

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ МАРКИРОВКИ КОНДЕНСАТОРОВ

С.П. Пронин, Л.В. Ней

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

В результате анализа изображений маркировок конденсаторов и математических формул, разработан алгоритм автоматизированного контроля маркировки конденсаторов, основанный на вычислении суммы разности изображений. На основе исследований для размера эталонного изображения 350×600 пикселей предложен порог совпадения изображений маркировки конденсатора и эталонного изображения.

Ключевые слова: изображение, маркировка конденсатора, контроль, алгоритм.

Процедура входного контроля (ВК) поступившей партии конденсаторов, согласно нормативной документации (НД), включает в себя контроль на соответствие требованиям к маркировке. В настоящее время основной метод контроля – визуальный. Через некоторый промежуток времени глаза оператора устают, поэтому появляется вероятность пропуска брака.

Маркировка содержит определенный набор букв и цифр. Для автоматизированного контроля маркировки достаточно достоверно распознать определенный набор букв и цифр.

Целью статьи является разработка алгоритма автоматизированного контроля распознавания маркировки конденсаторов.

Существуют, например, корреляционный и спектральный методы обнаружения и различения на изображении объектов известной формы. Однако они требуют значительного времени обработки ввиду использования сложных математических вычислений. В алгоритме обнаружения объектов на изображении, предложенном в научно-технической литературе [1,2], применена математическая операция вычитания. Алгоритм построен на попиксельном сравнении фрагмента изображения с шаблоном-изображением. Математическая формула имеет вид [1]:

$$\sum_{k=0}^{K-1} \sum_{n=0}^{N-1} [L(ko + k, no + n) - Lw(k, n)]^2 = 0, \quad (1)$$

где $L(k, n)$ – значение яркости пиксела в o -ой строке и n -ом столбце исследуемого изображения, $Lw(k, n)$ – значение яркости пиксела в k -ой строке и n -ом столбце изображения-шаблона, K и N – размеры изображения шаблона в пикселах по строкам и столбцам, ko и

no – номера строки и столбца в левом верхнем углу, при которых фрагмент изображения и изображение шаблона совпадают.

Формула (1) является критерием совпадения изображения и изображения шаблона. Если сумма равна нулю, то исследуемое изображение полностью совпадает с изображением-шаблоном. В противном случае изображения не совпадают.

Приведенный алгоритм способен уверенно обнаруживать объект при равномерном фоне и отсутствии на исследуемом изображении помех. При наличии помех сумма попиксельных разностей сравнивается с установленным порогом Π . Если сумма в формуле (1) не превышает заданного порога Π , то считают, что исследуемое изображение и изображение-шаблон совпадают:

$$\sum_{k=0}^{K-1} \sum_{n=0}^{N-1} [L(ko + k, no + n) - Lw(k, n)]^2 \leq \Pi. \quad (2)$$

На рисунке 1 приведены типичные изображения конденсаторов с маркировками.



Рисунок 1 – Изображения конденсаторов с маркировками

Как видно из рисунка, изображения не удовлетворяют первому условию. Фон поверхности конденсаторов не является однородным, поэтому для исключения указанного недостатка можно предложить предварительную процедуру бинаризации. В бинарном

изображении яркости пикселей могут принимать только два значения – черное или белое [1]. Если при контроле маркировок конденсаторов используется видекамера цветного изображения, то вначале необходимо цветное изображение перевести в полутоновое, а затем в бинарное. Бинарное изображение получают из полутонового путем сравнения яркости каждого пикселя с установленным порогом П2, который является «самостоятельным» и не зависит от ранее рассмотренного порога П. Если величина яркости превышает пороговое значение П2, то устанавливается значение «1» и пиксель становится белым. Если величина яркости не превышает пороговое значение П2, то устанавливается значение «0» и пиксель становится черным.

Далее алгоритм может быть продолжен двумя путями. Первый путь – это сравнение маркировки предъявляемого конденсатора с одним из трех изображений-шаблонов. Изображения-шаблоны приведены на рис.2.



Рисунок 2 – Изображения-шаблоны, содержащие полную маркировку конденсаторов

Алгоритм реализации по первому пути представлена на рисунке 3. Алгоритм работает следующим образом.

Производится загрузка исследуемого цветного изображения. Далее производится преобразование цветного изображения в полутоновое, после чего осуществляется его бинаризация. По исследуемому изображению «сканируется» изображение-шаблон №1 и вычисляется сумма (2). Если сумма не превышает порогового значения П, то выводится результат, что конденсатор имеет маркировку №1. В противном случае осуществляется сканирование изображением-шаблоном №2, вычисляется сумма по формуле (2) и производится сравнение с пороговым значением П. Если сумма не превышает порогового значения П, то выводится результат, что конденсатор имеет маркировку №2. В противном случае осуществляется переход к анализу маркировки по третьему номеру. Итогом может быть или «да», тогда принимается однозначное решение о том, что маркировка принадлежит третьему номеру или «нет», тогда необходимо загрузить новое изображение. Вполне вероятно, что неправильно был уста-

новлен конденсатор под объектив микроскопа.

