

УДК 681.142.4

Ю.В. ПАРЖИН, Д.В. ГРИНЁВ

Харьковский университет Воздушных Сил, Украина

НОРМАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУР КОНТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАСПОЗНАВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Предлагается подход к процессу нормализации структур двумерных контурных изображений распознаваемых объектов в реальном времени, устраняющий влияние аффинных преобразований и незначительных проекционных искажений в их структуре на результат распознавания.

аффинные преобразования, нормализация, проекционные искажения, структуры двумерных контурных изображений, структурные элементы, структурный инвариант элемента, структурный концепт

Постановка проблемы и анализ литературы

Для распознавания контурных изображений объектов в реальном времени, наиболее перспективно применять структурно-лингвистические методы [1, 2]. Однако для построения концепта распознаваемых объектов необходимо осуществлять нормализацию структур контурных изображений, которые подвержены аффинным изменениям и проекционным искажениям, влияющих на результат распознавания.

Целью данной статьи является рассмотрение подхода к процессу нормализации структур контурных изображений, устраняющего влияние проекционных искажений в их структуре.

Для построения концепта распознаваемого объекта после определения структурных критических точек [3], необходимо последовательно соединить по направлению обхода контура все выявленные критические точки

$$t_j = t_i^1 \max \vee t_i^2 \min .$$

Таким образом, будет построена новая структура

$$z'_i = \langle t_j, t_{j+1}, \dots, t_{j+k} \rangle, \text{ где } t_j = \langle x_{ij}, y_{ij} \rangle. \quad (1)$$

Отрезки, соединяющие данные точки, определяются как структурные элементы $a'_{i,j}$:

$$a'_{i,j} = \{t_j, t_{j+1}\}.$$

Структурные инварианты элементов $a'_{i,j}$

структуры z'_i будут определяться как:

$$\text{Inv}(a'_{i,j}) = \text{Inv}(t_j, t_{j+1}) = g_\gamma, \quad (2)$$

$$\text{Pr} : a'_{i,j} \rightarrow \bar{x}_\xi^\sigma,$$

а значение структурных элементов $a'_{i,j}$ – как

$$\|a'_{i,j}\| = \text{card}(t_j, t_{j+1}).$$

Структурные элементы $a'_{i,j}$ по своим свойствам аналогичны структурным элементам 2-го уровня $a'_{i,j}$ [3], определенным для исходного контура изображения z_i [3, 4]. Полученная структура z'_i будет являться основой для построения концепта распознаваемого изображения после ее нормализации в абсолютной системе координат. Пример построения данной структуры z'_i представлен на рис. 1. Жирными пунктирными линиями изображены структурные элементы $a'_{i,j}$, соединяющие структурные критические точки.

Для нормализации данной структуры необходимо определить ось структурной симметрии, после чего сориентировать контур изображения вдоль нее. Так как большинство искусственных объектов ре-

ального мира являются симметричными объектами, то структуры двумерных контуров их изображений без учета значительных проекционных искажений, например, полученные при фотографировании с искусственного спутника Земли, будут в основном также симметричны. В идеальных условиях при съемке в надир, структура контура изображения симметричного объекта будет близка к полной симметрии. Однако, при съемке на малых высотах и при больших углах отклонения камеры от надира, в контурах изображений увеличиваются проекционные

искажения. Поэтому общий алгоритм нахождения оси симметрии для структур с малыми и большими проекционными искажениями будет состоять из двух направлений.

Первое направление предполагает, что исследуемая структура имеет четко выраженную симметрию. Если же объект либо не симметричен, либо в структуре контура изображения присутствуют достаточно весомые проекционные искажения, то алгоритм нахождения симметрии идет по второму направлению.

