
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

УДК 004.932

Е. В. ГОЛОВЕНКОВ, С. В. ДЕГТЯРЕВ

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ПОКАЗАНИЙ СТРЕЛОЧНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Описана математическая модель распознавания показаний стрелочного индикатора; представлены алгоритмы вычисления показаний стрелочного индикатора и угла отклонения стрелки. Проведены расчет вычислительной сложности описанных алгоритмов и оценка точности разработанного метода.

Ключевые слова: распознавание изображений, контрольно-измерительный прибор, указатель, стрелочный индикатор.

Введение. Результаты исследований Р. Саблатнига [1], Д. Б. Волегова, Д. В. Юрина [2], Ю. Г. Свинолупова [3], М. С. Ройтмана, В. П. Войтко, Д. Л. Удута, Э. Н. Седова, С. К. Киселева [4], посвященные автоматизации контроля производства стрелочных индикаторов с помощью оптико-электронных систем, распознающих показания на передней панели прибора, выявляют высокий уровень развития технических и алгоритмических средств, которые, однако, не удовлетворяют требованиям быстродействия.

Так, в работе [1] рассмотрен метод распознавания показаний стрелочного индикатора, основанный на применении модифицированного преобразования Хафа над бинаризованным изображением указателя. В [2] применяются алгоритмы вычисления контурного изображения указателя, преобразования в полярную систему координат, свертки полученного изображения при помощи преобразования Хартли. Наиболее быстродействующим является метод распознавания показаний стрелочного индикатора [3], основанный на вычислении угла наклона стрелочного указателя с помощью метода наименьших квадратов. Однако перечисленные методы обладают высокой вычислительной сложностью, таким образом, актуальной является задача сокращения времени распознавания показаний стрелочного индикатора.

Математическая модель распознавания показаний стрелочного индикатора содержит:

— бинарное изображение шкалы стрелочного индикатора

$$I(i, j) = \{0, 1\}; i = \overline{0, h-1}, j = \overline{0, w-1}, \quad (1)$$

где h и w — соответственно высота и ширина изображения в пикселах. Массив пикселей черного цвета $I(i, j) = 1$ определяет область на изображении, принадлежащую объекту указателя; массив пикселей белого цвета $I(i, j) = 0$ определяет область на изображении, принадлежащую иным объектам, например, фону, штриховым и числовым отметкам. Алгоритм получения бинарного изображения аналогичен описанному в работе [3], он характеризуется

тем, что в процессе вычитания формируются два изображения $I_0(i, j)$, $I_f(i, j)$, первое из которых соответствует начальному показанию стрелочного индикатора, второе — конечному;

— функцию преобразования $S(I, \varphi)$ массива пикселей $I(i, j) = 1$ в угол отклонения указателя φ ;

— функцию преобразования $P(\varphi, V)$ угла φ в показания индикатора V .

Для определения показаний необходимо распознавать изображения шкалы индикатора. При этом числовое значение показания индикатора определяется на основе двух изображений $I_0(i, j)$, $I_f(i, j)$.

Определение угла отклонения указателя. Следующие ниже операции описывают функцию преобразования $S(I, \varphi)$.

Сначала изображение шкалы стрелочного индикатора $I(i, j)$ сканируется, определяются координаты $O(x_0, y_0)$ центра стрелочного указателя по следующим формулам:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=0, h-1; j=0, w-1} i}{n}; \\ y_0 = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=0, h-1; j=0, w-1} j}{n}, \end{cases} \quad (2)$$

где n — число черных пикселей на изображении $I(i, j)$.

Далее изображение шкалы стрелочного индикатора $I(i, j)$ сканируется, определяются координаты x_A, y_A, x_B, y_B центров образованных отрезков по следующим формулам:

$$\begin{cases} x_A = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=0, y_0; j=0, x_0} i}{k}; \\ y_A = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=0, y_0; j=0, x_0} j}{k}, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_B = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=y_0, h-1; j=x_0, w-1} i}{s}; \\ y_B = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=y_0, h-1; j=x_0, w-1} j}{s}, \end{cases} \quad (4)$$

где k и s — число черных пикселей в первом и во втором отрезках изображения указателя, причем

$$k + s = n. \quad (5)$$

Угол наклона указателя вычисляется по координатам двух точек $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$ по формуле:

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}. \quad (6)$$

Полученные значения $\operatorname{tg}(\varphi_0)$ и $\operatorname{tg}(\varphi_f)$, соответствующие начальному φ_0 и конечному φ_f углу отклонения указателя, запоминаются.

Определение численного значения показаний. По характеру зависимости линейных или угловых расстояний между соседними отметками шкалы от измеряемой величины различают равномерные и неравномерные шкалы. Равномерная шкала характеризуется одинаковым

расстоянием между отметками, в то время как на неравномерной шкале расстояние между отметками изменяется по определенному закону.

Необходимо найти функции преобразования $P(\varphi, V)$ угла φ отклонения указателя в показания индикатора V , т.е. определить вид функции $Z(\varphi) = V$.

Для случая равномерной шкалы имеем:

$$Z(\varphi) = k\varphi;$$

$$k = \frac{Z(\varphi_1)}{\varphi_1} = \frac{Z(\varphi_2)}{\varphi_2} = \dots = \frac{Z(\varphi_q)}{\varphi_q}; \varphi_1 < \varphi_2 < \dots < \varphi_q; q \in N, \quad (7)$$

где k — постоянный коэффициент.

