

Анализ возможностей считывания показаний стрелочных приборов при помощи алгоритмов машинного зрения

М. В. Шляхов, Е. О. Петренко

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены способы и устройства, предназначенные для считывания и дистанционной передачи показаний стрелочных приборов. Рассмотрен спектр задач, решаемых при помощи инструментов машинного зрения, и оценена применимость их к поставленной задаче. Предложено использование алгоритма машинного зрения, интегрированного в мобильное приложение для считывания показаний стрелочных приборов.

Ключевые слова: считывание показаний, стрелочные приборы, машинное зрение, machine vision, MV.

DOI 10.14357/20718632240408 EDN LVBJRI

Введение

На сегодняшний день в России реализуется множество программ модернизации оборудования промышленных и инфраструктурных объектов. В рамках этих программ происходит замена релейно-контактных систем управления на современные цифровые программно-технические комплексы (ПТК). Однако же, для контроля показаний цифровых приборов по-прежнему необходимо дублирование их приборами механическими. Данные приборы имеют лучшую ремонтопригодность а также, в силу простоты конструкции и более низкой стоимости, лучше поддаются поверке и замене. Кроме того, их наличие необходимо для сохранения возможности ручного управления оборудованием в случае отказа или сбоя в работе АСУ. Кроме того, на сегодняшний день, далеко не все технологические машины и установки в России оснащены современными системами управления, и во многих случаях, именно механические приборы являются основой технологических защит.

1. Актуальность проблемы

Именно простота конструкции и обуславливает невозможность полноценной интеграции механических приборов в АСУ установки или предприятия. Для решения указанной проблемы были предложены множество различных видов технических устройств [1-8]. На сегодняшний день, наиболее распространённой практикой является периодический «обход» контролируемых приборов с записью их показаний на бумажные носители. Данный подход позволяет выявлять расхождения в показаниях между цифровым и механическим приборами, на основании чего может быть принято решение о замене, обслуживании или ремонте цифрового прибора.

Целью настоящей работы являются: анализ существующих устройств и решений для интеграции механических приборов в системы управления, предложение решений по считыванию показаний подобных приборов для дальнейшего их использования и хранения в составе цифровой АСУ.

2. Анализ существующих подходов

Попытки интеграции механических приборов в систему управления технологической установки предпринимались достаточно давно. Например, в [1] представлено устройство дистанционного считывания показаний стрелочного механического манометра. По замыслу создателя, устройство должно было применяться в условиях ограниченного пространства на газовых и нефтяных месторождениях. Принцип работы прибора основывался на изменении яркости горения гибкого светодиода, обмотанного вокруг стрелки манометра. Свет принимался фотодатчиком, и проходя через усилитель, поступал в виде одиночного импульса заданной величины в электрическую схему, преобразующую его в цифровой сигнал. В целом, устройство способно выполнить поставленную перед ним задачу. Однако использование яркости горения светодиода в качестве показателя угла поворота стрелки представляется сомнительным в связи с влиянием на данный параметр факторов окружающей среды. Также не стоит исключать из рассмотрения фактор влияния натяжения гибкого светодиода на положение стрелки и, соответственно, на показания прибора. Кроме того, на сегодняшний день более разумным представляется использование программируемого микроконтроллера для преобразования аналогового импульса в цифровой сигнал. При этом, сама идея отслеживания положения стрелки и использования делений шкалы прибора как опорных точек представляется полезной для дальнейшего использования.

Существуют и более современные разработки, использующие актуальные протоколы передачи данных и инструменты для решения поставленной задачи. В работе [2] представлено устройство, основой которого является существующая в памяти считающего устройства модель прибора, с которой непрерывно сравнивается изображение, получаемое с камеры прибора. Сначала алгоритм распознаёт нулевое значение шкалы, затем – положение стрелки. После чего, совмещается обработанное изображение с заранее заданным эталоном шкалы прибора (который и является “моделью” прибора). Основным недостатком описанного устройства является необходимость создания “моделей” шкал

под каждый конкретный тип прибора, что может быть достаточно трудозатратно. Однако же, наиболее примечательной его особенностью является использование алгоритмов машинного зрения для решения задачи распознавания. Этот принцип является основой предлагаемой в работе системы снятия показаний.

