

УДК 519.8: 681.32

**С. И. Кормановский, к. т. н., доц.; Я. Г. Скорюкова, к. т. н., доц.;
О. П. Мельник, к. т. н., доц.**

СТРУКТУРНО-СВЯЗНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ: ВЫДЕЛЕНИЕ КОНТУРА И ФОРМИРОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ

В работе предложена структурно-связностная модель полутонового и бинарного изображения с целью использования ее в задачах выделения контура и формирования центра связности.

Ключевые слова: *пятноподобные изображения, распознавание, связность, геометрические признаки, контур изображения, центры тяжести и связности.*

Введение

При цифровой обработке изображений одной из главных задач является – распознавания. Существует множество методов распознавания. Один из них – структурный, предполагающий создание информационного пространства геометрических признаков [1].

Наиболее известные геометрические признаки, такие как периметр, площадь фигуры без дыр, площадь дыры, максимальное расстояние между внешними равнонаклоненными касательными и границами, расстояние в направлении между внешними равнонаклоненными касательными – диаметры Ферэ, число Эйлера, не всегда обеспечивают необходимую достоверность распознавания. Особенно это касается обработки пятноподобных полутоновых изображений, которые в процессе обработки преобразуются в бинарные и имеют сложную форму. Поэтому актуальной задачей является создание модели бинарного изображения, которая позволит определять признаки, соответствующие критериям простоты и информативности, и в совокупности с известными признаками повышает достоверность распознавания.

Предлагается новый обобщенный подход для определения признаков значительного класса двумерных бинарных изображений, который базируется на анализе контурных точек.

Связность как геометрический признак бинарного и полутонового изображения

Для количественной оценки признака связности можно использовать известное в литературе понятие «соседства» [2, 3]. Известно, что в квадратном растре возможна четырехсвязность, где соседними считаются элементы, которые примыкают к сторонам; восьмисвязность, где касающиеся в углах элементы также считаются «соседями». В дальнейшем будем использовать принцип восьмисвязности.

Единичный элемент $b(m,n)$ бинарной матрицы $B(M,N)$ является связанным, если хотя бы один из соседних с ним элементов $b(m,n+1)$, $b(m+1,n)$, $b(m+1,n+1)$, $b(m-1,n)$, $b(m,n-1)$, $b(m-1,n-1)$, $b(m+1,n-1)$, $b(m-1,n+1)$ также является единичным, где m, n – координаты элемента b по строкам и столбцам, M – количество строк, а N – количество столбцов.

Связность $\delta^k(m,n)$ единичного элемента $b^k(m,n)$ в рамках данного бинарного изображения k - номера определяется суммой единичных элементов, которые с ним связаны, то есть:

$$\begin{aligned}\delta^k(m,n) &= b^k(m+1,n) + b^k(m-1,n) + b^k(m,n+1) + b^k(m,n-1) + \\ &+ b^k(m+1,n+1) + b^k(m-1,n-1) + b^k(m+1,n-1) + b^k(m-1,n+1), \\ \forall b^k(m,n) &= 1.\end{aligned}$$

Связность Δ_k бинарного изображения k - номера представляет собой сумму связностей его элементов (или половину суммы) и определяется формулой:

$$\Delta^k = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \delta^k(m, n) / 2.$$

Эта интегральная величина характеризует бинарное изображение и по своей информативности не уступает другим геометрическим признакам, а в совокупности с ними может быть использована для повышения достоверности распознавания.

Представим полутоновое изображение в виде матрицы A^0 , состоящей из совокупности элементов (или пикселей) изображения $a(m, n)$, где $m=1, \dots, M$, а $n=1, \dots, N$:

$$A^0 = \begin{pmatrix} a(1,1) & a(1,2) & \dots & a(1,N) \\ a(2,1) & a(2,2) & \dots & a(2,N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a(M,1) & a(M,2) & \dots & a(M,N) \end{pmatrix}.$$

Значения элементов $a(m, n)$ ограничены условием: $0 < a(m, n) < C$, где C – максимально возможная яркость, и принадлежат областям целых положительных чисел.

