, Суханов А. В.²

¹ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 158Т12, e-mail: cy017@tpu.ru

²ТПУ ИШИТР ОАР, Доцент ОАР, e-mail: suhanov@tpu.ru

Аннотация

Работа посвящена разработке программного решения для автоматической регистрации показаний ртутного термометра с использованием методов компьютерного зрения. В статье исследуются алгоритмы обработки изображений шкалы термометра и описывается прототип модуля, позволяющего автоматизировать считывание показаний с повышением точности и эффективности.

Ключевые слова: компьютерное зрение, автоматизация измерений, ртутный термометр.

Введение

Несмотря на активное развитие цифровых и электронных термометров, ртутные термометры остаются широко распространёнными в промышленности и лабораторных условиях. Это обусловлено их высокой точностью, стабильностью показаний в широком диапазоне температур и устойчивостью к агрессивным условиям эксплуатации. По оценкам промышленных исследований, в отдельных секторах (химическая, нефтегазовая, металлургическая промышленность) до 30-40 % применяемых измерительных приборов температуры – это ртутные термометры, которые не требуют внешнего питания и обладают высокой долговечностью.

Переход на электронные аналоги или датчики с автоматической передачей данных, несмотря на технологическое преимущество, связан с рядом экономических и технических ограничений. Электронные устройства требуют регулярного обслуживания, калибровки, а также стабильного электропитания, что не всегда возможно в удалённых или опасных условиях эксплуатации. Более того, установка дополнительных сенсорных систем в промышленных масштабах влечёт за собой значительные затраты на модернизацию инфраструктуры, обучения персонала и последующую техподдержку.

Внедрение предлагаемого решения на основе машинного зрения позволяет избежать этих проблем, обеспечивая автоматическое считывание показаний без необходимости в дорогостоящей модернизации. Модуль на основе машинного зрения представляет собой относительно малозатратное дополнение к существующей инфраструктуре, обеспечивая:

- Повышение эффективности без необходимости замены оборудования;
- Минимальные затраты на обслуживание;
- Отсутствие необходимости в калибровке и электропитании на месте измерений.

Таким образом, с точки зрения экономики и технологических процессов, предлагаемый подход позволяет минимизировать затраты при одновременном повышении точности и надёжности регистрации показаний ртутных термометров.

Конфигурация экспериментальной установки

Целью данного проекта является создание программный модуль автоматического считывания показаний ртутного термометра на основе технологий компьютерного зрения. Для реализации этой задачи была собрана экспериментальная установка, включающая в себя промышленную камеру, источник искусственного освещения и специализированное программное обеспечение.

В качестве устройства захвата изображения использовалась промышленная камера фирмы Hikvision, отличающаяся высокой частотой кадров, разрешением и стабильностью.

Камера подключалась к компьютеру через сетевой кабель с пропускной способностью 1000 Мбит/с. Для настройки камеры был использован инструмент для работы с IP-адресами, а также выполнена калибровка и тестирование устройства. Камера и компьютер были настроены для работы в одной локальной сети с вручную установленными IP-адресами в диапазоне 192.168.1.1 – 192.168.1.254. Для повышения пропускной способности сетевого интерфейса на компьютере была активирована функция передачи больших пакетов данных (Jumbo Frame), что обеспечивало передачу больших объёмов изображений без потерь.

Сама экспериментальная сцена была тщательно организована. Расстояние между камерой и термометром составило 40 см, что обеспечивало оптимальные условия съёмки для последующей калибровки. В лабораторных условиях для равномерного освещения и минимизации отражений по бокам и сзади термометра были установлены источники искусственного света. Фон был однотонным и немарким, чтобы исключить посторонние шумы и повысить контрастность изображения. Это позволило чётко зафиксировать изображение шкалы и ртутного столбика на термометре. Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