Для случая неравномерной шкалы имеем:

$$Z(\varphi_i) = \{Z(\varphi_1), Z(\varphi_2), \dots, Z(\varphi_d)\}, \varphi_i = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_d\}, i = \overline{1, d},$$

$$\frac{Z(\varphi_1)}{\varphi_1} \neq \frac{Z(\varphi_2)}{\varphi_2} \neq \dots \neq \frac{Z(\varphi_d)}{\varphi_d}; \varphi_1 < \varphi_2 < \dots < \varphi_d; d \in N, \quad (8)$$

где $Z(\varphi_i)$ — дискретная функция, заданная таблично.

Каждому значению $\varphi_i, i = \overline{1, d}$ соответствует показание стрелочного указателя $Z(\varphi_i)$. Значение d зависит от количества делений l на шкале стрелочного указателя; очевидно $d \leq l$. Угол отклонения указателя относительно начального положения рассчитывается по формуле:

$$\varphi = \varphi_f - \varphi_0, \quad (9)$$

где φ_0 и φ_f — угол начального и конечного отклонения указателя.

Таким образом, в зависимости от типа шкалы стрелочного указателя выбирается функция $Z(\varphi)$, найденное значение $\text{tg}(\varphi_0)$ сравнивается с заранее определенными табличными значениями, запоминается начальный угол φ_0 отклонения указателя, найденное значение $\text{tg}(\varphi_f)$ сравнивается с заранее определенными табличными значениями, запоминается конечный угол φ_f отклонения указателя, вычисляется угол отклонения указателя по формуле (9), выполняется преобразование $P(\varphi, V)$, значение V запоминается.

Расчет вычислительной сложности. Формула для оценки вычислительной сложности будет иметь следующий вид:

$$D = \{d_{(a)}, d_{(m)}, d_{(d)}\}, \quad (10)$$

где $d_{(a)}, d_{(m)}, d_{(d)}$ — соответственно число операций сложения, умножения, деления.

Вычислительная сложность $D^{(1)}$ разработанного метода рассчитывается по следующим формулам:

$$D^{(1)} = d^{(0)} + d^{(1)}, \quad (11)$$

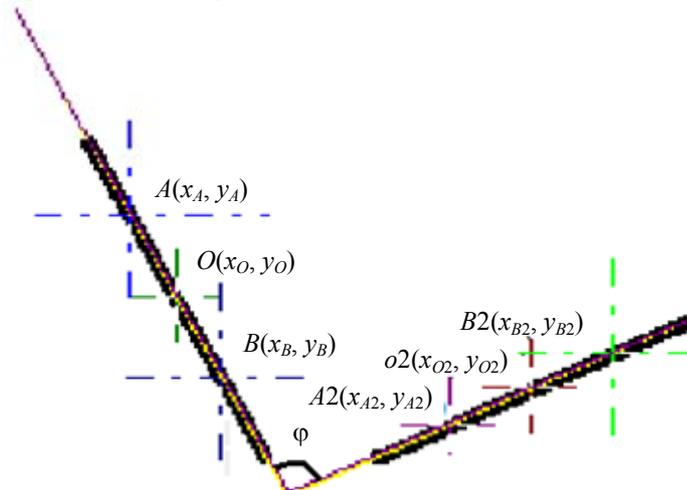
$$d^{(0)} = \{d_{(a)}^{(0)}, d_{(m)}^{(0)}, d_{(d)}^{(0)}\}, \quad (12)$$

$$d^{(1)} = \{d_{(a)}^{(1)}, d_{(m)}^{(1)}, d_{(d)}^{(1)}\}, \quad (13)$$

где $d^{(0)}$ — вычислительная сложность алгоритма бинаризации; $d^{(1)}$ — вычислительная сложность алгоритмов, описанных выше. По сравнению с существующим методом [3] вы-

числительная сложность разработанного метода уменьшена за счет исключения из формул (2)—(6) операций умножения.

Эксперимент. По результатам исследования была написана программа для ЭВМ, моделирующая процесс распознавания показаний стрелочного индикатора предлагаемым и существующим методом [3]. На рисунке проиллюстрировано вычисление угла отклонения указателя; показано окно с результатами распознавания, на котором отображены начальное и конечное положения стрелочного указателя, точки с координатами, вычисленными по формулам (2)—(4), прямые, проходящие через данные точки.



Экспериментально рассчитанная абсолютная погрешность распознавания показаний стрелочного индикатора разработанным методом по сравнению с методом, приведенным в [3], составляет $\Delta \leq 1^\circ$.

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. Волегов Д. Б., Юрин Д. В. Считывание показаний стрелочного прибора при помощи web-камеры // ГрафиКон2008. М., 2008. С. 242—247.
3. А. с. 1383242 СССР, МКИ 4 G 01 R 35/00. Способ автоматической поверки стрелочных измерительных приборов и устройство для его осуществления / Ю. Г. Свинолугов, В. П. Войтко, Н. М. Степаненко, Д. Л. Удут. Заявл. 21.10.86; опубл. 23.03.88. Бюл. № 11. 5 с.
4. Киселев С. К. Система автоматизации поверки электроизмерительных приборов // Датчики и системы. 2003. № 6. С. 33—37.

Сведения об авторах

- Евгений Владимирович Головенков** — аспирант; Юго-Западный государственный университет, кафедра информационных систем и технологий, Курск;
E-mail: theaswert@yandex.ru
- Сергей Викторович Дегтярев** — д-р техн. наук, профессор; Юго-Западный государственный университет, кафедра информационных систем и технологий, Курск;
E-mail: sergeyd12@gmail.com

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.