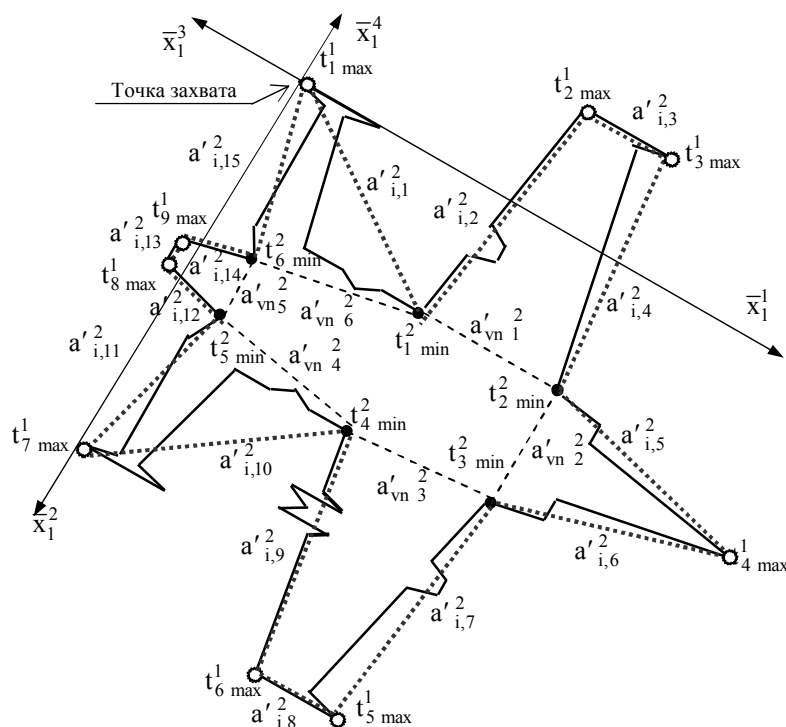


Рис. 1. Пример построения структуры z'_i контура изображения условного самолета

На первом этапе для нормализации структуры z'_i каждому элементу $a'_{i,j}^2$ ставится в соответствие направление g_γ и вычисляются длины $\|a'_{i,j}^2\|$. На следующем этапе определяются структурные элементы $a'_{i,j}^3$ аналогично с нахождением структурных элементов a_{ij}^3 [3, 4]. Так как структурный элемент $a'_{i,j}^3$ характеризуется изменением направ-

ления ориентации структурного элемента $a'_{i,j}^2$ (с направлением g_γ) на величину $m - 1$ относительно элемента $a'_{i,j+1}^2$ (с направлением g_μ), то для определения $a'_{i,j}^3$ структурный элемент $a'_{i,j}^2$ сопоставляется с вектором \bar{x}_1^1 .

При этом $g_\gamma \rightarrow X'_1 = \bar{x}'_1 = 1$; $g_\mu \rightarrow g'_\mu$.

Структурный инвариант элемента $a'_{i,j}{}^3$ определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{Inv}_{\Xi'}(a'_{i,j}{}^3) &= \bar{g}'_{\mu}; \\ \|a'_{i,j}{}^3\| &= m-1. \end{aligned} \quad (3)$$

В общем случае:

1) при $\sigma = 1$:

$$\begin{aligned} a'_{ij+1}{}^2 &\rightarrow \bar{x}_{\tau}^{\sigma}; \quad \bar{x}_{\tau}^{\sigma} \Leftrightarrow g'_{\mu}; \\ \text{Inv}_{\Xi'}(a'_{i,j}{}^3) &= \bar{g}'_{\mu}; \\ \|a'_{i,j}{}^3\| &= \tau_{\sigma} - 1; \end{aligned}$$

2) при $\sigma = 2$:

$$\begin{aligned} a'_{ij+1}{}^2 &\rightarrow \bar{x}_{\tau}^{\sigma}; \quad \bar{x}_{\tau}^{\sigma} \Leftrightarrow g'_{\mu}; \\ \text{Inv}_{\Xi'}(a'_{i,j}{}^3) &= \bar{g}'_{\mu}; \\ \|a'_{i,j}{}^3\| &= n + (\tau_{\sigma} - 1), \end{aligned}$$

где n – количество векторов в пучке \bar{X}^{σ} ;

3) при $\sigma = 3$:

$$\begin{aligned} a'_{ij+1}{}^2 &\rightarrow \bar{x}_{\tau}^{\sigma}; \quad \bar{x}_{\tau}^{\sigma} \Leftrightarrow g'_{\mu}; \\ \text{Inv}_{\Xi'}(a'_{i,j}{}^3) &= \bar{g}'_{\mu}; \\ \|a'_{i,j}{}^3\| &= 2n - (\tau_{\sigma} + 1), \end{aligned}$$

где \bar{g}'_{μ} – левое направление развития структуры

z'_i на структурном элементе $a'_{i,j}{}^3$;

4) при $\sigma = 4$:

$$\begin{aligned} a'_{ij+1}{}^2 &\rightarrow \bar{x}_{\tau}^{\sigma}; \quad \bar{x}_{\tau}^{\sigma} \Leftrightarrow g'_{\mu}; \\ \text{Inv}_{\Xi'}(a'_{i,j}{}^3) &= \bar{g}'_{\mu}; \\ \|a'_{i,j}{}^3\| &= n - (\tau_{\sigma} + 1). \end{aligned}$$

Значение g'_{μ} определяется следующим образом.

