

ОБ ОДНОМ ПРИМЕНЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

С. Ф. Марченко, В. Г. Червов

При анализе изображений геометрических фигур и, в частности, письменных знаков в задачах автоматического распознавания возникает необходимость выделения признаков, накладывающих незначительные ограничения на инвариантность их описаний к переносам, поворотам и другим изменениям в реальных шрифтах и рукописных знаках. В [2] рассматриваются биологические принципы выделения информативных признаков изображений геометрических фигур и составляются описания по характеристикам изломов внешней контурной линии машинописных знаков. Эти характеристики — количество линий, принадлежащих точке излома, — при описании соотносятся с начальной точкой отсчета, что позволяет получить однозначные описания анализируемых знаков. Начальная точка отсчета (НТО) определяется здесь, согласно психофизическим данным восприятия зрительной информации, как верхняя крайняя точка изображения.

В настоящей работе описывается способ определения НТО, позволяющий путем соотнесения с ней структурных признаков получать описания изображений письменных знаков, инвариантные масштабным преобразованиям, анизотропным, непропорциональным изменениям, переносу в поле зрения и поворотам в таких пределах, которые допускаются при узнавании человеком этих знаков без привлечения содержания читаемого текста. Этот способ позволяет автоматизировать операции определения НТО и составления описаний изображений письменных знаков средствами электроники и автоматики. Приведем

развернутую функциональную схему устройства, работающего по описанному алгоритму.

Для пояснения сути этого способа рассмотрим рис. 1 и определим некоторые понятия, которыми будем пользоваться в дальнейшем. Необходимую информацию о знаке будем получать из развертки его внешней контурной линии с помощью прослеживающих движений [3].

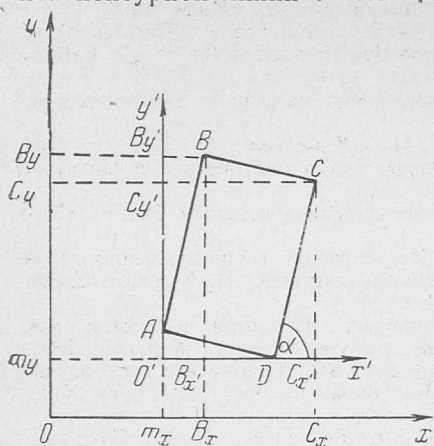


Рис. 1.

в точке O' (m_x, m_y). В дальнейшем все вычисления, кроме оговоренных случаев, будем производить в этой системе координат. При этом координаты точек контурной линии исследуемой фигуры станем называть для краткости собственными координатами.

Используя эти определения, будем находить начальную точку отсчета как точку излома с максимальным произведением ее собственных координат ($НТО_1$), если хотя бы в одной точке излома обе эти координаты не равняются нулю, или как точку контурной линии с максимальным произведением ее собственных координат ($НТО_2$), если в каждой точке излома хотя бы одна из собственных координат равняется нулю.

Так как контурная линия рассматриваемой фигуры имеет изломы и среди них есть точки без нулевых собственных координат (B и C), то $НТО$ будем искать в точке излома ($НТО_1$). Для данного положения фигуры (рис. 1) такой точкой, очевидно, будет C , так как из построения видно, что произведение ее собственных координат (площадь прямоугольника $O'C_y'C_x'$)

$$N_c = (C_x - m_x)(C_y - m_y) = C_x' C_y' \quad (2)$$

больше произведения собственных координат точки B (площадь прямоугольника $O'B_y' B_x'$)

$$N_b = (B_x - m_x)(B_y - m_y) = B_x' B_y', \quad (3)$$

а произведения собственных координат в точках A и D равны нулю. Таким образом, для данного положения фигуры имеет место неравенство

$$\frac{N_c}{N_b} > 1. \quad (4)$$

Очевидно, что $НТО$ будет находиться в точке C при различных преобразованиях фигуры, ее переносах и вращениях до тех пор, пока сохраняется соотношение (4). Найдем эти условия путем решения не-