Работа [3] интересна рассмотрением не только технического устройства считывателя, но и предложениями по организации их применения. Предложенная в работе схема, состоящая из четырёх уровней, и включающая в себя концентраторы может быть использована при внедрении системы считывания показаний на крупных промышленных объектах. Схема приведена на Рис. 1.

Также важной особенностью является интеграция функционирования всех компонентов через беспроводные интерфейсы. Однако она содержит и некоторые утверждения, подлежащие дополнительному анализу. Например, в качестве недостатка автономного считывателя, встроенного в мобильный телефон, указывается невозможность распознавания с засвеченных фотографий, получающихся при использовании



Рис. 1. Общая структурная схема автоматизированной системы мониторинга показаний бытовых приборов учета

фотовспышки. Безусловно, использование алгоритмов машинного зрения на засвеченных фотографиях невозможно или крайне затруднено. Однако фотовспышку и настройки камеры при считывании можно регулировать – как вручную (что может быть достаточно затруднительно и затратно по времени), так и автоматически – при помощи библиотеки Google Camera. Так что при разработке собственного считающего приложения проблема является решаемой.

Важно отметить, что при снятии показаний неизбежно встаёт вопрос их искажения из-за эффекта погрешности параллакса. В работе [4] предлагается тестовый алгоритм компенсации погрешности. Основой его является внедрение в один скан нескольких циклов измерения с последующей их аппроксимацией. Согласно работе, погрешность снижается в 5-10 раз. Однако указанный алгоритм увеличит время, требуемое для считывания показаний из-за потребности в многократной съёмке изображений. Так что предложенный алгоритм актуален только при считывании показаний с критически важных контрольных приборов.

3. Использование алгоритмов машинного зрения в современных технологических системах

Сегодня алгоритмы машинного зрения широко используются в задачах распознавания для различных объектов. Соответственно, на сегодняшний день выполнено большое количество исследовательских работ, посвящённых их созданию. Например, в работе [5] рассмотрена система классификации дорожных знаков при помощи алгоритмов MV. В указанной работе рассмотрены основные этапы, которые проводятся командой исследователей

Прежде всего, была проведена классификация дорожных знаков по видам и функциям на 4 основных группы, причём для разных стран (Европы, США, Китая). Далее, были рассмотрены основные базы данных, содержащие изображения дорожных знаков различных стран. После этого был осуществлен сравнительный анализ основных методов распознавания изображений. На этом необходимо остановиться поподробнее.

Цветоориентированные (Color-based) методы. Данные методы также подразделяются на подклассы, в зависимости от используемой цветовой матрицы (RGB, RYB, ч/б), причём по ней могут распределяться как группы пикселей, так и изображение в целом. Цветоориентированные методы, согласно представленной работе [5], демонстрируют достаточно хорошие результаты (88-97%) на представленных датасетах. Однако для решения рассматриваемой проблемы указанный метод неприменим, поскольку в данной работе решается другая задача (считывание информации) и единым цветом шкал механических приборов.

Формоориентированные (Shape-based) методы. Этот подкласс методов в целом основан на определении контуров объектов. Они подразделяются на: основанные на форме (контурах) объекта, ключевых точках или на основе преобразований Фурье – прежде всего, в зависимости от формы распознаваемых объектов. Подобные методы, в отличие от предыдущих, вполне применимы в системе считывания показаний, поскольку данные методы способны с высокой точностью выявлять положение элементов (прибора, нуля шкалы и стрелки) в пространстве.

Цвето- и формоориентированные (Color and Shape based) методы. Прежде всего, они основаны на выделении областей пикселей различными способами (выделяющиеся области, перепад цветов и обнаружения заметности). Данные методы также дают приемлемые результаты в цитируемой работе, однако могут давать ошибки на схожих знаках. Подобные методы также хорошо применимы к решению поставленной в работе задачи, более того, в работе [3] именно такие методы и рассмотрены.

