

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК В СТРУКТУРЕ КОНТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КОНЦЕПТА РАСПОЗНАВАНИЯ

к.т.н. Ю.В. Паржин, к.т.н. А.А. Адаменко, Д.В. Гринёв
(представил д.т.н., проф. В.А. Краснобаев)

Рассматривается подход к процессу построения концепта распознавания контурных изображений в реальном времени, основанный на определении подструктур 1-го уровня вложенности с использованием разнородных критических точек.

Постановка проблемы и анализ литературы. К числу наиболее перспективных методов распознавания контурных изображений в реальном времени можно отнести структурные методы [1].

Одной из важных проблем, с которыми приходится сталкиваться при распознавании реальных контурных изображений, являются различные деформационные изменения их структур [2].

К деформационным изменениям относятся:

- добавление новых структурных элементов различного уровня общности по сравнению с эталонными (полученными в процессе обучения) структурами;
- изменение параметров структурных элементов;
- отсутствие в структуре распознаваемого изображения определенного класса распознавания структурных элементов, которые присутствуют в структурах эталонных (используемых в процессе обучения) изображений.

Целью данной статьи является рассмотрение подхода к процессу распознавания замкнутых контурных изображений на плоскости, устраняющего влияния различных деформационных изменений на результат распознавания.

Для определения структуры распознаваемого контурного изображения, зададим базисные направления ориентации X_1, X_2, X_3, X_4 . Данная система координат Ξ изображена на рис. 1, а. Представленный ортонормированный базис разбивает пространство E^2 на четыре квадранта. В каждом квадранте задается множество векторов $\bar{x}_1^\sigma, \bar{x}_2^\sigma, \dots, \bar{x}_n^\sigma$, пред-

ставленных на рис. 1, б. В процессе определения производных структурных элементов контура распознаваемого изображения при правом (левом) направлении обхода контура, начало координат 0 совмещается с началом структурного элемента изображения. В общем случае данные построения определяют ортогональное параллельное проектирование (Pr) структурных элементов a_{ij}^n структуры z_i^n распознаваемого изображения I_i на вектора \bar{x}_ξ^σ векторных пучков \bar{X}^σ , задающих γ -ое направления ориентации g_γ , $\gamma = (1, 4 \times n)$ в системе направлений ориентации Ξ при последовательной нумерации направлений ориентации данной системы в направлении обхода контура изображения [3]:

$$\text{Pr}: a_{ij}^n \rightarrow \bar{x}_\xi^\sigma.$$

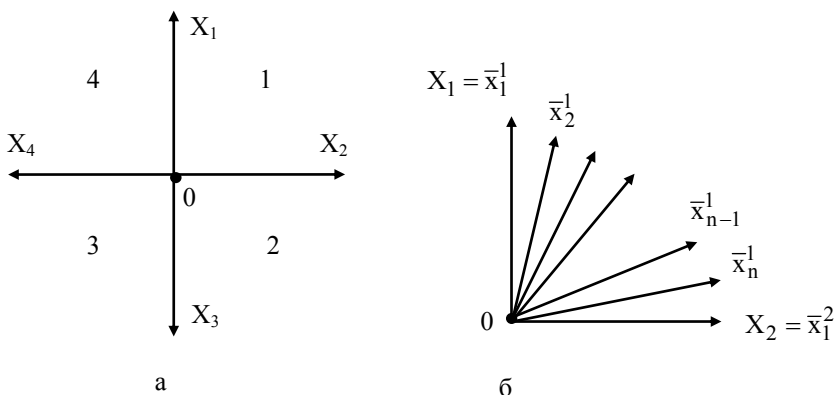


Рис 1. Система направлений ориентации Ξ

Определение 1. Значение функции $\text{Inv}_{\Xi}^m(a_{ij}^m) = g_\gamma$, определяющей отображение $a_{ij}^n \rightarrow g_\gamma$, называется структурным инвариантом элемента a_{ij}^n структуры z_i^n в системе Ξ .

Тогда

$$\text{Inv}_{\Xi}^n(z_i^n) = G_i^n; \quad G_i^n = \langle g, r, B \rangle,$$

где G_i^n – структура инвариантов m -го структурного уровня в системе Ξ ; g – множество направлений ориентации в данной системе; r – бинарные отношения, в которых находятся элементы множества A_i^n ; B – аксиомы

структуры, условиям которых удовлетворяют данные отношения [3].

Выделение структуры инвариантов G_i^n на структуре z_i^n позволяет осуществить устранение влияния аффинных преобразований типа гомотетий и поворотов на процесс распознавания изображения I_i .