Определим собственную систему координат исследуемой фигуры, для чего найдем точки ее контурной линии с минимальными расстояниями m_x и m_y до соответствующих осей декартовой системы координат, в которой фигура может иметь произвольное положение

$$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ. \quad (1)$$

Очевидно, что для данного положения фигуры $ABCD$ (рис. 1), такими точками будут D и A , имеющие минимальные расстояния до осей x и y соответственно. Линии, проведенные параллельно соответствующим осям через эти точки, образуют собственную систему координат с центром в

равенства (4) и раскрытия содержания входящих в него величин. Запишем значения величин, входящих в соотношения (2) и (3):

$$C_{x'} = CD \cos \alpha + AD \sin \alpha; \quad C_{y'} = CD \sin \alpha; \quad (5)$$

$$B_{x'} = AB \cos \alpha; \quad B_{y'} = AB \sin \alpha + AD \cos \alpha.$$

Обозначим для краткости записей $AB = CD = b$, $AD = BC = a$ и, подставляя соотношения (5) в выражения (2) — (4), найдем условия существования неравенства (4)

$$\frac{N_c}{N_b} = \frac{(b \cos \alpha + a \sin \alpha) b \sin \alpha}{(b \sin \alpha + a \cos \alpha) b \cos \alpha} > 1,$$

откуда получим неравенство

$$\sin \alpha \cos \alpha + a \sin^2 \alpha > \sin \alpha \cos \alpha + a \cos^2 \alpha,$$

преобразуя которое, получим

$$a(\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha) > 0 \quad \text{или} \\ a \cos 2\alpha < 0. \quad (6)$$

Величина a , входящая в выражение (6), всегда положительна и на характер этого соотношения не влияет. Тогда это неравенство имеет место при условии

$$90^\circ < 2\alpha < 270^\circ \quad \text{или} \quad 45^\circ < \alpha < 135^\circ. \quad (7)$$

Из соотношений (1) и (7) вытекает неравенство

$$45^\circ < \alpha < 90^\circ. \quad (8)$$

Таким образом, положение НТО₁ не изменится при наклонах исследуемой фигуры от 45 до 90° к осям координат.

Рассмотрим изменение положения НТО₁, если угол $\alpha > 90^\circ$ (рис. 2):

$$90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ. \quad (9)$$

В этом случае оси собственной системы координат будут привязаны к точкам A и B фигуры. Для данного положения фигуры целесообразно исследовать неравенство

$$\frac{N_c}{N_d} > 1, \quad (10)$$

где
$$N_d = (D_x - m_x)(D_y - m_y) = D_x' D_y'.$$

При таком положении фигуры $N_b = 0$ и неравенство (4) выполнимо до тех пор, пока ось y' привязана к точке B .

Запишем соотношения для величин N_c и N_d , вытекающие из построений на рис. 2,

$$N_c = C_x' C_{y'} = a \sin \alpha (b \sin \alpha - a \cos \alpha), \quad (11)$$

$$N_d = D_x' D_{y'} = (b \cos \alpha - a \sin \alpha) a \cos \alpha.$$

Подставляя соотношения (11) в неравенство (10), найдем условия, при которых сохраняется последнее:

$$\frac{N_c}{N_d} = \frac{a \sin \alpha (b \sin \alpha - a \cos \alpha)}{(b \cos \alpha - a \sin \alpha) a \cos \alpha} > 1.$$

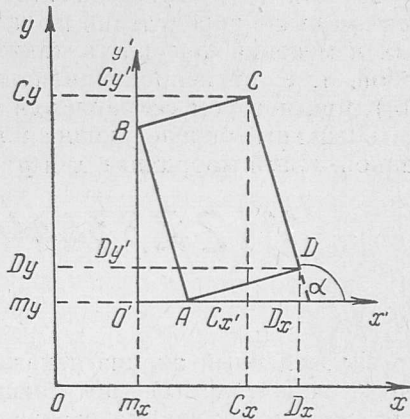


Рис. 2.