Методы, связанные с машинным обучением (machine learning based). Указанные методы также подразделяются по типу используемых в них методик ML (AdaBoost, SVM или CNN). Более подробно они описываются в работах [6-8]. В приведённой работе [5] отмечено, что эффективность подобных методов напрямую зависит от размера использованного датасета.

Методы, использующие лидар (LIDAR based). Данные методы основываются на использовании лидара на основе анализа полученного облака точек. Они также подразделяются

на использование черно-белого или цветного лидара. Указанные методы можно считать полностью неприменимыми в рассматриваемой задаче ввиду высокой стоимости и громоздкости лидара.

Также, достаточно интересна работа [9]. Она является обзорной и описывает основные сложности и специфические моменты при реализации систем машинного зрения, которые не связаны непосредственно с алгоритмами. Например, речь идёт о правильном расположении света и камеры и накладываемых светофильтрах. В работе данные особенности могут быть учтены посредством соответствующих настроек камеры.

Подводя итоги, можно отметить, что на сегодняшний день существует множество различных алгоритмов и способов распознавания в области MV и CV. Однако, при рассмотрении источников, большинство описываемых алгоритмов, так или иначе, решали задачи классификации или же кластеризации. Поставленная в настоящем в исследовании задача считывания показаний отличается от представленных задач, поэтому в следующем разделе будут рассмотрены методы адаптации к ней некоторых алгоритмов MV.

4. Проект системы считывания показаний

Проанализировав технические решения, использованные в ранее предложенных системах считывания, а также возможности и примеры использования Machine Vision на сегодняшний день, можно сформулировать общую техническую концепцию системы считывания показаний, пригодную для использования в современных промышленных предприятиях и коммунальной сфере.

В работе [5] было рассмотрено значительное количество различных алгоритмов, которые могут быть использованы для решения задачи классификации. Однако как было отмечено ранее, не все из них подходят для сформулированной в настоящей работе задачи. Поэтому, в работе будут рассмотрены примеры двух алгоритмов различных типов применительно к представленной задаче.

4.1. Преобразование Хафа

Преобразование Хафа подробно рассмотрено в [10]. Метод Хафа был создан для анализа изображений пузырьковой камеры. Его основное свойство – возможность обнаружения на изображении простых фигур (квадраты, круги, треугольники и т.д.). Алгоритм представляет всё пространство в виде уравнения, параметры которого образуют фазовое пространство. Затем, на вход поступает двоичное изображение, каждая точка которого анализируется на принадлежность какой-либо фигуре. Получившиеся значения сохраняются в виде параметров параметрического уравнения. Финальным шагом работы алгоритма является обход пространства Хафа с целью выбора максимальных значений точек, принадлежащих какой-либо фигуре.

Указанный метод реализован в библиотеке OpenCV под наименованием CV_HOUGH_STANDARD. Ключевой его особенностью является возможность вычисления не только уравнения фигуры, но и угла поворота её к оси x. Именно этот показатель и является наиболее важным в задаче определения показаний стрелочного прибора

Однако, как уже говорилось ранее, для использования алгоритма Хафа требуется дополнительная подготовка изображения. В статье [5] описан алгоритм Канни для определения границ. Для более корректной его работы перед его применением изображение необходимо обесцветить и размыть методом Гаусса.

Согласно результатам работы [10], алгоритм Хафа наиболее достоверно распознаёт треугольники и круги среди остальных фигур. Шкалу же механического манометра или любого другого подобного прибора можно представить именно как треугольник, находящийся в круге.

Последним препятствием перед получением показаний прибора является преобразование полученного угла (Rho в OpenCV) в показания прибора. Наиболее простым методом может служить введение пользователем перед считыванием номера (или типа) прибора и интеграция в систему базы данных о номиналах и расположении нулевого деления у каждого из приборов. В таком случае, итоговое значение может быть получено по следующей формуле:

$$x = \frac{(\alpha - \rho) * c * n}{360 - 2\alpha}; \quad (1)$$

где α – угол отклонения нуля прибора от оси x , ρ – полученное значение угла, c – цена деления прибора, n – количество делений прибора.

Общая схема работы алгоритма представлена на Рис 2.

