

УДК 681.3

## МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА АКТИВНЫХ КОНТУРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИНТЕРАКТИВНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК

Петров В.О., Привалов О.О.

*Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета, Камышин*

Подробная информация об авторах размещена на сайте

«Учёные России» - <http://www.famous-scientists.ru>

**Разработан модифицированный метод сегментации объектов на растровом изображении бракованной металлической отливки на базе алгоритма активных контуров. Метод реализован в базовом наборе функций интерактивной сегментации программного комплекса «Система распознавания и классификации дефектов металлических отливок по растровому изображению». Входной информацией является фотография бракованной металлической отливки. Выходная информация - растровый сегмент, содержащий изображение дефекта металлической отливки.**

Задача корректного выделения объектов интереса на растровом изображении является одной из важных составляющих автоматизированных систем распознавания и анализа образов. Универсальных способов выделить интересующий фрагмент изображения, без знания особенностей прикладной задачи, до настоящего момента не выявлено. Поэтому разработано множество алгоритмов сегментации растровых изображений, позволяющих с определённой степенью качества решить задачу интерактивного выделения объектов на изображении. Следует отметить, что каждый из этих алгоритмов качественно решает задачу только для определённо-

го класса изображений, поэтому автоматизированный анализ нового класса изображений диктует необходимость разработки новых или модернизации существующих алгоритмов сегментации.

В качестве одного из алгоритмов авторами предлагается модернизированный метод активных контуров [1].

Суть классического алгоритма заключается в нахождении оптимума между «силами», «сдавливающими» и «распирающими» искомый контур, ограничивающий сегмент растрового изображения.

Под активным контуром понимается изменяемый контур, который состоит из  $n$  точек в двумерном пространстве:

$$V = \{v_1, \dots, v_n\}, \text{ где } v_i = (x_i, y_i), i = \{1, \dots, n\}$$

Каждая точка контура итеративно подходит к границе объекта, решая задачу минимизации критерия. Для каждой точки, близкой к вершине  $v_i$  считается значение  $E_i$ :

$$E_i = a \cdot E_{\text{int}}(v_i) + b \cdot E_{\text{ext}}(v_i)$$

где  $E_{\text{int}}(v_i)$  – энергетическая составляющая, зависящая от формы контура

$E_{\text{ext}}(v_i)$  – энергетическая составляющая от свойств изображения, таких как градиент

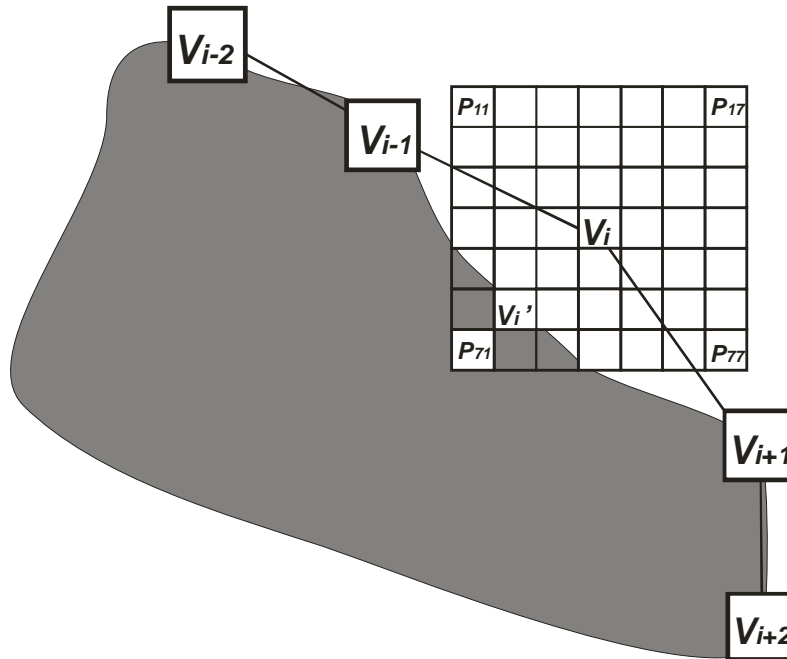
$a, b$  – весовые коэффициенты, обеспечивающие вклад каждой из энергий в общее уравнение критерия.