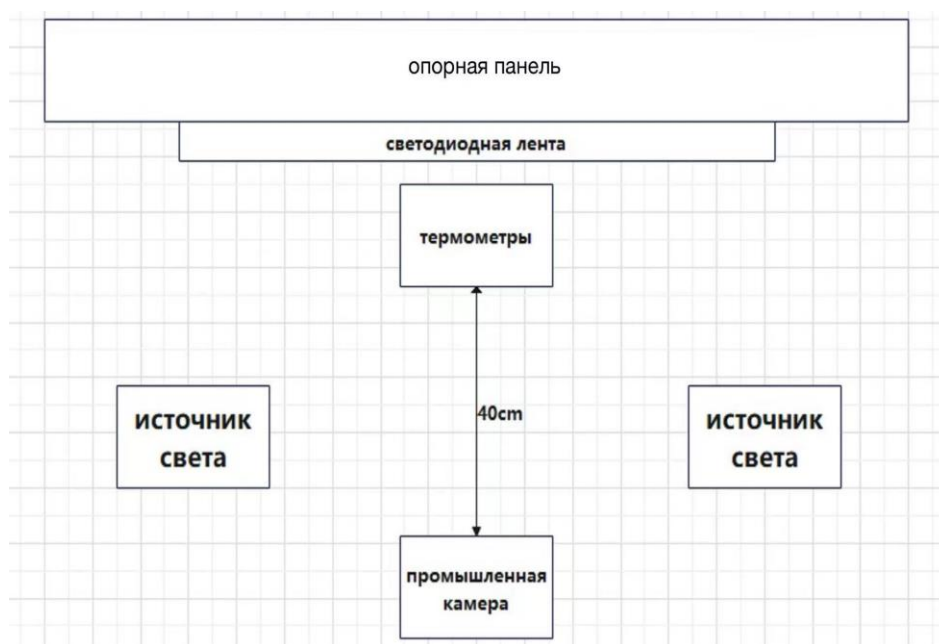


Рис. 1. Конфигурация экспериментальной установки

Специализированное программное обеспечение использовалось для реализации всех этапов алгоритма обработки изображений, от захвата и предварительной обработки до распознавания и вывода результатов. Пользователь создавал проект, импортировал изображение, выбирал шаблон области термометра и настраивал параметры сопоставления. Преобразование цветного изображения в градации серого позволяло уменьшить вычислительную нагрузку. С помощью метода шаблонного сопоставления программный модуль могла автоматически определять положение термометра на изображении, даже если он был смещён или повёрнут. Далее проводилась калибровка изображения, которая позволяла соотнести пиксельные координаты с реальными значениями температуры. Алгоритм обработки изображения представлен на рисунке 2.

Предложенный программный модуль обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными алгоритмами обработки изображений. Во-первых, с помощью шаблонного сопоставления модуль автоматически определяет положение термометра на изображении, даже если он смещён или повёрнут. Во-вторых, обеспечивается возможность распознавания положения ртутного столбика в реальном времени благодаря использованию контурного анализа и пространственной калибровки, что позволяет сохранять точность при изменении

условий освещения или угла съёмки. Кроме того, интегрированная технология OCR автоматически считывает цифровые значения на шкале, исключая необходимость ручного ввода данных. Модуль также включает проверку диапазона температуры с визуальной индикацией, что повышает удобство и безопасность эксплуатации. Дополнительно поддерживается настройка области интереса (ROI) и шаблонов, что делает решение более универсальным.

