

# Система компьютерного зрения для распознавания показаний стрелочных приборов

А. В. Девяткин

Санкт-Петербургский  
государственный  
электротехнический  
университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)  
avdevyatkin@etu.ru

А. Р. Музалевский

Санкт-Петербургский  
государственный  
электротехнический  
университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)  
muzal2010@yandex.ru

А. С. Морозов

Санкт-Петербургский  
государственный  
электротехнический  
университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина)

**Аннотация.** В статье описывается система компьютерного зрения, позволяющая распознавать показания стрелочных приборов, полученные при помощи видеокамеры, с учётом удобства использования системы конечным пользователем. Описан алгоритм работы, приведены результаты распознавания.

**Ключевые слова:** компьютерное зрение, распознавание показаний, стрелочный прибор

## I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время автоматические системы управления активно внедряются в технологические процессы различных предприятий. Стрелочные приборы, позволяющие оператору следить за состоянием технологического процесса, вытесняются современными аналоговыми или цифровыми приборами, имеющими различные стандартные интерфейсы, что позволяет использовать эти сигналы в системе промышленной автоматизации. Однако существует большое количество промышленных объектов с устаревшим оборудованием, замена которого на современные аналоги с целью автоматизации часто требует остановки процесса на длительный срок, что не всегда возможно или целесообразно.

Алгоритмы и методы распознавания показаний стрелочных приборов рассмотрены многими авторами. Так, в работе [1] рассмотрен метод распознавания показаний стрелочного индикатора, основанный на применении модифицированного преобразования Хафа к бинаризованному изображению указателя. В [2] для вычисления показаний используются вычисление контура указателя, преобразование в полярную систему координат, свёртка результирующего изображения при помощи преобразования Хартли [3]. При считывании показаний стрелочного прибора могут возникнуть трудности как с получением региона интереса – поиск прибора в кадре, выделение шкалы, поиск матрицы перспективного преобразования, так и непосредственно с распознаванием показаний – наличие нескольких шкал, неравномерность градуировки, удаление тени от стрелки. Кроме аналитических методов широко применяются подходы, использующие нейронные сети, как для автоматического получения матрицы перспективного преобразования [4], так и для распознавания стрелки и удаления тени [5].

В настоящей работе описывается система распознавания показаний стрелочных приборов, получаемых при помощи видеокамер. Система позволяет решить несколько задач, связанных с автоматизацией технологического процесса, и может внедряться поэтапно. Первым шагом является внедрение системы видеонаблюдения, которая упрощает работу оператора, поскольку все показания становятся доступны с одного рабочего места. На этом этапе оператор контролирует правильность показаний и сверяет распознанное значение с реальным. Затем, после того как качество распознавания показаний было проверено, происходит автоматизация логирования показаний, что дополнительно снижает ответственность оператора. После того, как для всех приборов был собран архив показаний за некоторое время, можно провести симуляцию работы промышленной системы автоматизации и оценить уровень адекватности её работы. Важно отметить, что если в системе есть неавтоматизированные исполнительные устройства, то их горячая замена на автоматизированные аналоги не всегда возможна, однако в этом случае система распознавания показаний является инструментом для диагностики и анализа.

## II. АЛГОРИТМ РАБОТЫ

Алгоритм получения информации с измерительного прибора основан на следующих этапах работы:

- получение информации с устройства захвата изображения (камера);
- ввод информации пользователем о положении измерительного устройства/устройств на изображении;
- автоматическое распознавание основной информационной зоны измерительного устройства;
- автоматическое определение угла наклона стрелки измерительного устройства;
- автоматическое определение меток измерительной зоны;
- формирование калибровочного набора и калибровка определяемых меток для получения параметров проекции визуальной информации в единицы измерения прибора.

В качестве основы для разработки был использован фреймворк OpenCV [6], который содержит реализацию многих базовых алгоритмов обработки изображений.

