

И.С. НАГИЧЕВ,
А.В. ПРОВОТОРОВ

**Исследование алгоритмов
обработки изображений для
автоматических систем измерения
и регистрации геометрических
параметров сварных соединений, с
использованием высокоскоростной
камеры, на основе принципа
лазерной триангуляции**

УДК 004.021

Муромский институт
(филиал) ФГБОУ ВО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Муром

Приведены результаты обзора алгоритмов обработки изображений для автоматических систем измерения и регистрации геометрических параметров сварных соединений, на основе принципа лазерной триангуляции. Выделены подходящие методы для данной системы. Разработаны методы представления данных изображений в памяти, позволяющие ускорить обработку, и модернизированы существующие алгоритмы под это представление данных.

Системы измерения и регистрации геометрических параметров сварных соединений, на основе принципа лазерной триангуляции оперируют с большими объемами данных. Требования к скорости в таких системах являются достаточно актуальными. Так как обращение к изображению является ресурсозатратным действием необходимо сформировать массив байт изображения, для дальнейшей обработки. Рассмотрим алгоритмы, необходимые для выделения линии.

Бинаризация

Для выделения яркой полосы от лазера изображение надо бинаризовать. Существует множество алгоритмов бинаризации. Рассмотрим некоторые из них:

1. Метод средней яркости (локальный метод):

- Вычисляем среднюю яркость
- Определяем граничное значение яркости.
- Пиксель становится черным, если среди его соседей есть хотя бы один пиксель яркость которого меньше граничного значения.

При этом важно чтобы связующий пиксель был уже включен в группу пикселей, которые будут отмечены как черные.

Для реализации этого метода необходим анализ соседних пикселей, по этому данный метод будет обрабатывать изображение достаточно долго.

2. Метод 120:

- Строится гистограмма
- Находится максимальный уровень серого в диапазоне от 0 до 120
- Черный цвет устанавливается у пикселей, яркость которых меньше либо равна порогового значения плюс 12...15, в остальных случаях цвет белый.

Этот метод не подходит, так как нам надо выделить не серый цвет, а яркий, белый цвет от лазера.

3. Метод 40%:

- Строится гистограмма
- Находится количество пикселей, соответствующий заданному проценту
- Отсчитывается количество пикселей по градациям яркости, начиная с 0 и до момента, когда это количество будет превышать количество пикселей, заданных в постановке задачи бинаризации, и градация, на которой произошла постановка становится порогом бинаризации.

Если модернизировать этот метод, и делать проход по гистограмме не с 0 а с 255 и в обратную сторону, то удастся найти порог бинаризации, который покроет яркие пиксели от лазерной полосы.

4. Пороговый метод:

Определяется порог яркости t . Все что больше этого порога считается белым, все что меньше — черным.

После определения порога предыдущим методом будет выполняться бинаризация по найденному порогу.

Фильтрация

Полученное изображение может содержать шумы, появляющиеся из-за бликов от света. Поэтому результирующее изображение необходимо отфильтровать.

Множество подходов к фильтрации изображений распадается на две категории: методы обработки в пространственной области (пространственные методы) и методы обработки в частотной области (частотные методы). Учитывая, что фильтровать нужно бинаризованное изображение, которое имеет всего два значения, можно исключить частотные методы.

Размытие по Гауссу — это характерный фильтр размытия изображения, который использует нормальное распределение (также называемое Гауссовым распределением, отсюда название) для вычисления преобразования, применяемого к каждому пикселю изображения. Уравнение распределения Гаусса в 2 измерениях имеет вид:

$$G(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(u^2+v^2)/(2\sigma^2)}$$