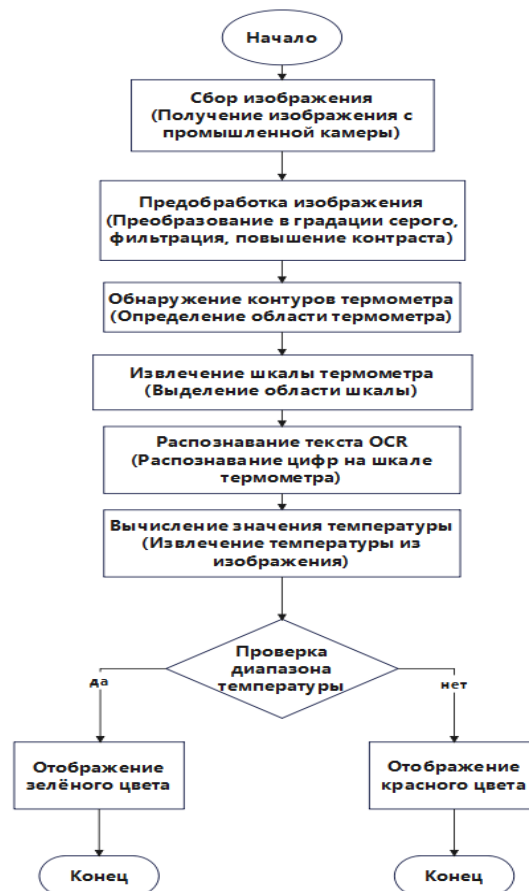


Рис. 2. Алгоритм обработки изображения

После калибровки применялась функция поиска краёв, которая определяла положение ртутного столбика вдоль заданной линии интереса. Полученные координаты сравнивались с откалиброванными значениями для определения точного значения температуры. Это значение затем визуализировалось на экране в виде текста, например, "Температура: 26°C". Процесс калибровки и поиска краёв на изображении термометра, как показано на рисунке 3.

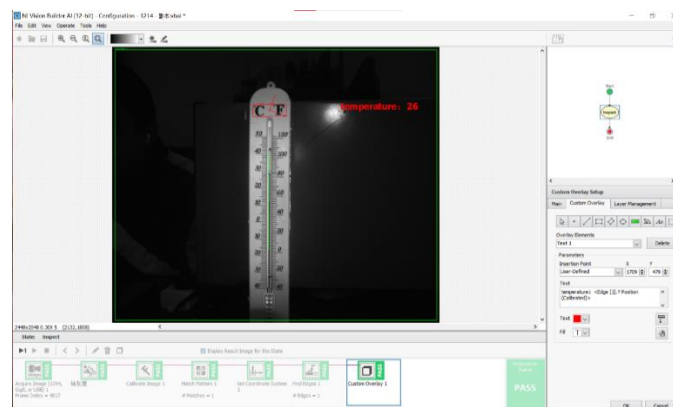


Рис. 3. Процесс калибровки и поиска краёв на изображении термометра

Описание программной реализации

Программная реализация разработанного алгоритма обработки изображения основана на использовании платформы визуального программирования, которая позволяет строить полноценные решения без необходимости традиционного программирования. Вместо написания кода пользователь работает с графическим интерфейсом, в котором последовательность действий формируется как цепочка логических шагов. Это делает разработку доступной даже для тех, кто не имеет глубоких знаний в области программирования, сохраняя при этом гибкость и мощные функциональные возможности [3] технологий машинного зрения.

Работа начинается с захвата изображения с промышленной камеры. Полученное цветное изображение автоматически преобразуется в градации серого – это снижает объём данных и упрощает последующую обработку, например, фильтрацию шума и выделение краёв. После этого выполняется шаблонное сопоставление, при котором программный модуль ищет заранее определённый фрагмент изображения – в нашем случае это участок с характерным обозначением, например, символ «°C» или форма шкалы термометра. Сопоставление позволяет программному модулю динамически находить положение термометра в кадре даже при его смещении, повороте или изменении масштаба. Благодаря этой функции область интереса (ROI – region of interest) обновляется автоматически при каждом кадре.

Как показано на рисунке 4, процесс начинается с преобразования цветного изображения в градации серого, после чего выполняются этапы фильтрации шума и выделения краёв. Рисунок 5 иллюстрирует процесс шаблонного сопоставления, в ходе которого программный модуль ищет заранее определённый фрагмент изображения, например, символ «°C» или форму шкалы термометра. Также показывается, как программный модуль динамически находит положение термометра в кадре при его смещении, повороте или изменении масштаба.