Раскрывая это выражение и решая неравенства, получим

$$b \cos 2\alpha < 0. \quad (12)$$

Величина b всегда положительна и не влияет на характер неравенства (12). В этом случае данное неравенство выполняется при условии (7). Из соотношений (7) и (9) следует

$$90^\circ \leq \alpha < 135^\circ. \quad (13)$$

Тогда из неравенств (8) и (13) вытекает соотношение

$$45^\circ < \alpha < 135^\circ. \quad (14)$$

Таким образом, НТО₁ будет сохранять свое положение в точке C при поворотах фигуры на угол, определяемый соотношением (14). Из неравенств (6), (12) и (14) следует также, что положение НТО при данном выше определении не зависит от величин a и b , т. е. от масштабных изменений фигуры, а также от соотношения этих величин между собой, т. е. от непропорционального изменения ее сторон. В условии (14), при котором сохраняются соотношения (4) и (10), не входят также величины, определяющие положение фигуры на плоскости, образованной осями координат x и y (рис. 1—2).

1112233444566778889900

Рис. 3.

Проведенный анализ показывает, что признак начальной точки отсчета, определяемый по максимальному произведению собственных координат точек излома контурной линии фигуры (НТО₁), инвариантен положению в декартовых координатах, масштабным преобразованиям фигуры, непропорциональному изменению ее сторон и поворотам на угол $\pm 45^\circ$ относительно первоначально выбранного вертикального положения.

Способ нахождения начальной точки отсчета для случая, когда все изломы лежат на осях собственной системы координат (НТО₂), отличается от предыдущего только тем, что точка с максимальным произведением собственных координат определяется независимо от других признаков контурной линии изображения (специальные расчеты для этого случая здесь не приводятся).

Покажем, как можно использовать признак начальной точки отсчета для анализа машинописных или написанных от руки письменных знаков, которым предъявляются незначительные требования к стилизации: отсутствие разрывов линии знака, нормализация толщины этой линии и сохранение тех изломов, по которым было составлено эталонное описание. Запишем коротко последовательность операций, позволяющих выделять признаки и составлять описания, адекватные задаче распознавания, для изображений цифровых знаков различного типа написания (рис. 3).

1. Определяется собственная система координат исследуемой фигуры.

2. Определяется наличие изломов. Если изломы отсутствуют, то анализ прекращается при возвращении в одну из точек с минимальным значением собственных координат.

3. Если изломы существуют и хотя бы один из них лежит на одной из осей собственной системы координат, определяется НТО₁.

4. Если изломы существуют и все они лежат на осях собственной системы координат, то определяется НТО₂.

5. Осуществляется анализ признаков и составляется описание изображения, началом которого служит признак НТО.

6. Заканчивается описание при получении необходимой информации об изображении или при возвращении в НТО.

Кроме признака НТО, для описания изображений, как в [2], будут использоваться характеристики изломов — количество линий, пересекающихся в этой точке. Если эти характеристики фиксировать в той последовательности, в какой они встречаются при обходе против часовой стрелки, начиная с НТО, то получим следующие описания:

$$\begin{array}{ll} A_1 = (113; 113, 133; 113, 133) & A_6 = (13; 14, 41) \\ A_2 = (121; 441, 144) & A_7 = (221; 2124) \\ A_3 = (311, 111; 2122) & A_8 = (33; 4; 241) \\ A_4 = (124, 141, 142; 224; 131) & A_9 = (31; 31) \\ A_5 = (122) & A_0 = (222; 0). \end{array}$$

Эти описания — неполные и составлялись по группам: для единиц, двоек, троек и т. д. Последовательность описаний в группе соответствует расположению вариантов написания знака на рис. 3. Если один знак в группе имеет несколько описаний, то они отделяются друг от друга запятой, остальные — точкой с запятой.