Представим полутоновое изображение в виде математической структурной модели как совокупность k бинарных изображений соответствующих уровней яркости:

$$A(M, N) = \bigcup_{k=1}^K B^k(M, N).$$

Причем элементы каждой из бинарных матриц вычисляются по правилу:

$$b^k(m, n) = \begin{cases} 1, & \text{если } a^k(m, n) = c_k \\ 0, & \text{если } a^k(m, n) \neq c_k \end{cases}.$$

Тогда, определив связность Δ^k каждого бинарного изображения, можно сформировать ряд значений связности, который будет характеризовать полутоновое изображение. Полученные результаты могут быть представлены в виде функции:

$$\Delta(k) = \Delta^1, \Delta^2, \dots, \Delta^{k-1}, \Delta^k, \Delta^{k+1}, \dots, \Delta^K.$$

Использование структурно-связностной модели бинарного изображения для задач выделения контуру

Некоторые задачи обработки и анализа изображений предусматривают выделение контура бинарного изображения для его дальнейшего использования в задачах распознавания та классификации. Используем предложенный признак связности для вышеуказанной задачи. Пускай входное изображение представлено матрицей $B^0(M, N)$, элементы $b^0(m, n)$ которой принимают значения нуля (фон) или единицы (изображения).

1. Представим элементы бинарного изображения $B^0(M, N)$ значениями собственных связностей с соседними элементами, то есть вместо единичного элемента изображения записывается значения его связности. Будем называть такую модель изображения $Z(M, N)$ связностным изображением:

$$z(m, n) = \begin{cases} \delta^k(m, n), & \text{если } b^0(m, n) = 1, \\ 0, & \text{если } b^0(m, n) = 0. \end{cases}$$

2. Определяется стартовая точка на связностном изображении. Это может быть любая точка принадлежащая контуру. Она используется как первая ненулевая точка при последовательном просмотре изображения. Ей присваивается метка контура. То есть: если $z(m, n) \neq 0$, то $z(m, n)$ – стартовая и соответственно формируется матрица контурного изображения $B^1(M, N)$: $b^1(m, n) = 1$.

3. Анализируются значения точек, которые граничат со стартовой. Среди них выбирается соседняя минимальная по значению ненулевая точка.

$$z_{\min} = \min\{z(m-1, n), z(m+1, n), z(m-1, n-1), z(m, n+1), z(m+1, n-1), z(m-1, n+1), z(m, n-1), z(m+1, n+1)\}.$$

Ей также присваивается метка контура и осуществляется переход.

4. Далее рассматриваются точки, которые граничат с новой точкой. Среди них выбирается соседняя минимальная по значению ненулевая точка и за исключением предыдущей.

Пункт 4 повторяется до тех пор, пока в соседние точки не попадет стартовая. То есть контур замкнется. Процесс выделения завершен. На рис. 1 представлен пример работы этого метода.

$B^0(10,10)$										$Z(10,10)$									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4	5	5	4	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	3	6	7	8	8	5	5	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	5	8	7	5	4	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	8	6	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	6	8	6	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	6	8	7	6	5	4	2	0
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	3	6	7	8	6	4	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$B^1(10,10)$									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 1. Пример работы метода выделения контура бинарного изображения по признаку связности: $B^0(10, 10)$ – входное изображение, $Z(10, 10)$ – связностное изображение, $B^1(10, 10)$ – контурное изображение

В таком случае связностное изображение $Z(M, N)$, которое определяется правилом 3, является структурной моделью входного бинарного изображения. Для данного метода разработан алгоритм и написана программа на языке программирования С.

Формирование центра связности контурных изображений

В основу метода определения связности заложена цифровая модель, полученная на базе расчета точек прямоугольного растра, поля непрерывного изображения [4]. Метод основывается на способе уравновешенных сумм связности [5, 6]. В исследованиях использованы бинарные изображения в виде плоских геометрических фигур в декартовой системе координат. Дискретные элементы контурного изображения имеют логические

признаки, которые принимают значения 1 либо 0 и определяются из условия принадлежности линии контура (рис. 2).

Первоначально определяется сумма связности всех элементов, имеющих значения 1 (рис. 3), потом связность каждого элемента 0 с элементами 1 (рис. 4). Далее изображения смещаются, и вычисляется сумма всех элементов, а бинарного изображения отдельно по горизонтали и вертикали (рис. 5). Методом уравнивания определяется равенство сумм связности по вертикали и горизонтали. Полученные таким образом две взаимно перпендикулярные линии формируют координаты центра связности (рис. 6).