В случае двух измерений эта формула задает поверхность, имеющей вид концентрических окружностей с распределением Гаусса от центральной точки. Пиксели, где распределение отлично от нуля используются для построения матрицы свертки, которая применяется к исходному изображению. Значение каждого пикселя становится средне взвешенным для окрестности. Исходное значение пикселя принимает наибольший вес (имеет наивысшее Гауссово значение), и соседние пиксели принимают меньшие веса, в зависимости от расстояния до них. В теории, распределение в каждой точке изображения будет ненулевым, что потребовало бы вычисление весовых коэффициентов для каждого пикселя изображения. Но, на практике, когда рассчитывается дискретное приближение функции Гаусса, не учитывают пиксели на расстоянии свыше 3σ , т.к. они достаточно малы. Таким образом, программе,

фильтрующей изображение, достаточно рассчитать матрицу $[6\sigma] \times [6\sigma]$, чтобы гарантировать достаточную точность приближения распределения Гаусса.

Алгоритм усреднения соседних пикселей использует равномерный закон распределения. В этом случае все пиксели будут иметь одинаковый вес. В случае, когда радиус размытия равен десяти:

$$R = 10$$

$$f(x) = 1$$

$$f(0) + 2 \sum_{t=1}^R (f(t)) = 21$$

Число 21 является суммой всех весов соседних пикселей (для радиуса размытия равного 10). На это число нужно разделить сумму цветов соседних пикселей. Как видно, сумма центрального и соседних пикселей (с каждой из сторон) в точности равняется значению:

$$2 * R + 1$$

Таким образом нет необходимости высчитывать эту сумму.

Треугольный закон распределения – алгоритм размытия, использующий закон распределения Симпсона. В данном законе распределения веса соседних точек на текстуре с увеличением расстояния до центральной точки убывают линейно. Как и раньше, радиус размытия равен десяти. Необходимо найти сумму всех весов соседних пикселей текстуры и поделить конечный результат на неё. Для этого пусть вес центрального пикселя будет равен $(r+1)$. В таком случае веса соседних пикселей будут изменяться в соответствии с функцией $f(x)$. Веса крайних точек в этом случае будут равны единице.

Сумма весов всех пикселей в данном случае будет выражаться формулой:

$$(r + 1) * (r + 1)$$

Так как в выборе алгоритма необходимо максимальное быстродействие, выбор падает на метод усреднения соседних пикселей. Он самый простой в реализации, а смысла в неравномерном распределении для текущей задачи нет.

Решение практической задачи

С камеры считывается изображение 1024x768 пикселей. Для увеличения скорости обработки изображения было принято решение обращаться к памяти напрямую. В памяти обрабатываемое изображение хранится в виде последовательности байт. (см. рис. 1)

B_{R1}	B_{G1}	B_{B1}	B_{R2}	B_{G2}	B_{B2}	...	B_{Rw*h}	B_{Gw*h}	B_{Bw*h}
----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----	------------	------------	------------

Рис. 1. Представление исходного изображения в памяти

Где:

B – пространство памяти в байтах.

w – ширина изображения.

h – высота изображения

Первые три элемента обозначают значения яркости красного зеленого и синего цвета для первого пикселя. И эта последовательность повторяется для остальных пикселей изображения.

Сначала необходимо рассчитать порог бинаризации. Порог высчитывается следующим образом:

Необходимо задать толщину лазерной полосы T определяемую опытным путем.

Высчитываем площадь полосы $S=w*T$

Строим гистограмму изображения H

Ищем подходящие значение следующим образом (см. рис. 2)