Предположим, что направления ориентации g_{γ} и g_{μ} имеют следующие значения: $g_{\gamma} = m$; $g_{\mu} = k$, n – количество векторов в пучке.

Тогда:

1) при $1 \leq m \leq 2n$:

$$g'_{\mu} = (k - m) + 1,$$

если $(k - m) + 1 = l$ и $l < 1$, то $g'_{\mu} = l + 4n$;

2) при $2n + 1 \leq m \leq 4n$:

$$g'_{\mu} = (4n - m) + (k + 1),$$

если $(4n - m) + (k + 1) = l$ и $l > 4n$, то $g'_{\mu} = l - 4n$.

Существуют необходимые и достаточные признаки определения оси симметрии для построенной структуры z'_i контурного изображения I_i .

Необходимым признаком для объектов как с малыми, так и с большими проекционными искажениями в структуре контура изображения является равенство структурных инвариантов элементов 3-го уровня, лежащих по разные стороны оси симметрии L :

$$g'_{\gamma} = g'_{\mu}, \quad \text{и} \quad \|a'_{i,\gamma}{}^3\| = \|a'_{i,\mu}{}^3\|, \quad (4)$$

где γ и μ – индексы структурных элементов, лежащих по разные стороны оси симметрии L .

Достаточным признаком для объектов с малыми проекционными искажениями в структуре контура изображения является равенство длин элементов $a'_{i,j}{}^2$, принадлежащих соответственно структурным элементам $a'_{i,j}{}^3$, для которых определены необходимые признаки симметрии:

$$\begin{aligned} \|a'_{i,\gamma}{}^2\| &= \|a'_{i,\mu}{}^2\|; \\ \|a'_{i,\gamma+1}{}^2\| &= \|a'_{i,\mu-1}{}^2\|, \end{aligned} \quad (5)$$

причем элементы $a'_{i,j}{}^2$ должны иметь одинаковые направления изменения ориентации структуры (левое или правое).

Другими словами, структурный элемент $a'_{i,\gamma}{}^2$ должен содержать критические точки такого же рода, что и элемент $a'_{i,\mu}{}^2$ [3]:

$$(t_{\gamma} \wedge t_{\mu}) \in \min(t_i^2), \quad \text{или} \quad (t_{\gamma} \wedge t_{\mu}) \in \max(t_i^1).$$

Данный признак может отсутствовать для объектов с большими проекционными искажениями в структуре контура изображения. В этом случае для определения оси симметрии предлагается дополнительно сравнивать инварианты структурных элементов $a'_{vn,i}{}^3$ внутренней подструктуры z'_{vn} .

Для построения внутренней подструктуры z'_{vn} контура изображения необходимо последовательно соединить по направлению обхода контура все минимальные критические точки $t_{i \min}^2$ 2-го рода [3]. Таким образом, будет построена подструктура

$$z'_{vn} = \langle t_{i \min}^2, t_{i+1 \min}^2, \dots, t_{i+k \min}^2 \rangle,$$

где

$$t_{i \min}^2 = \langle x_{ij}, y_{ij} \rangle. \quad (6)$$

Отрезки, соединяющие точки максимальной вогнутости структуры, определяются как структурные элементы $a'_{vn,i}{}^2$:

$$a'_{vn,i}{}^2 = \langle t_{i \min}^2, t_{i+1 \min}^2 \rangle.$$

Структурные инварианты элементов $a'_{vn,i}{}^2$ структуры z'_{vn} будут определяться как:

$$\text{Inv}_{\Xi}(a'_{vn,i}{}^2) = \text{Inv}_{\Xi}(t_{i \min}^2, t_{i+1 \min}^2) = g_{\gamma}; \quad (7)$$

$$\text{Pr} : a'_{vn,i}{}^2 \rightarrow \bar{x}_{\xi}^{\sigma},$$

а значение структурного элемента $a'_{vn,i}{}^2$ – как

$$\|a'_{vn,i}{}^2\| = \text{card}(t_{i \min}^2, t_{i+1 \min}^2).$$

Структурный инвариант элемента $a'_{vn,i}{}^3$ определяется аналогично элементу $a'_{i,j}{}^3$:

$$\text{Inv}_{\Xi'}(a'_{vn,i}{}^3) = \bar{g}'_{\mu}; \quad \|a'_{vn,i}{}^3\| = m - 1. \quad (8)$$