В целом, алгоритм Хафа достаточно хорошо, в силу своей специфики, подходит для решения поставленной задачи. Однако, более достоверные данные о его точности могут быть получены только экспериментальным путём.

4.2. Метод максимально стабильных экстремальных областей (MSER)

Алгоритм максимально стабильных экстремальных областей или же Maximally stable extremal regions (MSER) первоначально использовался для поиска соответствия двух изображений с разных точек зрения. Однако, он показал свою высокую эффективность в распознавании двоичных объектов. В статье [11], например, был предложен способ распознавания текстовых дорожных знаков с его помощью.

Суть алгоритма заключается в выделении наиболее контрастных участков (скоплений пикселей) на изображении и сопоставлении их с заранее заложенными паттернами тех или иных объектов (надписей на знаках, цифр на дисплее). Тот паттерн, с которым у области имеется наибольшее соответствие, является искомым значением.

Алгоритм MSER, как и предыдущий, изначально предназначен для классификации изображений. Однако и его можно модифицировать

для использования в решении поставленной задачи.

Прежде всего, изображение необходимо предварительно обработать. Сделать это можно при помощи тех же алгоритмов, что и в предыдущем случае. Далее следует определить ось стрелки прибора или центр окружности на обработанном изображении (например, методом cvMinEnclosingCircle), после чего последовательно от оси x разбить окружность относительно этого центра на 360 секторов. Затем последовательно определить рейтинг интереса (Rate of interest - ROI) в каждой из областей. Область, в которой ROI максимальна, и является областью нахождения стрелки прибора. Следовательно, номер области с наибольшим ROI и есть значение искомого угла с точностью до градуса. Постобработка результата будет аналогична предыдущему алгоритму. Схема работы алгоритма показана на Рис. 3.

В целом, данный алгоритм похож на программную реализацию схемы, предложенной в [2]. Алгоритм MSER является универсальным инструментом, способным на решение большого числа различных задач классификации. Однако в приведённой реализации предполагаемая точность распознавания достаточно низкая ($\approx 1^\circ$). Увеличить точность можно увеличением числа секторов разбития, однако это увеличит и время обработки одного изображения, что может быть неприемлемым в некоторых ситуациях (длительные маршруты обходов с большим количеством приборов).

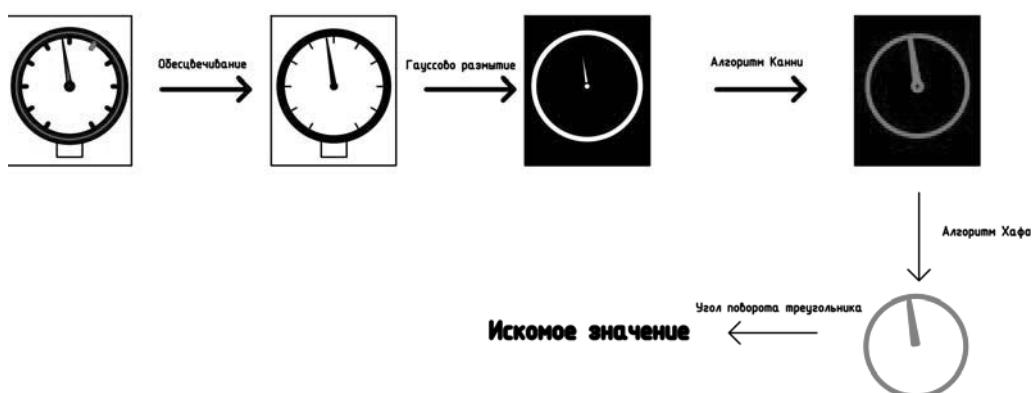


Рис. 2. Схема работы алгоритма считывания показаний стрелочного прибора, основанная на алгоритме Хафа