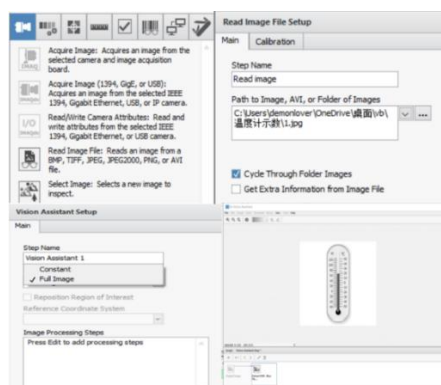


Рис. 4. Процесс преобразования изображения в градации серого и фильтрация шума

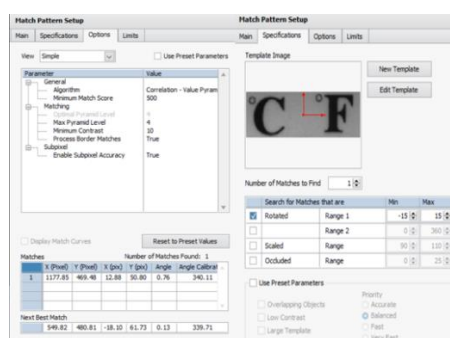


Рис. 5. Шаблонное сопоставление для поиска фрагмента изображения

Следующим шагом является пространственная калибровка. Пользователь вручную отмечает на изображении минимум четыре опорные точки – например, значения температуры 0° C, 20° C, 40° C, 50° C.

Для каждой точки указываются как координаты на изображении, так и соответствующее ей физическое значение температуры. Это позволяет программному модулю построить математическую модель преобразования между координатами пикселей и реальными физическими величинами. Таким образом, координата Y ртутного столбика может быть напрямую преобразована в градусы Цельсия.

Как показано на рисунке 6, вручную отмечаются опорные точки на изображении, и демонстрируется, как программный модуль строит математическую модель преобразования между пиксельными координатами и реальными значениями температуры.

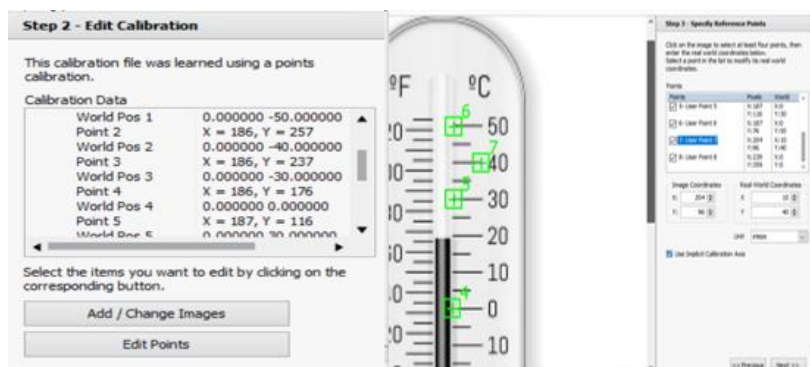


Рис. 6. Процесс пространственной калибровки изображения

После настройки калибровки активируется инструмент Find Edges. Он анализирует изображение внутри области интереса и определяет точку, где интенсивность изображения резко изменяется – то есть границу ртутного столбика. Полученное значение координаты Y передаётся на следующий этап обработки. Программный модуль сравнивает это значение с откалиброванными данными и вычисляет фактическую температуру, которая затем используется для логического анализа [3].

Испытания и анализ результатов

Программный модуль автоматического распознавания показаний ртутного термометра прошёл комплексное тестирование в лабораторных условиях, включающее статические и динамические испытания. В статических тестах при фиксированном положении термометра и стабильном освещении результаты, полученные модулем, отличались от показаний электронного термометра не более чем на $\pm 1,1$ °C, что соответствует метрологическим требованиям. Основные погрешности возникали из-за распознавания только целых значений и низкой контрастности изображения. В динамических испытаниях термометр перемещался и поворачивался, менялось освещение. Модуль стабильно распознавал ртутный столбик и отображал температуру, даже при изменении условий. Среднее время обработки кадра составило 200 мс, точность – ± 2 °C, устойчивость – при изменении освещённости до ± 20 %.