Второй путь продолжения алгоритма – это сравнение исследуемого изображения с отдельными элементами изображений-шаблонов.

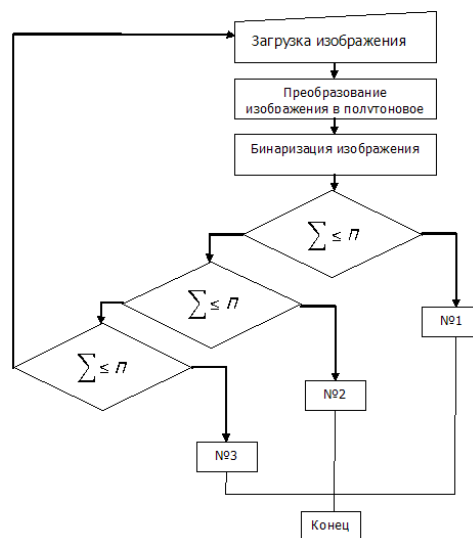


Рисунок 3 – Алгоритм обнаружения сходства маркировок по изображению-шаблону

Для анализа и классификации маркировок достаточно принять три признака: наличие или отсутствие буквы «М», буквы «V» и цифры 7. Отдельные элементы представлены на рис.4.

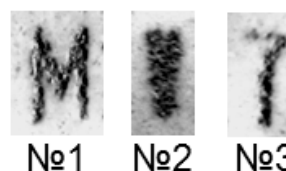


Рисунок 4 – Изображения-шаблоны, содержащие отдельные элементы маркировок конденсаторов

В этом случае алгоритм обнаружения сходен с алгоритмом, представленным на рисунке 3 с той лишь разницей, что размеры шаблонов становятся значительно меньше, а значит и время, требуемое для анализа уменьшается. Так, например, размер изображения-шаблона, представленного на рис.2,а, составляет $90 \times 60 = 5400$ пикселей. Следовательно, необходимо просуммировать по формуле (2) 5400 разностей яркостей. Если взять отдельный элемент (рис.4, №1), то его размер составляет $35 \times 45 = 1575$ пикселей. Следовательно, необходимо просуммировать

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ МАРКИРОВКИ КОНДЕНСАТОРОВ

по формуле (2) 1575 разностей яркостей, т.е. объем вычислений сокращается в 3,4 раза.

В предложенном алгоритме необходимо задать порог. Очевидно, что его можно определить только опытным путем.

В среде MathCad были выполнены исследования зависимости изменения суммы (1) от смещения изображения по строкам и столбцам относительно себя самого для двух конденсаторов. Изображения конденсаторов показаны на рисунке 5. Как видно из приведенных изображений маркировки значительно отличаются друг от друга.

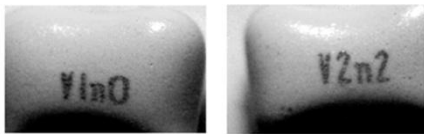


Рисунок 5 – Изображения двух конденсаторов

На рисунке 6 показано создание второго изображения с меньшими размерами одного из конденсаторов, которое может служить эталоном. Эталон с меньшими размерами позволяет смещать его относительно первоначального изображения и, таким образом, анализировать изменение суммы. По команде READBMP("C:\K201"), показанной под номером 1, производится считывание и преобразование изображения конденсатора в черно-белое. Из считанного изображения 3 по команде 4 создается его второе – эталонное изображение, которое можно смещать относительно первого и вычислять сумму (1).

1
f0 := READBMP("C:\K201")

0	1	2	3	4	5	6
597	59	53	63	66	67	61
598	67	59	63	65	72	67
599	64	61	57	61	67	73

2
3
4
f01 := submatrix(f0, 200, 550, 50, 650)

5

Рисунок 6 – Создание эталонного изображения в среде MathCad

На рисунке 7 представлена программа, которая позволяет вычислять сумму разности двух изображений, сдвинутых относительно друг друга на заданное количество пикселей. Обнуляем сумму $b \leftarrow 0$. Двумя циклами – по строкам и столбцам, попиксельно определяя

ем разности $z_{i,j} \leftarrow (f2_{i,j} - f1_{i,j})$ и возводим в квадрат. Строка $b \leftarrow b + \sqrt{z_{i,j}}$ попиксельно суммирует разности. Функции $f1_{i,j}$ и $f2_{i,j}$ являются изображением и эталоном изображения соответственно. Смещения задавали функцией эталонного изображения $f2_{i,j}$ путем задания координат в команде "submatrix", показанной под номером 4 на рисунке 6.

```
f7 := | b ← 0
      | for i ∈ 0..1
      |   for j ∈ 0..1
      |     | zi,j ← (f2i,j - f1i,j)2
      |     | b ← b + √zi,j
      | b
```

Рисунок 7 – Программа, реализующая попиксельное вычисление суммы разности двух изображений

В итоге вычислений получены графики зависимости изменения суммы от одновременного смещения по строкам и столбцам эталонного изображения относительно заданного изображения, показанные на рисунке 8.