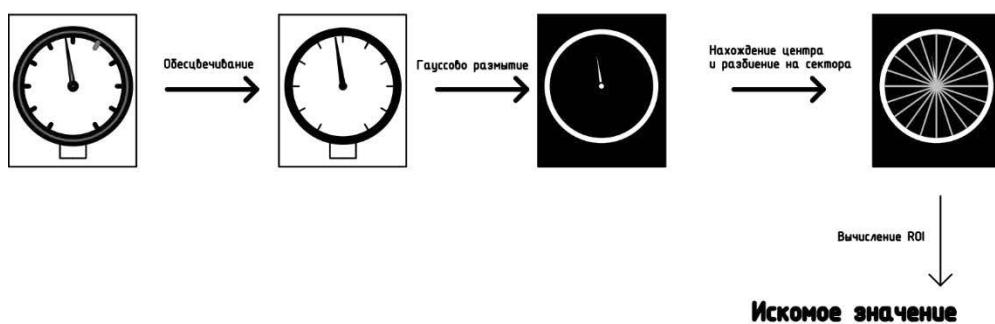


Рис. 3. Схема работы алгоритма считывания показаний стрелочного прибора, основанная на алгоритме MSER

Заключение

В работе были проанализированы особенности функционирования существующих устройств и комплексов для считывания показаний стрелочных механических приборов, их схемы и области применимости. Предложена возможность распознавания их при помощи алгоритмов машинного зрения. Рассмотрены используемые типы алгоритмов MV, исследованы возможности их применимости к решению поставленной задачи. Предложены два алгоритма на основе технологий MV, способные решить поставленную задачу.

Основным критерием качества подобных алгоритмов при реализации и интеграции их в производственные системы остаётся их точность. Её достоверные значения могут быть получены лишь на основе анализа результатов реализации и апробирования в условиях производства подобного комплекса.

Литература

1. Авторское свидетельство № 669193 А1 СССР, МПК G01D 18/00, G01D 5/39. Устройство для автоматического считывания показаний стрелочного прибора: № 2458853: заявл. 05.03.1977: опубл. 25.06.1979 / М. И. Белый, Е. В. Антонец, Г. А. Емельянов [и др.]; заявитель Ульяновский политехнический институт. – EDN JTWKME.
2. Патент № 2035746 С1 Российской Федерации, МПК G01R 35/00. Способ автоматического считывания показаний со шкал стрелочных измерительных приборов при их поверке: № 5021979/21: заявл. 02.12.1991: опубл. 20.05.1995 / С. К. Киселев, В. А. Мишин; заявитель Ульяновский политехнический институт. – EDN ZPJLOH.
3. Надвоцкая, В. В. разработка устройства считывания показаний бытовых приборов учета / В. В. Надвоцкая, А. А. Попов // Ползуновский альманах. – 2021. – № 4. – С. 113-115. – EDN HYCLVH.
4. Киселев, С. К. Использование тестового метода повышения точности измерений при автоматизированном оптическом считывании показаний щитовых стрелочных приборов / С. К. Киселев, Д. Г. Шабаев // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2005. – № 1(29). – С. 44-46. – EDN REJVRL.
5. Machine Vision Based Traffic Sign Detection Methods: Review, Analyses and Perspectives / C. Liu, S. Li, F. Chang, Y. Wang // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 86578-86596. – DOI 10.1109/ACCESS.2019.2924947. – EDN RGDZSS.
6. S. Houben, J. Stallkamp, J. Salmen, M. Schlipsing, and C. Igel, “Detection of traffic signs in real-world images: The German traffic sign detection benchmark,” in Proc. Int. Joint Conf. Neural Netw., Dallas, TX, USA, Aug. 2013, pp. 1–8.
7. J. Greenhalgh and M. Mirmehdi, “Real-time detection and recognition of road traffic signs,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 13, no. 4, pp. 1498–1506, Dec. 2012.
8. H. S. Lee and K. Kim, “Simultaneous traffic sign detection and boundary estimation using convolutional neural network,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 19, no. 5, pp. 1652–1663, May 2018.
9. Манукян, Р. Л. Машинное зрение. Основные компоненты машинного зрения / Р. Л. Манукян, И. В. Петрашин // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей VII Международной научно-практической конференции: в 4 ч., Пенза, 05 июня 2019 года. Том Часть 2. – Пенза: “Наука и Просвещение” (ИП Гуляев Г.Ю.), 2019. – С. 295-297. – EDN HEJCRG.
10. P. Yakimov and V. Fursov, “Traffic signs detection and tracking using modified Hough transform,” in Proc. Conf. E-Bus. Telecommun., Colmar, France, Jul. 2015, pp. 1–7.
11. J. Greenhalgh and M. Mirmehdi, “Recognizing text-based traffic signs,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 16, no. 3, pp. 1360–1369, Jun. 2015.