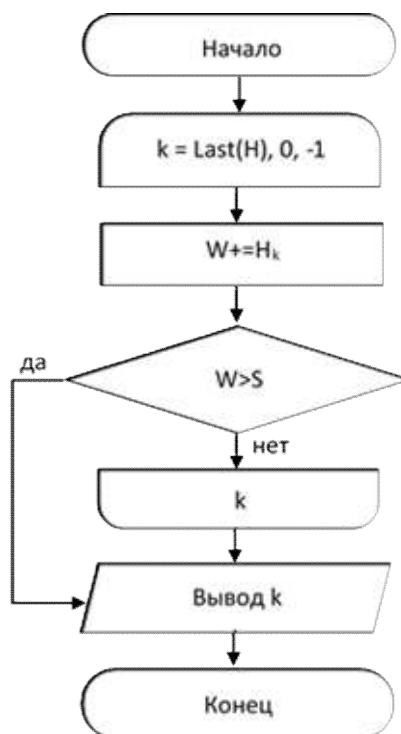


Рис. 2. Схема поиска порога бинаризации по гистограмме

Когда найден порог, проводится бинаризация изображения по этому порогу. Бинаризация выполняется по следующим способом.

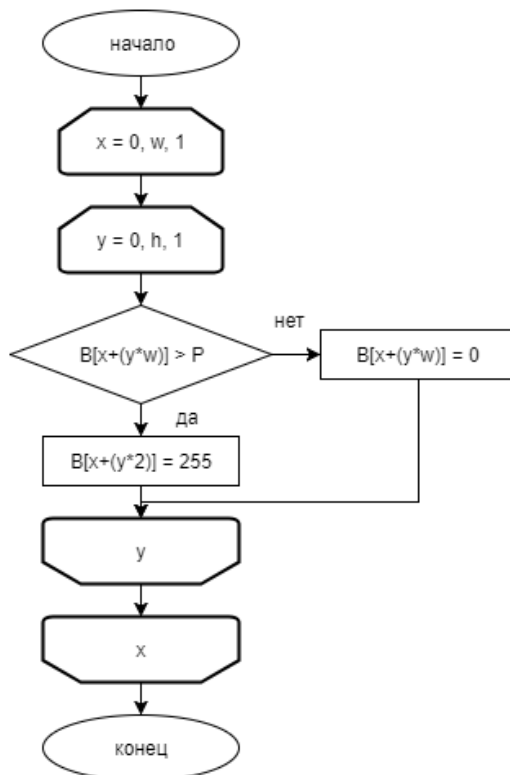


Рис. 3. Алгоритм бинаризации по порогу

На выходе функции бинаризации цветность изображения теряется и получается массив яркости пикселей. Структура которого представлена на рисунке 4. После преобразования длина массива сокращается в 3 раза.

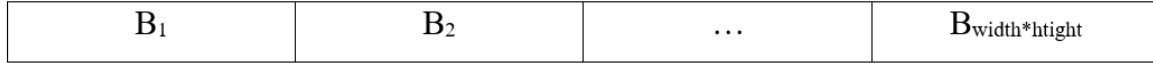


Рис. 4. Представление массива В в памяти

Где:

B – яркость пикселя.

После бинаризации на изображении выделяется не только необходимая линия лазера, но также блики и шумы. Для того, чтобы выделить линию необходимо сначала отфильтровать изображение. Для фильтрации изображения был выбран метод усреднения соседних пикселей. Из входных параметров метода сформированный ранее массив байт B и радиус размытия R . Алгоритм представлен на рисунке 5.