Первым этапом распознавания показаний является получение данных с модуля захвата изображения (камеры) и установка опорных точек, определяющих положение объекта интереса на кадре (рис. 1).

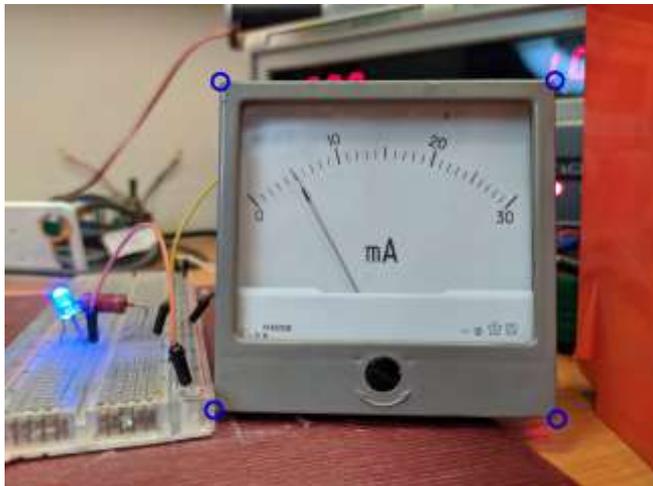


Рис. 1. Представление кадра с примером и выделенные точки интереса

Данный шаг требуется, чтобы отфильтровать большое количество сильно варьирующейся информации на фоне изображения и таким образом стандартизировать обрабатываемое изображение.

После разметки региона интереса пользователем производится операция получения матрицы перспективного преобразования. Данная матрица является одним из результатов обработки, который сохраняется для дальнейшего применения на последующих кадрах. Результат перспективного преобразования приведен на рис. 2.



Рис. 2. Результат перспективного преобразования изображения по исходным точкам

Для определения зоны интереса (зоны информации измерительного прибора) производится последовательность из операций (рис. 3):

- выравнивание освещенности на изображении;

- бинаризация изображения по алгоритму Otsu [7];
- применение операции расширения;
- определение контуров изображения с извлечением наибольшего контура и получение описывающего прямоугольника.

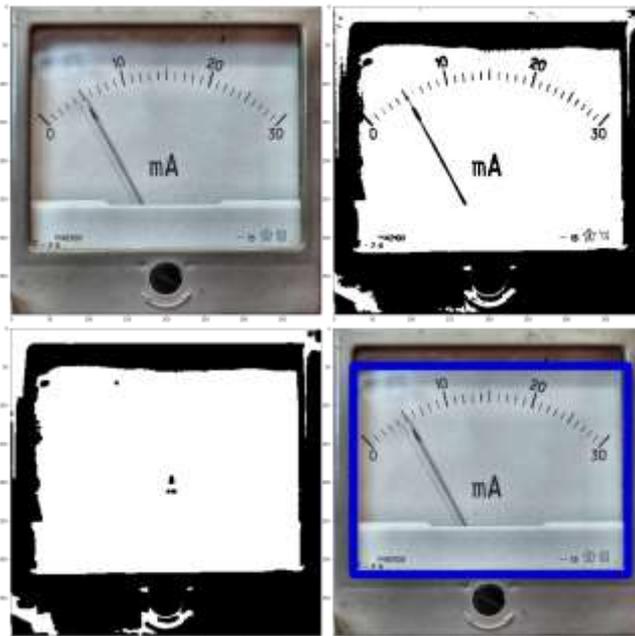


Рис. 3. Пошаговый результат обработки подсистемы поиска зоны интереса изображения

Как видно из шагов обработки, система ориентируется на светлую часть измерительного прибора. На данном этапе предъявляется требование к вариациям освещенности для удержания стабильности работы алгоритма. Обработка крайних случаев плохой освещенности планируется к проработке в дальнейшем.

Алгоритм Otsu был выбран по причине статистического подбора наиболее подходящего порога разделения. Таким образом, алгоритм может подбирать наиболее подходящий порог без влияния качества прорисовки или появления серых зон на изображении.