$E_i, E_{\text{int}}, E_{\text{ext}}$  – квадратные матрицы. Значение в центре каждой из матриц энергии

соответствует энергии в точке  $v_i$  (i-й вершины контура). Остальные значения в матрицах энергии соответствуют энергии в каждой точке, находящейся в окружении  $v_i$ .

Каждая вершина  $v_i$  потенциально может перейти в любую точку  $v_i'$ , соответ-

ствующей минимальным значением энергии  $E_i$ . Этот процесс изображен на рисунке 1. Если энергетическая функция настроена корректно, вершины контура  $V$  итеративно перемещаются и останавливаются вблизи границ объекта.



**Рис. 1.** Визуализация эффекта выбора оптимальной точки на текущем шаге итерации из множества точек  $E$

Внутренняя энергия  $E_{int}$  рассчитывается по формуле:

$$a \cdot E_{int}(v_i) = c \cdot E_{con}(v_i) + d \cdot E_{bal}(v_i)$$

где:  $a, c, d$  – весовые коэффициенты

Внутренняя энергия  $E_{int}(v_i)$  состоит из двух составляющих: энергии контура  $E_{con}(v_i)$  (сглаживающая составляющая) и распирающей контур энергии  $E_{bal}(v_i)$ .

Сглаживающую энергию замкнутого контура ( $E_{con}(v_i)$ ) можно вычислить:

$$e_{jk}(v_i) = \frac{1}{l(V)} \left\| p_{jk}(v_i) - \gamma(v_{i-1} + v_{i+1}) \right\|^2$$

$$\gamma = \frac{1}{2 \cos\left(\frac{2\pi}{n}\right)}$$

$$l(V) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\| v_{i+1} - v_i \right\|^2$$

где:  $p_{jk}(v_i)$  – точки  $(x, y)$ , которые соответствуют точкам на изображении в матрице энергии.

$n$  – число точек в контуре  
 $e_{jk}$  – элементы матрицы энергии

Данная составляющая ( $E_{\text{con}}$ ) стягивает контур и не позволяет отдельным вершинам сильно отделяться от остальных. Если объект выделения округлый, то весовой коэффициент при этой энергии следует сделать увеличивать относительно значений других коэффициентов.

Минимальное значение в матрице сглаживающей энергии  $E_{\text{con}}(v_i)$  будет соответствовать значению  $p_{jk}(v_i)$ , максимально близкой к идеальной окружности, проходящей через две соседние вершины контура  $v_{i-1}$  и  $v_{i+1}$  (рисунок 2).

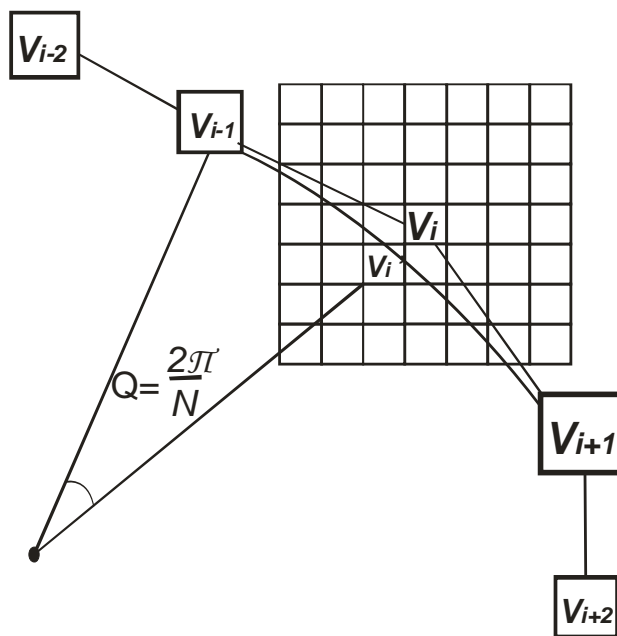


Рис. 2. Сглаживающая составляющая

Распирающая энергия ( $E_{\text{bal}}(v_i)$ ) заставляет контур деформироваться в одном направлении. На рисунке 3 изображено влияние энергии  $E_{\text{bal}}(v_i)$ .