Шляхов Михаил Владимирович МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия. Магистр. Область научных интересов: автоматизация, электроэнергетика, предиктивный анализ. E-mail: tog23@mail.ru

Петренко Елизавета Олеговна МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия. Доцент, кандидат технических наук. Область научных интересов: робототехника, автоматизация, управление автоматизированным производством. E-mail: arbuzov41@mail.ru

Analysis of the Possibilities of Reading Instrument Readings Using Machine Vision Algorithms

M. V. Shlyakhov, E. O. Petrenko

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Abstract. This paper examines methods and devices designed for reading and remote transmission of pointer instrument readings. The range of tasks solved using machine vision tools is considered, and their applicability to the task at hand is assessed. The use of a machine vision algorithm integrated into a mobile application for reading pointer instrument readings is proposed.

Keywords: reading of indications, pointer instruments, machine vision, MV.

DOI 10.14357/20718632240408

EDN LVBJRI

References

1. M. I. Belyi, E. V. Antonets, G.A. Emelyanov. Device for automatic reading of pointer instrument readings. Patent USSR No. 669193 (In Russ).
2. S. K. Kiselyov, V. A. Mishin. Method for automatic reading of readings from scales of pointer measuring instruments during their verification. Patent RF No. 2035746 (In Russ).
3. Nadvotskaya V. V. Development of a device for reading household metering devices. Polzunovskiy almanakh – 2021. – № 4. – p. 113-115. – EDN HYCLVH.
4. S. K. Kiselyov, D. G. Shabayev. Usage of a test method to improve the accuracy of measurements in automated optical reading of panel pointer instruments. Vestnik Ulyanovskogo politekhnicheskogo instituta. – 2005. – № 1(29). – C. 44-46. – EDN REJVRL.
5. Machine Vision Based Traffic Sign Detection Methods: Review, Analyses and Perspectives / C. Liu, S. Li, F. Chang, Y. Wang // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 86578-86596. – DOI 10.1109/ACCESS.2019.2924947. – EDN RGDZSS.
6. S. Houben, J. Stallkamp, J. Salmen, M. Schlipsing, and C. Igel, “Detection of traffic signs in real-world images: The German traffic sign detection benchmark,” in Proc. Int. Joint Conf. Neural Netw., Dallas, TX, USA, Aug. 2013, pp. 1–8.
7. J. Greenhalgh and M. Mirmehdi, “Real-time detection and recognition of road traffic signs,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 13, no. 4, pp. 1498–1506, Dec. 2012.
8. H. S. Lee and K. Kim, “Simultaneous traffic sign detection and boundary estimation using convolutional neural network,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 19, no. 5, pp. 1652–1663, May 2018.
9. . Manukyan R. L. (eds). Machine vision. Basic components of machine vision. In: R. L. Manukyan, I. V. Petrashin // MODERN SCIENCE: TOPICAL ISSUES, ACHIEVEMENTS AND INNOVATIONS: Proceedings of the VII International scientific and practical conference, part 2. Penza: «Nauka I prosveschenie»: Gulyaev G. Y: 2019: p. 295-297. – EDN HEJCRG
10. P. Yakimov and V. Fursov, “Traffic signs detection and tracking using modified Hough transform,” in Proc. Conf. E-Bus. Telecommun., Colmar, France, Jul. 2015, pp. 1–7.
11. J. Greenhalgh and M. Mirmehdi, “Recognizing text-based traffic signs,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 16, no. 3, pp. 1360–1369, Jun. 2015.

Shlyakhov Mikhail V. Bauman Moscow State Technical University, master. E-mail tog23@mail.ru

Petrenko Elizaveta O. Bauman Moscow State Technical University, Associate Professor of the Department of RK-9 "Automation of Technological Processes and Production", Moscow, Candidate of Technical Sciences. E-mail arbuzov41@mail.ru