Для устранения влияния деформационных изменений на процесс построения концепта замкнутого контурного изображения, определяющего класс распознавания, необходимо выявить подструктуры 1-го уровня вложенности. Любую вогнутую структуру, представляющую собой замкнутый контур реалистического изображения, можно представить в виде последовательности взаимосвязанных выпуклых подструктур внешних (левых) и внутренних (правых) относительно обобщенных направлений развития данных подструктур при правом обходе контура изображения. Наибольшая степень структурного обобщения этих подструктур проявляется при описании концепта данного изображения. В этом случае, данные подструктуры будут определяться как подструктуры 1-го уровня вложенности относительно концепта. Подструктуры 1-го уровня вложенности являются базовыми и служат для классификации объекта. Подструктуры 2-го и выше уровня вложенности служат для идентификации объекта.

Процесс представления структуры контурного изображения в виде подструктур 1-го уровня вложенности состоит из нескольких основных этапов, включающих в себя:

- определение разнородных структурных критических точек, которые характеризуют развитие структуры в целом;
- выделение структурных критических точек, определяющих формирование подструктур 1-го уровня вложенности;
- определение по структурным критическим точкам подструктур 1-го уровня вложенности.

Для нахождения внутренних подструктур разного уровня вложенности необходимо найти разнородные структурные критические точки, определяющие начало формирования новой подструктуры или продолжение развития уже выявленной подструктуры. Предположим, что процесс определения разнородных структурных критических точек начинается с обхода контура изображения от точки захвата и идет в правом направлении (по часовой стрелке).

Каждый структурный элемент a_{ij}^2 является отрезком, соединяющим две соседние точки контура изображения. Определяется род точки, являющейся конечной для структурного элемента a_{ij}^2 и начальной для следу-

ющего структурного элемента $a_{i,j+1}^2$. Для этого структурный элемент a_{ij}^2 сопоставляется с вектором \bar{x}_1^1 , которому ставится в соответствие единичное направление ориентации $g_\gamma = 1$ в относительной системе координат. На следующем шаге анализируется ориентация обобщенного направления развития структуры изображения $g_v^{об}$ на структурных элементах a_{ij}^2 и $a_{i,j+1}^2$ относительно $g_\gamma = 1$. В зависимости от расположения $g_v^{об}$ в правой либо левой полуплоскости системы координат Ξ' относительно \bar{x}_1^1 , определяются структурные критические точки 1-го и 2-го рода.

Определение 2. При правом обходе контура изображения точка пересечения структурного элемента a_{ij}^2 , имеющего направление $\bar{x}_1^1 \rightarrow g_\gamma = 1$, и структурного элемента $a_{i,j+1}^2$, имеющего направление $\bar{x}_1^\sigma \rightarrow g_\mu$, называется точкой 1-го рода t_j^1 , если вектор обобщенного направления развития структуры $g_v^{об}$ на данных структурных элементах лежит в 1 или 2 квадранте системы координат Ξ' относительно \bar{x}_1^1 .

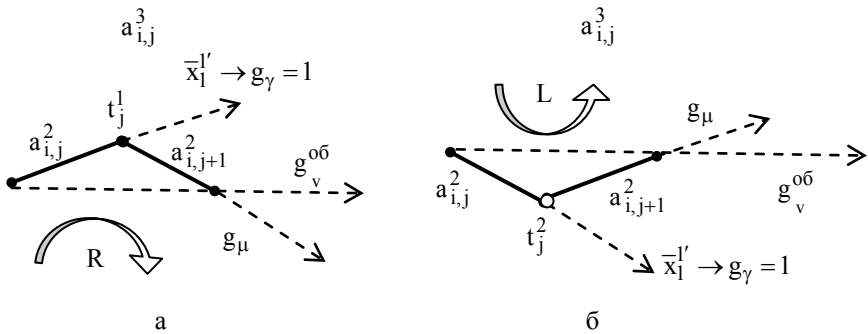


Рис. 2. Процедура выделения структурных критических точек 1-го и 2-го рода

Точки 1-го рода характеризуют продолжение развития текущей подструктуры на рассматриваемом участке контура изображения и определяют выпуклость данной подструктуры. Процедура выделения структурных критических точек 1-го рода представлена на рис. 2, а.

Определение 3. При правом обходе контура изображения точка пере-

сечения структурного элемента a_{ij}^2 , имеющего направление $\bar{x}_i^1 \rightarrow g_\gamma = 1$, и структурного элемента $a_{i,j+1}^2$, имеющего направление $\bar{x}_i^\sigma \rightarrow g_\mu$, называется точкой 2-го рода t_j^2 , если вектор обобщенного направления развития структуры $g_v^{об}$ на данных структурных элементах лежит в 3 или 4 квадранте системы координат Ξ' относительно \bar{x}_i^1 .