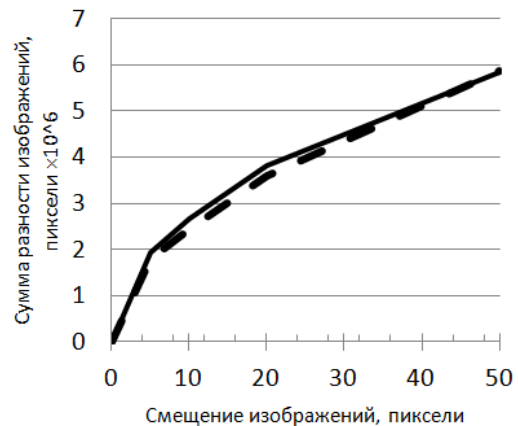


Рисунок 8 – Зависимость изменения суммы разности изображений в зависимости от смещения двух одинаковых изображений относительно друг друга

Как видно из графиков, несмотря на существенное различие в маркировках, изменение суммы разности в зависимости от пространственного смещения практически совпадают. Следовательно, для обоих конденсаторов в алгоритме может быть использован один и тот же порог. Выбор порога может

быть задан из следующих логических соображений. При сканировании эталона по контролируемому изображению и приближении эталона к полному совмещению с контролируемым изображением разность все более приближается к нулю. Самое большое изменение суммы разностей происходит при смещении до 5 пикселей. Следовательно, сумму, соответствующую 5 пикселям можно взять за порог сравнения. В нашем случае при размере эталонного изображения 350×600 пикселей порог должен составлять:

$$П = 1,79 \cdot 10^6. \quad (3)$$

В среде MathCad были выполнены исследования зависимости изменения суммы (1) от смещения изображения по строкам и столбцам правого изображения относительно левого для двух конденсаторов, изображенных на рисунке 5. Результат вычислений отражает график на рисунке 9.

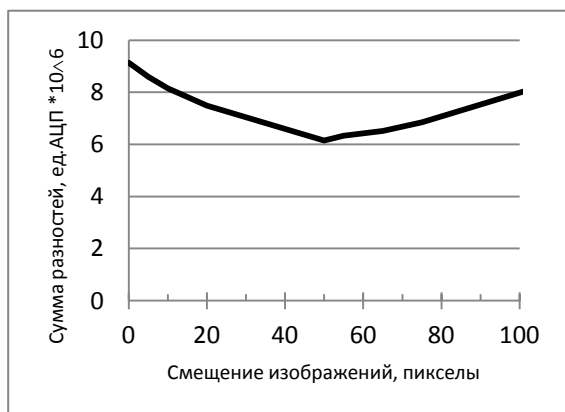


Рисунок 9 – Зависимость изменения суммы разности изображений в зависимости от смещения двух разных изображений относительно друг друга

Изменение суммы разности двух различных полутоновых изображений маркировок конденсатора V1n0 и V2n2 изменяется нелинейно в диапазоне смещения от 0 до 105 пикселей. При значении смещения 55 пикселей сумма разности изображений приобретает минимальное значение, равное 6,14·10⁶ пикселей. Как видно, выбранный порог мень-

ше в 3 раза относительно общей суммы. Следовательно, если эталонное изображение будет сканировать по "чужому" изображению, то порог выявит это отличие.

Выводы

В результате анализа изображений маркировок конденсатора и математических формул, разработан алгоритм автоматизированного контроля маркировки конденсатора, основанный на вычислении суммы разности изображений (2).

На основе исследований для размера эталонного изображения 350×600 пикселей предложен порог совпадения изображений маркировки конденсатора и эталонного изображения. Порог должен составлять: П = 1,79 · 10⁶ пикселей.

Исследовано изменение суммы разности двух одинаковых изображений относительно друг друга. Установлено, что несмотря на различия маркировок двух конденсаторов изменение суммы разности в зависимости от пространственного смещения изображений относительно друг друга практически совпадают.

Зависимость смещения эталонного изображения конденсатора относительно изображения не соответствующего эталонному носит нелинейный характер. Для исследованных маркировок определена минимальная сумма, которая равна 6,14·10⁶ пикселей. Следовательно, заданный порог П = 1,79 · 10⁶ пикселей способен выявить отличия маркировок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учебное пособие. – СПб.: БХВ – Петербург, 2011. – 608 с.
2. Красильников Н.Н. Теория передачи и воспроизведения изображений. – М.: Радио и связь, 1986. – 247 с.

Пронин Сергей Петрович – д.т.н., профессор, тел.: 8-913-085-96-65, e-mail: sppronin@mail.ru, **Ней Людмила Васильевна** – магистрант АлтГТУ.