Следующим этапом обработки является поиск на изображении стрелки прибора для получения информации о положении. Последовательность шагов поиска стрелки на изображении следующая:

- бинаризация зоны интереса по алгоритму Otsu;
- фильтрация крупных темных зон за счет морфологических операций;
- поиск гипотез прямых линий по алгоритму Хафа в диапазоне углов [8];
- поиск усредненных параметров гипотез линий.

Результаты пошаговой обработки приведены на рис. 4.

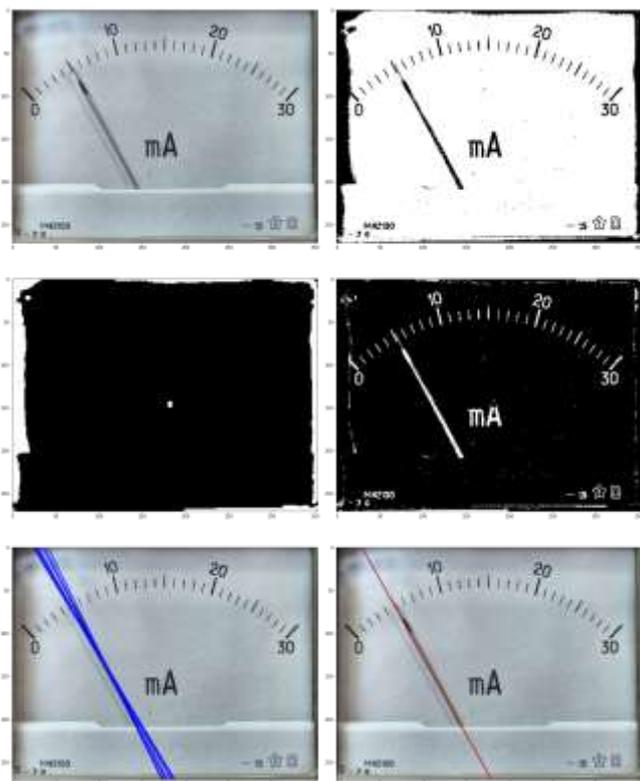


Рис. 4. Пример шагов обработки для решения задачи поиска стрелки на изображении

В результате исполнения данного шага система получает информацию о положении стрелки на изображении. При этом, данная информация привязана к оптической системе координат изображения и не имеет связи с системой координат измерительного прибора. Для этого выполняется последний шаг обработки, который позволяет системе в дальнейшем функционировать без вмешательства пользователя, передавая информацию с измерительного прибора в систему сбора информации.

На данном этапе наклон стрелки является входной информацией, по которой требуется определить измеряемый уровень физической величины. В том случае, когда имеется видеопоток, на котором видно как меняется положение стрелки прибора в определенном диапазоне, калибровка производится путем определения линейной пропорции между углом наклона стрелки и измеренными точками. Увеличение количества точек повышает точность за счет усреднения погрешности измерения.

В случае невозможности снять несколько положений стрелки решается более общий случай калибровки, при котором предыдущий случай является частным. В качестве основы решения принято, что метки являются продолжением стрелки в каждом из положений, поэтому определение меток и их углов наклона дает  $N$  случаев наклона линии, которые позволяют настроить линейную пропорцию между углом наклона и измерением прибора.

Определение проекции производится путем определения меток по их положению с помощью поиска контуров на бинаризованном изображении с фильтрацией по размеру. Так как метки имеют малый

размер, то определение их направления может иметь высокую погрешность и неустойчивость. Для более точного определения направления меток используется линия стрелки, в рамках которой ищется точка схода линий меток (рис. 5).