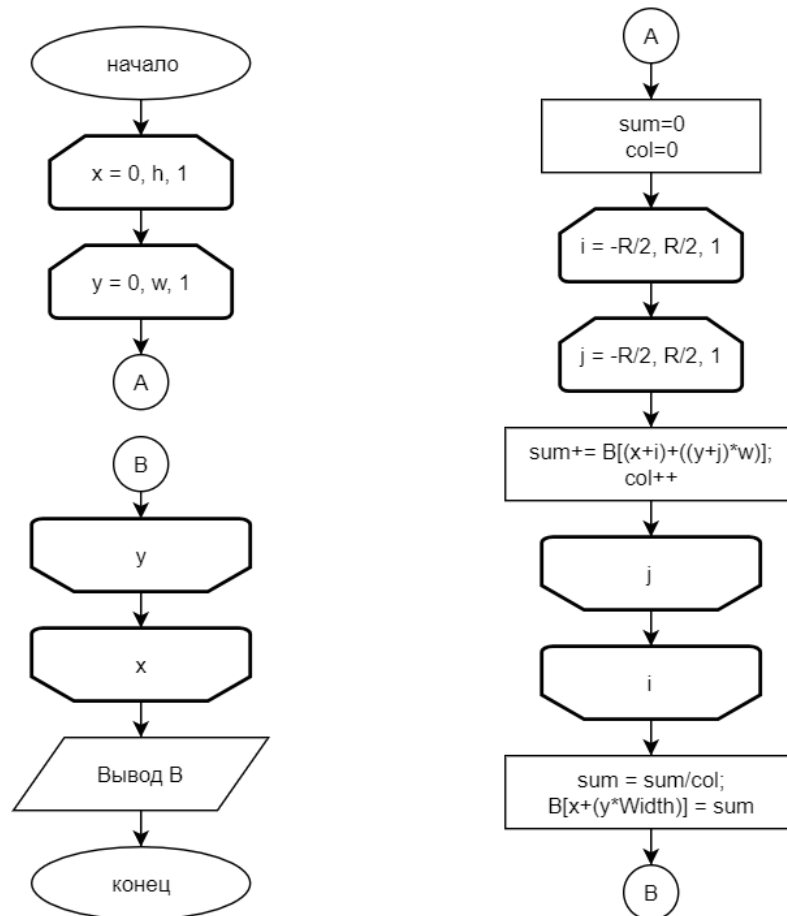


Рис. 5. Алгоритм размытия изображения

Для каждого пикселя $V[x,y]$ высчитывается сумма значения его соседних пикселей в заданном радиусе. Полученное значение делится на количество суммированных пикселей и результат записывается в пиксель $V[x,y]$.

Когда изображение уже размыто, следующим этапом является выделение линии. Для выделения линии совершается проход по всем столбцам, и выделяется центр самой длинной белой линии в столбце.