0	1	1	1	0
1	1	0	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	1	1	1	0

Рис. 2. Контурное представление изображения

	3	3	3	
3	4		4	3
3				4
3			4	3
2	3	3	3	

Рис. 3. Связность единичных элементов

	1	1	1	
1	1	5	1	1
1	4	3	5	1
1	5	4	1	1
1	1	1	1	

Рис. 4. Связность нулевых элементов

	3	3	3	
3	4	5	4	3
3	4	3	5	4
3	5	4	4	3
2	3	3	3	

Рис. 5. Связность совмещённых единичных и нулевых элементов

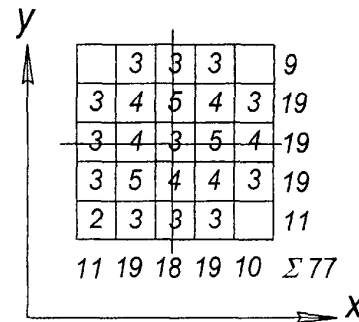


Рис. 6. Формирование центра связности изображения

На основе вышерассмотренного метода построена математическая модель уравнивания полученных элементов бинарного изображения.

Обозначим через $a_{i,j}^1$ – связность единичного элемента i, j , а через $a_{i,j}^0$ – связность нулевого элемента i, j . Уравнивание по столбцам и строкам должно удовлетворять такой системе условий:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{u_j^*} (a_{i,j}^1 + a_{i,j}^0) = \sum_{i=u_i^*+1}^N (a_{i,j}^1 + a_{i,j}^0), & u_j^* \in \{1, 2, \dots, N\} \\ \sum_{j=1}^{u_i^*} (a_{i,j}^1 + a_{i,j}^0) = \sum_{j=u_j^*+1}^N (a_{i,j}^1 + a_{i,j}^0), & u_i^* \in \{1, 2, \dots, N\} \end{cases}$$

Таким образом, используя операцию обобщенного контурного препарирования и операцию уравнивания по столбцам и строкам, можно сформировать простые признаки для распознавания контурных изображений.

Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование центра связности изображения

Алгоритм определения центра связности основан на методе уравнивания сумм связности с использованием принципа дихотомии. На рис. 7, 8 показано формирование центра связности пятноподобных изображений, не имеющих оси симметрии. На базе полученного алгоритма была создана прикладная программа, позволяющая исследовать изображения в виде произвольных плоских контуров путем наложения на них прямоугольной сетки с переменным шагом, и определять координаты центра связности исследуемого контура [6]. Программа имеет несколько функциональных блоков, таких как графический редактор, расчетно-аналитический блок, блок записи и считывания сформированного изображения. Встроенный графический редактор позволяет чертить, корректировать изображения, изменять шаг координатной сетки на готовом изображении и выполняет ряд других функций. Расчетно-аналитический блок сканирует поле плоского контура, определяя положение каждой ячейки, а потом связность элементов со значениями 1 и элементов со значениями 0. Потом определяются суммы связности по вертикали и горизонтали и, наконец, размещение центра связности относительно контура и его координаты в заданной системе отсчета. Блок считывания и записи позволяет сохранить сформированное изображение и продолжить работу с ним через некоторое время.

С помощью разработанной программы исследовано 500 плоских геометрических фигур с замкнутым контуром на предмет зависимости положения центра связности от шага сетки и ориентации плоского контура.

Были исследованы три группы изображений:

1. Изображения, не имеющие оси симметрии.
2. Изображения, имеющие одну ось симметрии.
3. Изображения, имеющие две оси симметрии.

У изображений, имеющих одну ось симметрии, центр тяжести и центр связности находятся на оси симметрии. На рис. 7 показан пример изображения, имеющего координаты центра тяжести O_g : $x=35$, $y=39,279$; координаты центра связности O_{zg} : $x=35$, $y=37,8$.

У изображений, имеющих две оси симметрии, центр тяжести и центр связности совпадают и находятся в точке пересечения осей симметрии. На рис. 8 показан пример изображения, у которого координаты центра тяжести та же координаты центра связности совпадают: $O_g = O_{zg}$: $x=35$, $y=37,651$.