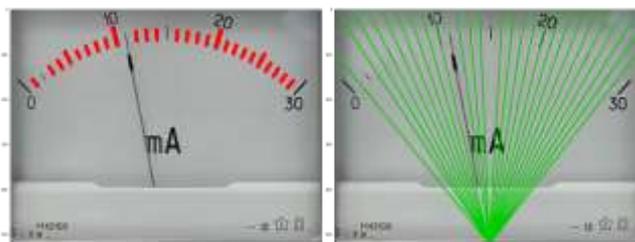


Рис. 5. Пример результата поиска точки схода путем определения минимума функции потерь

В результате поиска линий меток получен набор случаев наклона стрелки, которому в соответствие ставится набор значений с реальной шкалой прибора. Минимальное количество требуемых соответствий - два для линейного случая. Для работы с нелинейными шкалами требуется задание значений по максимально возможному диапазону.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описан метод распознавания показаний стрелочных приборов. Разработанный подход требует предварительной разметки области интереса, чувствителен к освещению и применим только к приборам с линейной шкалой.

На данный момент, разработка не включает автоматизацию поиска измерительного устройства на изображении, так как предполагается использование системы только в статическом режиме, то есть однократная установка и настройка для работы.

В дальнейшем для устранения указанных ограничений планируется применить автоматическую систему поиска измерительных устройств на изображении и формирования региона интереса. Таким образом, система приобретет возможность работать не только в статическом режиме при постоянном положении камеры, но и при передвижении камеры относительно измерительного прибора, что позволит использовать систему на мобильных устройствах и летательных аппаратах.

Для реализации указанной модификации предполагается использование обученных детекторов объектов на изображении. Таковыми могут являться сверточные нейронные сети с архитектурами EfficientDet [9], YOLOv4/5/X [10], SDD. Для проведения обучения требуется аппаратное обеспечение, оборудованное графической картой, а также набор размеченных изображений измерительных приборов. В качестве программного обеспечения для разметки предполагается использовать систему CVAT.

Другой модификацией системы является применение методов Optical Character Recognition (OCR), которая позволит распознавать не только метки в зоне информации, но и символы, которые позволяют привязать к меткам конкретные значения измерений. В

лучших случаях это позволит исключить этап калибрования. В общем случае такая модификация потребует от пользователя выполнять лишь контролируемую и корректирующую функцию.

На данный момент подход имеет ряд ограничений по освещению, линейности шкалы прибора, качеству изображения, а также качеству и формату распознаваемых частей в зоне информации прибора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Sablatnig R., Kropatsch W.G. Automatic Reading of Analog Display Instruments // Proc. of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition. Jerusalem, 1994. Vol. 1. P. 794–797.
- [2] Вологов Д.Б., Юрин Д.В. Считывание показаний стрелочного прибора при помощи web-камеры // ГрафиКон2008. М., 2008. С. 242–247.
- [3] Головенков Е.В., Дегтярев С.В. «Метод распознавания показаний стрелочных индикаторов». // Изв. Вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 2.
- [4] Wu, Xuang et al. «A High-Precision Automatic Pointer Meter Reading System in Low-Light Environment». Sensors (Basel, Switzerland) 21 (2021).
- [5] Yifan Ma, Qi Jiang. “A robust and high-precision automatic reading algorithm of pointer meters based on machine vision” Published 10 December 2018, Measurement Science and Technology, Volume 30, Number 1
- [6] OpenCV framework. Official site. URL: <https://opencv.org/>
- [7] N. Otsu, «A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms,» in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, Jan. 1979, doi: 10.1109/TSMC.1979.4310076.
- [8] Hough Transform. Онлайн-ресурс. URL: <https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/hough.htm>
- [9] M. Tan, R. Pang and Q. V. Le, «EfficientDet: Scalable and Efficient Object Detection,» 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2020, pp. 10778-10787, doi: 10.1109/CVPR42600.2020.01079.
- [10] C. -Y. Wang, A. Bochkovskiy and H. -Y. M. Liao, «Scaled-YOLOv4: Scaling Cross Stage Partial Network,» 2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2021, pp. 13024-13033, doi: 10.1109/CVPR46437.2021.01283.