На рис. 3 представлены только характерные варианты написаний знаков. Так как для их описаний использовались топологические признаки, то инвариантность этих описаний геометрическим преобразованиям изображений знаков ограничивается только признаком НТО. Из приведенных выше расчетов определения НТО следует, что этот признак накладывает ограничения только на повороты изображений. Для знаков, имеющих в верхней части прямые горизонтальные участки контурной линии, инвариантность описаний не нарушится при поворотах знаков на $\pm 45^\circ$ относительно их нормального вертикального положения. Для знаков с другими характеристиками элементов контурных линий соответствующие расчеты в данной статье не приводятся. Однако можно сказать, что для этих знаков допустимы повороты на углы больше $\pm 45^\circ$, а примерно для половины из них — на 360° .

Автоматический анализ изображений знаков по описанному выше алгоритму осуществляется на модели пространственного анализатора [3]. Развернутая функциональная схема используемых для этого узлов приведена на рис. 4.

Анализируемое изображение преобразуется блоком 1 в электрический сигнал. С выхода *a* этого блока снимается сигнал, характеризующий функциональную зависимость между координатами точек контурной линии $y = f(x)$. С выходов *b* и *c* снимаются сигналы $x = x(t)$ и $y = y(t)$, характеризующие изменения координат точек контурной линии во времени. Блоки 3 и 5 определяют минимальные значения этих координат m_x и m_y . Блоки 6 и 7 определяют значения собственных координат $x' = x - m_x$ и $y' = y - m_y$ анализируемой фигуры. Блок 8 выявляет наличие изломов контурной линии. Блок 2 вырабатывает сигналы о числе прохождений точек с минимальными координатами. Если на его выходе появляется сигнал и блок 8 не выявляет изломов, то блок 12 пропускает сигнал с выхода *a* на вход блока 16, осуществляющего анализ и измерение данных. В результате анализа в этом блоке происходит выделение признаков, характеризующих изображение.

Если контурная линия анализируемого изображения имеет изломы, то сигнал об этом из блока 8 поступает в блок 9, выявляющий нулевые

координаты в точках изломов. Этот блок начинает работать только тогда, когда определена собственная система координат анализируемой фигуры. Сигнал об этом вырабатывается в блоке 4. Если есть изломы и в каждой такой точке ее собственные координаты равны нулю, то сигнал с выхода блока 9 обеспечивает открывание ключей 10 и 11 на все время анализа. Это делает возможным поступление сигналов с блоков 6 и 7 на множительное устройство 13, вырабатывающее сигналы, пропорциональные произведению текущих координат точек контурной линии изображения. Множительное устройство может работать по одному из принципов, описанных в [1]. Сигнал с выхода множительного устройства поступает на устройство 14, определяющее его максимальную величину, по которой находится положение НТО₂. При наличии такого сигнала на входе блока 16 анализ контурной линии осуществляется только в точках излома, так как соответствующий выход блока 8 связан также с одним из входов блока 16.

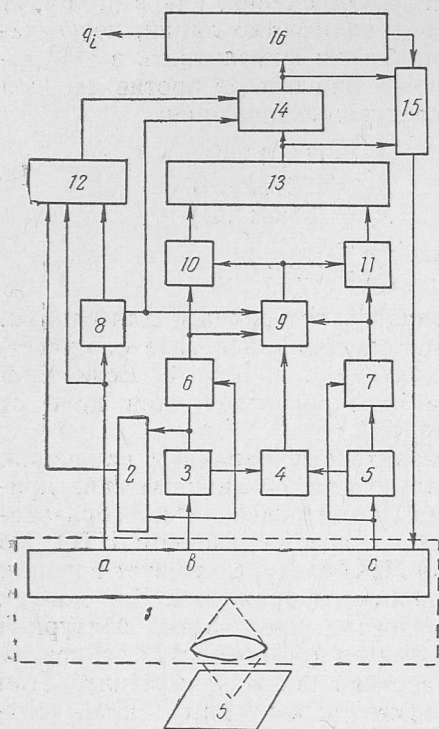


Рис. 4.

Если хотя бы один излом контурной линии не имеет нулевых координат, то блок 9 открывает ключи 10 и 11 только в моменты поступления сигнала о наличии излома из блока 8. В этом случае множительное устройство 13 вырабатывает сигналы, пропорциональные произведению координат точек изломов, а блок 14 выделяет теперь максимальный сигнал только из этой совокупности. При прохождении точки излома с максимальным произведением собственных координат на другой вход блока 16 поступает сигнал из блока 8, и начинается анализ характеристик изломов.