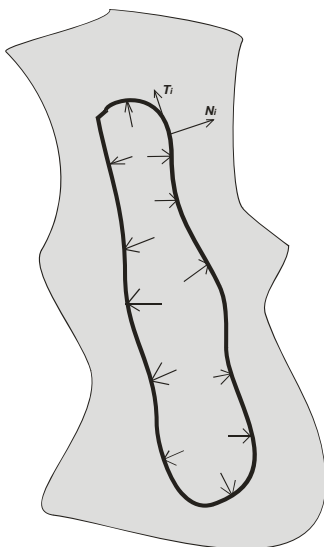


Рис. 3. Энергия, деформирующая контур в одном направлении.

Элементы матрицы данной энергии рассчитываются по формуле:

$$e_{jk}(v_i) = n_i \cdot (v_i - p_{jk}(v_i))$$

где  $n_i$  – единичный вектор нормали к контуру  $V$   
 $p_{jk}(v_i)$  – точки  $(x,y)$ , которые соответствуют точкам на изображении в матрице энергии.  
 $e_{jk}$  – элементы матрицы энергии

Вектор  $n_i$  может быть найден поворотом вектора  $t_i$  на 90 градусов:

$$t_i = \frac{v_i - v_{i-1}}{\|v_i - v_{i-1}\|} + \frac{v_{i+1} - v_i}{\|v_{i+1} - v_i\|}$$

Внешняя энергия рассчитывается по формуле:

$$b \cdot E_{ext}(v_i) = m \cdot E_{mag}(v_i) + g \cdot E_{grad}(v_i)$$

где:  $b, m, g$  – весовые коэффициенты

Внешняя энергия  $E_{ext}(v_i)$  также состоит из двух составляющих: энергии изображения и энергии градиента.

Матрица энергии изображения состоит из значений яркости изображения:

$$e_{jk} = I(p_{jk}(v_i))$$

где  $I(p_{jk}(v_i))$  – функция яркости в точке  $p_{jk}(v_i)$ .

Матрица энергии градиента вычисляется по формуле:

$$e_{jk}(v_i) = -\left| \frac{\partial I(p_{jk}(v_i))}{\partial x} \right|$$

где  $\frac{\partial I(p_{jk}(v_i))}{\partial x}$  – функция градиента изображения (первой производной по яркости).

Использование предлагаемого алгоритма при решении задачи сегментации растровых изображений дефектов металлических отливок выявили ряд ограничений накладываемых на анализируемое изображение. К примеру, если объект не имеет четких границ, или площадь не однородна и содержит плавные градиенты, то алгоритм не решит задачу сегментации корректно, что приведёт к невозможности дальнейшего автоматизированного анализа. К тому же дискретная структура исходных данных (растровое изображение) искажает значение энергии разности ( $E_{bal}$ ) в случае значительных изменений. Нормаль вектора касательной у точки может сильно изменяться в направлении, что может повлечь слияние точек. От этого контур может получиться грубым и сильно отличаться от границ выделяемого объекта.

Предлагается способ модификации алгоритма активных контуров для задачи сегментации изображения дефектов металлических отливок.

Выделим некоторые особенности прикладной задачи. Во-первых, объекты интереса на изображении могут и не иметь ярко выраженных границ. Во-вторых, преобладает монотонная текстура, что позволяет использовать статистические характеристики при выделении. К другим особенностям прикладной задачи можно отнести: объекты достаточно рассредоточены по растровой поверхности (обособлены), отличны по цветояркостным характеристикам и, как правило, имеют округлые формы.