Точки 2-го рода характеризуют начало развития новой подструктуры на рассматриваемом участке контура изображения и определяют вогнутость подструктур. Процедура выделения структурных критических точек 2-го рода представлена на рис. 2, б.

Точки 1-го и 2-го рода описывают формирования подструктур различного уровня вложенности.

Для выделения подструктур 1-го уровня вложенности необходимо определить:

- структурные критические точки, в которых подструктура начинает свое развитие (точки максимальной вогнутости структуры);

- структурные критические точки, в которых подструктура имеет пик своего развития (точки максимальной выпуклости структуры).

Определение 4. Максимальными структурными критическими точками 1-го рода $t_i^1_{\max} = \max(t_j^1)$ называются такие точки 1-го рода, которые являются потенциальными точками захвата контура изображения при сканировании бинарной матрицы значений сигналов прибора с зарядовой связью.

В данных точках структура максимально выпуклая и имеет пик развития подструктуры 1-го уровня вложенности при правом обходе контура изображения. Следующие структурные критические точки 1-го рода будут определять уменьшение развития данной выпуклой подструктуры относительно точки захвата до возникновения структурообразующей критической точки 2-го рода (точки максимальной вогнутости структуры), после которой начнется развитие следующей выпуклой подструктуры.

Таким образом, первой выделенной максимальной структурной критической точкой 1-го рода при обходе контура изображения является точка захвата контура изображения $t_i^1_{\max} = \max(t_j^1)$. Для нахождения следующей структурной критической точки 1-го рода, каждый структурный элемент $a_{i,j}^2$, имеющий начало в уже выделенной структурной

критической точке сопоставляется с вектором \bar{x}_1^1 единичного направления $g_\gamma = 1$ в относительной системе координат Ξ' .

Далее строится обобщенное направление развития структуры от уже выявленной максимальной структурной критической точкой 1-го рода до каждой точки 1-го рода по направлению обхода контура. Если существуют обобщенные направления ориентации лежащие как в левой полуплоскости (3 и 4 квадрант), так и в правой полуплоскости (1 и 2 квадрант) системы координат Ξ' , то направление ориентации с минимальным значением для 3 и 4 квадранта полуплоскости будет определять следующую максимальную структурную критическую точку 1-го рода.

Если обобщенное направление ориентации лежит только в правой полуплоскости, то направление ориентации с минимальным значением для 1 или 2 квадрантов полуплоскости будет определять следующую максимальную структурную критическую точку 1-го рода.

Если при обходе контура не определено ни одного вектора в 3 или 4 квадранте, то все выделенные структурные критические точки данной подструктуры являются максимальными, что определяет выпуклость данной подструктуры. Для обнаружения возможных вогнутых подструктур данная процедура повторяется для всей последовательности выделенных структурных критических точек 1-го рода.

После выделения максимальных структурных критических точек 1-го рода определяются точки максимальной вогнутости структуры, определяющие переходы между выпуклыми подструктурами. Данные структурные критические точки являются минимальными структурными критическими точками 2-го рода. Для их определения осуществляется последовательное соединение, относительно точки захвата, выделенных максимальных структурных критических точек 1-го рода отрезками, направление ориентации которых совпадает с обобщенным направлением развития данных подструктур (вогнутых подструктур, находящихся между двумя соседними максимальными критическими точками 1-го рода). Данные отрезки представляют собой новые структурные элементы $a_{i,j}^m$ n-го структурного уровня. Таким образом, строится описанный вокруг контура изображения выпуклый многоугольник, ребра которого соответствуют структурным элементам $a_{i,j}^m$. Каждый элемент $a_{i,j}^m$ соединяет две выпуклые подструктуры 1-го уровня вложенности вогнутой структуры контура изображения, для которых необходимо найти точку максимальной вогнутости (критическую точку структурного перехода). Данные структурные критические точки будут являться минимальными критическими точками 2-го рода.

Определение 5. Минимальными структурными критическими точками 2-го рода $t_{i \min}^2 = \min(t_j^2)$ называются такие точки 2-го рода структуры контурного изображения, для которых перпендикуляры p_j , опущенные от соответствующих структурных элементов $a_{i,j}^m$ на данные структурные критические точки, будут иметь максимальную длину для соответствующих выделенных подструктур. Выделение данных точек представлено на рис. 3.