Для всех трех случаев анализ изображения прекращается при получении необходимой информации или при возвращении воспринимающего элемента блока 1 в начальную точку отсчета. Сигнал об этом вырабатывается в блоке конца анализа 15, поступает в блок 1, и дальнейшее преобразование данного изображения прекращается. Признаки, выделяемые блоком 16, можно использовать для сравнения с эталонными описаниями изображений геометрических фигур. Идентификация описания предъявленного изображения с одним из эталонных будет отвечать задаче его распознавания.

Таким образом, показана принципиальная возможность применения биологических принципов обработки информации, изложенных в [2, 4], для решения задачи автоматического анализа письменных знаков и получения описаний, адекватных задаче распознавания.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. В. Лагенько. Аналоговые множительные устройства. Гостехиздат УССР, Киев, 1963.

2. С. Ф. Марченко, В. Г. Червов. Выделение пространственных признаков изображений и кодирование знаковой информации. Сб. «Проблемы бионики», вып. 4. Изд-во ХГУ, Харьков, 1970.

3. С. Ф. Марченко. О структуре и функции пространственного анализатора. Сб. «Проблемы бионики», вып. 4. Изд-во ХГУ, Харьков, 1970.

4. В. Г. Червов, Ю. П. Бугай, С. Ф. Марченко. Некоторые способы преобразования информации в нервных клетках, исследованные на аналоговой модели нейрона. Тезисы докл. научно-техн. конференции, посв. Дню радио, Харьков, 1966.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ РЕОГРАММ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИХ НА ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

С. А. Пинчук, П. В. Волошин, Г. И. Белик

Среди современных методов исследования сердечно-сосудистой системы важное место занимает реография, которая позволяет исследовать состояние гемодинамики в различных, даже труднодоступных областях. Широкое распространение получили реоэнцефалография, реокардиография, реовазография, реография печени и легких. В эксперименте практически возможна реография любого органа или его части.

К настоящему времени предложено свыше десяти информативных параметров реографической волны, отражающих различные стороны гемодинамики. Для получения усредненных значений информативных параметров рекомендуется обрабатывать 3—5 находящихся рядом пульсовых кривых. Количество комплексов реограмм, подлежащих обработке, резко возрастает при учете не только фоновых кривых, но и кривых, полученных при различных функциональных пробах [1, 2].

Для решения топки сосудистых поражений головного мозга и раскрытия патофизиологических механизмов нарушения регионарной церебральной гемодинамики предложено около десяти отведений [3].

Следовательно, для углубленного реоэнцефалографического изучения состояния регионарной церебральной гемодинамики у одного больного необходимо обработать 50—80 реографических комплексов и оценить 5—10 информативных параметров для каждого комплекса, что требует не менее пяти часов ручной математической обработки. Естественно, что оперативно, наиболее точно и полно обработка и анализ реографических кривых могут быть выполнены на цифровых вычислительных машинах (ЦВМ).

Для эффективной обработки графической информации на ЦВМ важное значение имеет вопрос о представлении (аналитическом описании) реограмм. Классические методы аппроксимации графически заданных функций (Лагранжа, Ньютона, Гаусса, Фурье и др.) не удобны с точки зрения обработки и анализа реограмм на ЦВМ.

Так, методы Лагранжа и Ньютона, с одной стороны, не удобны из-за необходимости заранее задавать порядок интерполяционного многочлена, который в данном случае оказывается весьма большим, и, с другой стороны, наличие на реограммах участков плато и зубцов (негладкая кривая) исключает возможность использования этих методов для аппроксимации с необходимой точностью.

По той же причине не удобен и метод Гаусса (аппроксимация кривой многочленом с использованием метода наименьших квадратов): весьма затруднительно заранее задавать порядок аппроксимирующего многочлена, а точность аппроксимации при этом может оказаться неудовлетворительной.