Таблица 1. Сравнение результатов с реальными значениями

Реальная температура (°C)	Показание (°C)	Отклонение (°C)
25.9	26	0.1
25.9	26	0.1
25.9	27	1.1
20.0	20	0
20.0	20	0
20.0	21	1.0
15.3	15	0.3
15.4	15	0.4
15.4	15	0.6

Был также проведён анализ ошибок, связанных с изменением расстояния между камерой и термометром. Поскольку калибровка выполнялась на фиксированном расстоянии 40 см, даже небольшое отклонение на ± 2 см приводило к изменению масштаба изображения, что, в свою очередь, вызывало ошибки в интерпретации координат ртутного столбика. При отклонении на 2 см погрешность в некоторых случаях достигала ± 2 °С. Это объясняется нарушением геометрического соответствия между откалиброванными координатами и фактическим положением шкалы термометра в изменённых условиях. Кроме того, влияние оказывают возможные неточности в локализации ROI и искажения, вызванные оптическими свойствами объектива. Рисунок 7 иллюстрирует, как программный модуль адаптирует область интереса (ROI) для учёта изменений положения термометра, его поворота и изменения условий освещения в условиях динамических испытаний.



Рис. 7. Процесс динамических испытаний в реальной эксплуатации

Таким образом, результаты тестирования подтвердили работоспособность и практическую применимость программный модуль в условиях, приближенных к реальным. Высокая точность, стабильность работы при переменных внешних условиях и способность к адаптивному распознаванию делают её перспективной для использования в автоматизированных производственных или лабораторных комплексах, где требуется бесконтактный и надёжный контроль температуры.

Заключение

В ходе настоящего исследования был успешно разработан и реализован программный модуль для автоматического распознавания показаний ртутного термометра, основанный на платформе для создания алгоритмов машинного зрения и промышленном оборудовании. Разработанный модуль продемонстрировал высокую эффективность по ряду ключевых параметров: наличие полной и логически выстроенной цепочки обработки изображений, удобство использования за счёт отсутствия необходимости программирования, стабильность результатов распознавания и высокая адаптивность к внешним условиям.

Помимо реализованных на текущем этапе базовых функций, программный модуль обладает значительным потенциалом для дальнейшей оптимизации и расширения, в частности в части повышения точности распознавания температурных значений. В настоящее время модуль поддерживает отображение только целых значений температуры, однако при доработке алгоритма и внедрении методов интерполяции возможно обеспечение считывания с точностью до десятых долей градуса (например, 0.1 °С). Это существенно повысит метрологическую точность модуля.

С программной точки зрения перспективным направлением развития является внедрение функционала анализа трендов изменения температуры. Путём накопления и обработки временных рядов можно реализовать прогнозирование колебаний температуры и автоматическое формирование сигнала тревоги при выходе параметров за заданные пределы. Такой подход значительно расширит сферу применения программного модуля, включая

автоматизированные производственные линии, логистику и холодовые цепи, а также лабораторные комплексы [4].

Наконец, представленный программный модуль может служить примером практического применения технологий машинного зрения в области метрологической автоматизации. В дальнейшем возможно проведение исследований по его интеграции с системами периферийных вычислений, встроенными контроллерами или промышленными платформами автоматизации (например, PLC или SCADA), что откроет путь к внедрению решения в рамках концепции «умного производства» и повысит его коммерческую и технологическую ценность.

Список использованной литературы

5. Стема машинного зрения для автоматизации поверки ручных цифровых мультиметров [Электронный ресурс]. – URL: pg-spb.ru/news_and_articles/reshenie-po-avtomatizacii-poverki-multimetrov/ (дата обращения: 14.02.2025)
6. Матвей Чаусов «Машинное зрение. Что это и как им пользоваться?». – 2018г.
7. Ши Синьхуа. Введение в NI Vision Builder for Automated Inspection 2020 и 2023. – 2023.
8. Сунь Цзянь, Сюй Цзунбэнь. Масштабный космический метод в компьютерном зрении. "CNKI; ВанФанг". – 2005.