В качестве основы модифицированного метода активных контуров выступает классический вариант алгоритма[1]. Для устранения проблемы выделения объектов с нечетким контуром вводится новая энергия ( $E_{bright}$ ), которая не дает разрастись контуру за границы, превышающих сред-

ную яркость выделенной поверхности. С каждым следующим шагом итерации значение средней яркости пересчитывается. Максимальное значение в матрице энергии  $E_{\text{bright}}$  присваивается точке, схожей по яркости со средним значением.

Для более качественного и равномерного выделения объекта предлагается перераспределять позиции вершин контура  $V$  после каждого шага итерации.

В качестве альтернативы энергии разноса контура, расчет которого основывается на повороте вектора касательной на 90 градусов, вводится энергия  $E_{\text{bomb}}$ . Максимальное значение в матрице энергии соответствует максимальному расстоянию точки  $p_{jk}(v_i)$  от центра масс фигуры (рис. 4).

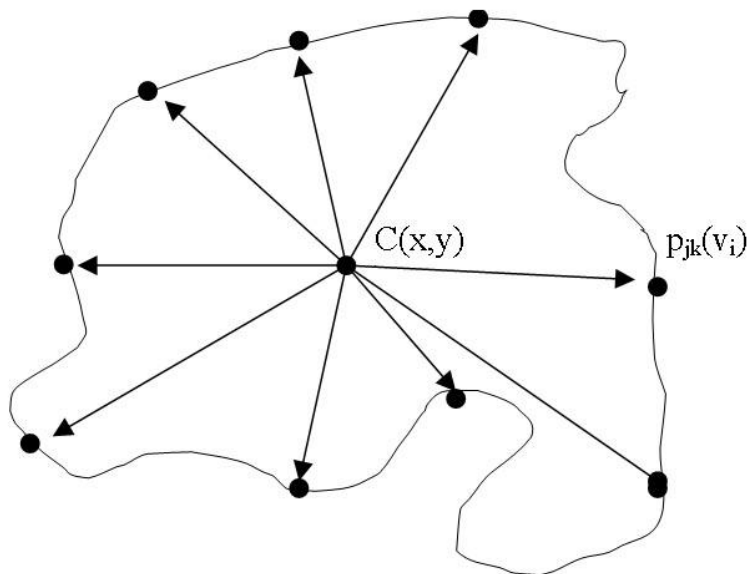


Рис. 4. Энергия разноса контура  $E_{\text{bomb}}$

Эксперименты показали, что классический алгоритм активных контуров менее подходит под особенности текущей прикладной задачи, описанные выше.

Дефекты могут иметь сложные цветояростные характеристики. Это провалы (тени), блики и не четкости границ. Модифицированный метод активных контуров позволяет выделить интересующие области.

Таким образом, предлагается модернизированный метод активных контуров для решения задачи сегментации растровых изображений дефектов металлических отливок. Суть модернизации заключается в том, что авторами были предложены новые «энергии», влияющие на деформацию контура. Это «энергия» разрастания контура в одном направлении  $E_{\text{bomb}}$  и «энергия»  $E_{\text{bright}}$ , которая не дает разрастись кон-

туру за границы, превышающих среднюю яркость выделенной поверхности. Также предложено перераспределять позиции вершин контура для равномерного разрастания и принятия формы выделяемого объекта.

Метод реализован в базовом наборе функций интерактивной сегментации программного комплекса «Система распознавания и классификации дефектов металлических отливок по растровому изображению».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kaas M., Witkin A., Terzopoulos D. Snakes: Active Contour Models. // Int. Journal of Computer Vision. - 1987, N1, p.312-331.

**THE MODIFICATION OF ACTIVE CONTOUR ALGORITHM FOR THE  
INTERACTIVE SEGMENTATION OF THE RASTER IMAGES OF FOUNDRY  
DEFECTS**

Petrov V.O., Privalov O.O.

*Kamyshin technological institute (branch) of Volgograd state technical university, Kamyshin*

Modified method of segmentation of objects on the raster image of foundry defects on the basis of the active contour algorithm is developed. The method is developed in a base set of functions of interactive segmentation of a programming complex "The System of foundry defects discerning on raster image". The entrance information is the photo of foundry defect. The output information is a raster segment containing the image of foundry defect.