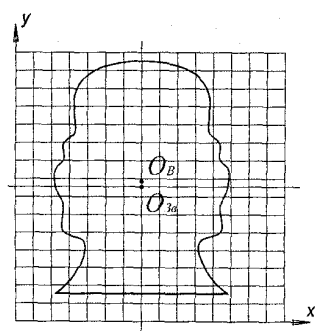


Рис. 7. Изображение с одной осью симметрии:
 O_g – центр тяжести,
 O_{zg} – центр связности

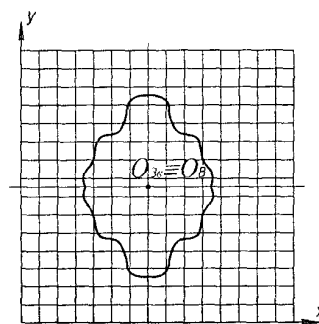


Рис. 8. Изображение с двумя осями симметрии

На рис. 9 показаны контуры пятноподобных изображений лазерных трасс с центрами связности, не имеющих оси симметрии.



Рис. 9. Контуры пятноподобных изображений с центрами связности

Исследование пятноподобных изображений лазерных трасс показали, что центр связности находится внутри контура изображения.

Экспериментальное исследование зависимости центра связности от шага сетки показали, что центр связности чувствителен к смене шага сетки (рис. 10).

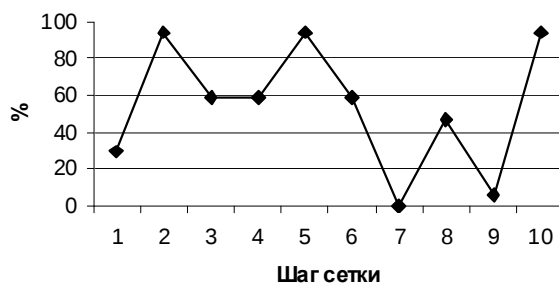


Рис. 10. График зависимости центра связанности от шага сетки

Из графика видно, что наивысшая точность определения центра связности достигается при шагах сетки 2, 5 и 10.

При произвольном перемещении, повороте и масштабировании плоской фигуры положение центра связности относительно самой фигуры не изменяется, то есть координаты центра связности инвариантны аффинным преобразованиям.

У изображений, имеющих одну ось симметрии, центр тяжести и центр связности находятся на оси симметрии. У изображений, имеющих две оси симметрии, центр тяжести и центр связности совпадают и находятся в точке пересечения осей.

Выводы

1. Представленная модель позволяет повысить точность выделения контура в сравнении с известными методами за счет аппроксимации угловых элементов изображения. Наиболее целесообразно использование этой модели при обработке изображений, когда полутоновые изображения представлены совокупностью бинарных изображений, а так же, если значения связности элементов изображения уже вычислены при предварительной обработке. Структурно-связностная модель бинарного изображения может быть также использована для распознавания определенных геометрических форм объекта и классификации.

2. Структурно-связностная модель позволяет сформировать простые контурные геометрические признаки, к которым относится центр связности, расположенный в центре изображения и чувствительный к смене шага координатной сетки. Экспериментальные исследования показали, что наивысшая точность определения центра связности достигается при шаге сетки 2, 5 и 10.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Русын Б. П. Структурно-лінгвістическія метады распазнавання выяваў у рэальным часе / Русын Б. П. – К.: Наукова думка, 1986. – 126 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. / Прэтт У.; пер. с англ., / в 2-х кн. –М.: Мир, 1982., Ч. 1. – 310 с.; ч.2. – 790 с.
3. Тимченко Л. І. Сегментація зображень об'єктів за ознаками зв'язності для задач технічного зору / Тимченко Л. І., Скорюкова Я. Г., Тишківська В. О. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – № 2. – 2004. – С.70 – 72.
4. Функциональные элементы и устройства оптоэлектроники / Кожемяко В. П., Тимченко Л. И., Лысенко Г. Л., Кутаев Ю. Ф. – К.: УМК ВО, 1990. – 251 с.
5. Кормановський С. І. Підхід до визначення центру зв'язності зображення / Кормановський С. І., Швейкі Нафез, Тимченко Л. І. – Вісник ВПІ. – 2001. – № 4. – С. 71 – 73.
6. Кормановський С. І. Око-процесорна обробка та розпізнавання образної інформації за геометричними ознаками. Монографія / Кормановський С. І., Кожем'яко В. П. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 160 с.

Кормановский Сергей Иванович – к. т. н., доцент кафедры инженерной и компьютерной графики, e-mail: kormanovski@ukr.net.

Скорюкова Янина Германовна – к. т. н., доцент кафедры инженерной и компьютерной графики.

Мельник Ольга Петровна – к. т. н., доцент кафедры инженерной и компьютерной графики. Винницкий национальный технический университет.