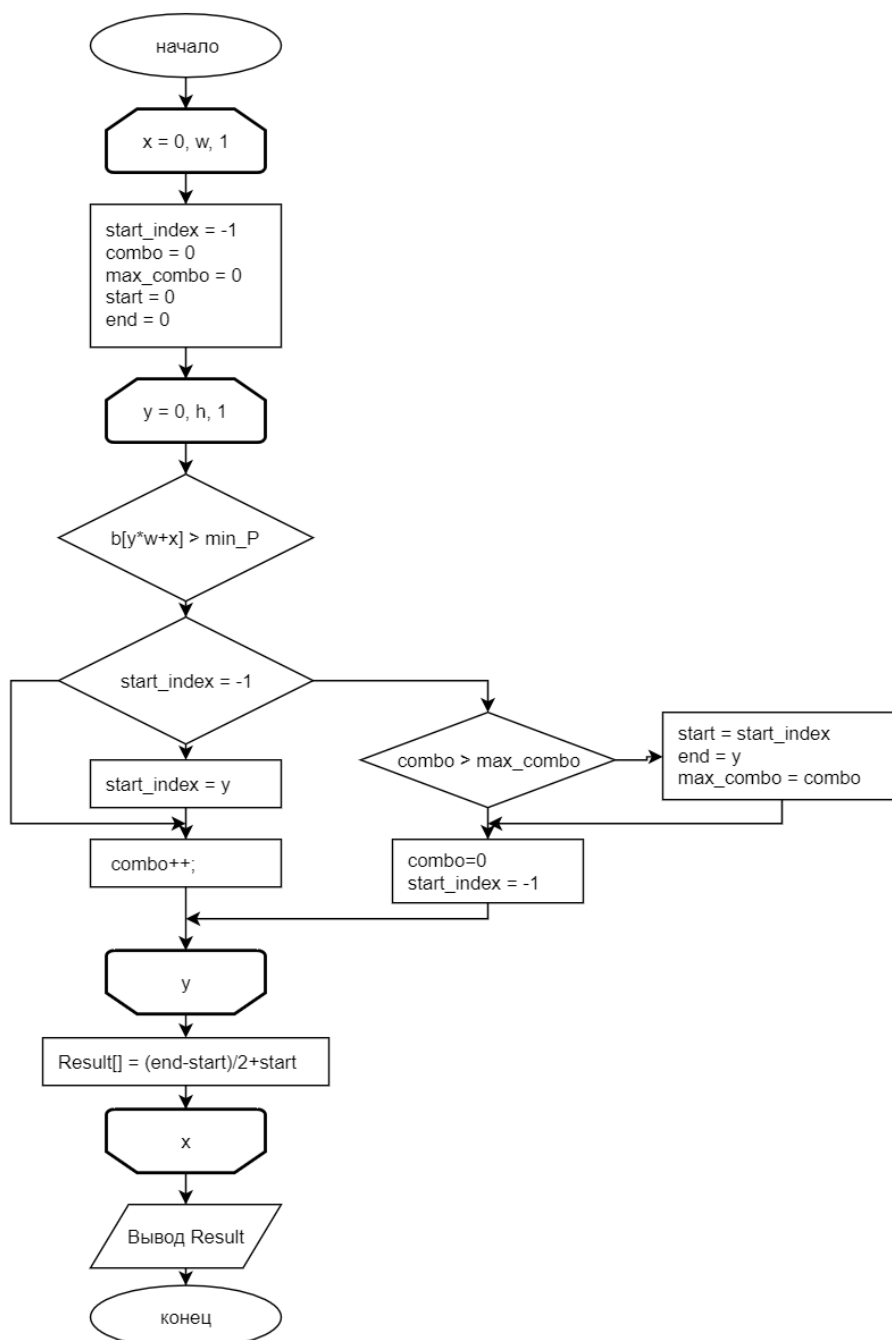


Рис. 6. Алгоритм выделения линии

Где:

start_index – позиция начала текущий белой полосы

start – позиция начала максимально длинной белой полосы

end – позиция конца максимально длинной белой полосы

combo – количество подряд идущих белых пикселей в текущей полосе

max_combo – максимальное количество подряд идущих белых пикселей

Result – результирующий массив, хранящий среднее значение самой длинной линии по вертикали

На выходе функции выделения линии получается массив длиной в ширину изображения, элементами которого является значение высоты для заданного уровня ширины. Структура которого представлена на рисунке 7.

Result ₁	Result ₂	...	Result _{width}
---------------------	---------------------	-----	-------------------------

Рис. 7. Представление массива Result в памяти

В результате выполнения данного алгоритма получаем табличную функцию профиля фотографируемой поверхности.

Далее надо будет найти угол отклонения между самой левой и самой правой точкой. Найденный угол будет углом наклона камеры к сварному шву. Затем полученную табличную функцию надо будет наклонить на нужный угол. Расстояние между резкими скачками это и есть геометрические параметры сварного соединения.

Литература

1. Орлов А. А., Астафьев А. В., Провоторов А. В. Методология и алгоритмы для автоматической двухступенчатой видео идентификации прокатных заготовок в промышленности. 10 (2013), стр. 53-57

2. Провоторов А. В., Орлов А. А., Астафьев А. А. Метод объединения результатов алгоритма локализации определения параметров штрих-код этикетки. 2015 Международной конференции "устойчивость и процессы управления" в память В. И. Зубова (УПП), 2015

3. Астафьев А. В., Провоторов А. В., Орлов А.А. Анализ визуального контроля процесса производства на промышленных предприятиях. Вестник НГУЭУ., 1 (2011), стр. 26-32

4. Астафьев А. В., Орлов А. А., "реализация и использование алгоритма цифровой локализации символов на основе анализа скорости изменения яркости", Современные проблемы. ТСМ. Эдука., вып. 6, нет. 44, 2012.