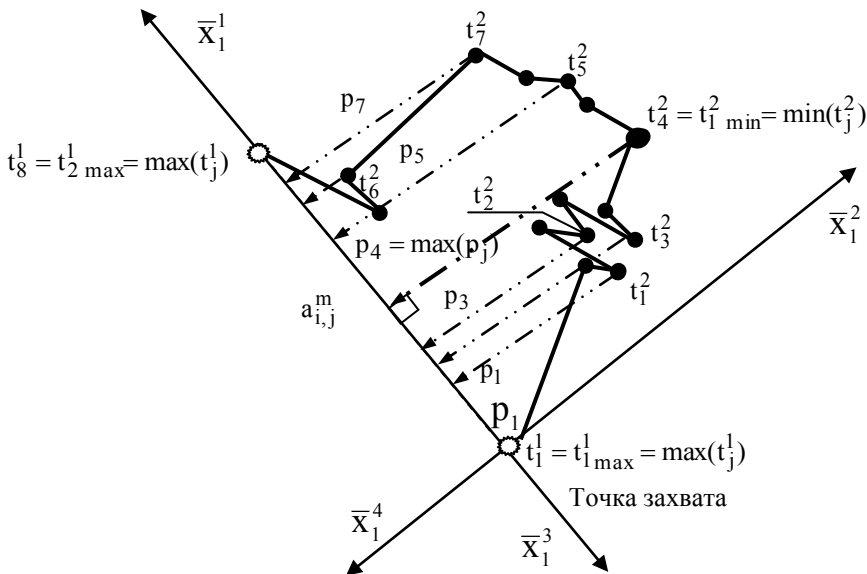


Рис. 3. Процедура выделения минимальных структурных критических точек 2-го рода $t_{i \min}^2$

Таким образом, концепт Cpt распознавания изображения I_i представляет собой структуру z_i^{m+1}

$$Cpt(I_i) = z_i^{m+1} = \langle A_i^{m+1}, r, B \rangle,$$

где A_i^{m+1} – множество структурных элементов $m+1$ уровня общности;

$$A_i^{m+1} \{ a_{i1}^{m+1}, a_{i2}^{m+1}, \dots, a_{ik}^{m+1} \}.$$

Пусть $T_{\max}^1 = \{ t_{1 \max}^1, t_{2 \max}^1, \dots, t_{n \max}^1 \}$, $T_{\min}^2 = \{ t_{1 \min}^2, t_{2 \min}^2, \dots, t_{m \min}^2 \}$.

При отображении h данных множеств T_{\max}^1 и T_{\min}^2 на общую линейную шкалу порядка P

$$h : (T_{\max}^1, T_{\min}^2) \rightarrow P ;$$

структурные элементы a_{ij}^{m+1} образуются структурными критическими точками

$$a_{ij}^{m+1} = f(t_{k \max}^1, t_{n \min}^1) ,$$

где f – функция построения линейного структурного элемента по двум критическим точкам последовательно расположенным на шкале P .

$$\text{Тогда } A_i^{m+1} = F(T_{\max}^1, T_{\min}^2) \text{ и } \text{Cpt}(I_i) = \langle F(T_{\max}^1, T_{\min}^2), r, B \rangle .$$

Данная структура инвариантна относительно аффинных преобразований и деформационных изменений контура распознаваемого изображения.

Выводы. Предложенный подход позволяет устранить влияние различного рода аффинных преобразований и деформационных изменений в структуре контура распознаваемого изображения на качество распознавания. Полученная в результате применения предложенного алгоритма распознавания обобщенная структура контурного изображения образует концепт распознавания, содержащий необходимые и достаточные признаки распознавания, определяющие класс объектов распознавания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русын Б.П. Структурно-лингвистические методы распознавания изображений в реальном времени. – К.: Наук. думка, 1986. – 126 с.
2. Паржин Ю.В., Кувшинов К.В., Кирвас В.В. Розпізнавання контурних зображень у реальному часі // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 5. – С. 185 – 190.
3. Паржин Ю.В., Ковальчук В.С., Гринёв Д.В. Структурное распознавание изображений в реальном времени // Збірник наукових праць – К.: ПМС. – 2004. – Вип. 25. – С. 143 – 147.

Поступила 1.10.2004

ПАРЖИН Юрий Владимирович, канд. техн. наук, с.н.с., зам. нач. НИО ИВЦ ХУ ВС. Окончил в 1982 году ХВВКИУ. Область научных интересов – распознавание образов.

АДАМЕНКО Анатолий Анатольевич, канд. техн. наук, зам. нач. НОО ХУ ВС. В 1996 году окончил ХВУ. Область научных интересов – методы обработки и передачи информации.

ГРИНЁВ Денис Валерьевич, научный сотрудник НИЛ ХУ ВС. В 1996 году окончил ХВУ. Область научных интересов – методы обработки и передачи информации.