Тогда *достаточным признаком* для объектов с большими проекционными искажениями в структуре контура изображения является равенство структурных инвариантов элементов $a'_{vn,i}{}^3$ 3-го уровня,

лежащих по разные стороны оси симметрии L , соответствующих структурным элементам $a'_{i,j}{}^3$, для которых определены необходимые признаки симметрии:

$$g'_{\gamma} = g'_{\mu} \quad \text{и} \quad \|a'_{vn,\gamma}{}^3\| = \|a'_{vn,\mu}{}^3\|. \quad (9)$$

Если для структуры контура изображения определен как необходимый, так и достаточный признак симметрии объектов с малыми проекционными искажениями, то для такой структуры также существует признак симметрии объектов верный и для больших проекционных искажений. Обратное не верно.

Далее, критические точки t_j , принадлежащие структурным элементам, для которых определены необходимые и достаточные признаки симметрии, соединяются отрезками $\ell_s = \{t_{\gamma}, t_{\mu}\}$. При наличии минимум одного структурного элемента ℓ_s можно определить ось симметрии

$$L = \{t_1^*, t_2^*\},$$

где t_1^* и t_2^* – точки оси симметрии, которые определяются в зависимости от количества k критических точек, находящихся между критическими точками t_{γ} и t_{μ} по направлению обхода контура и количества k' критических точек, находящихся между критическими точками t_{γ} и t_{μ} против направления обхода контура:

$$k = \mu - \gamma - 1, \quad k' = m - (\mu - \gamma + 1), \quad \text{если } \gamma \leq \frac{m}{2};$$

$$k = m - (\mu - \gamma + 1), \quad k' = \mu - \gamma - 1, \quad \text{если } \gamma > \frac{m}{2},$$

где m – количество всех критических точек t_j .

Если структурных элементов ℓ_s больше одного ($s > 1$), то находится структурный элемент ℓ_s^1 , для которого $k = \min$ и структурный элемент ℓ_s^2 , для которого $k' = \min$.

Тогда

$$t_1^* = \frac{t_{\gamma+1+k/2} - t_{\gamma+k/2}}{2}, \text{ если } k - \text{четное число};$$

$$t_1^* = t_{\gamma+\frac{k+1}{2}}, \text{ если } k - \text{нечетное число};$$

$$t_2^* = \frac{t_{\gamma+1+k'/2} - t_{\gamma+k'/2}}{2}, \text{ если } k' - \text{четное число};$$

$$t_2^* = t_{\gamma+\frac{k'+1}{2}}, \text{ если } k' - \text{нечетное число}.$$

После нахождения оси симметрии структурный элемент $L = \{t_1^*, t_2^*\}$ сопоставляется с вектором \bar{x}_1^1 с единичным направлением ориентации $g_\gamma = 1$ в относительной системе координат. Полученная таким образом нормированная структура z'_i контурного изображения является концептом Cpt класса изображений распознаваемых объектов и определяется множеством структурных признаков, формирующих класс объектов распознавания, инвариантных относительно небольших проекционных искажений и деформационных изменений в структуре.

Структурному концепту Cpt [3] ставится в соответствие его лингвистическое представление $LCpt$:

$$Cpt(I_i) = \langle A_i^{m+1}, r, B \rangle \rightarrow LCpt(I_i) = \{v_1, v_2, \dots, v_n\},$$

где $LCpt(I_i)$ представляет собой структурно-лингвистическое выражение (структуру языкового типа), состоящее из слов v_i , каждое из которых поставлено в соответствие определенной подструктуре a_i^{m+1} концепта Cpt класса распознавания изображения I .

Таким образом, $LCpt$ представляется в виде конкатенации структурно-лингвистических элементов v_i :

$$LCpt(I_i) = v_1 * v_2 * \dots * v_n,$$

где $*$ – пропозициональные связи.

В процессе обучения происходит коррекция $LCpt(I_i)$ в результате обобщения концептов распознаваемых изображений.

Выводы

Предложенный подход позволяет устранить влияние незначительных проекционных искажений, аффинных преобразований и деформационных изменений в структуре контура распознаваемого изображения на результат распознавания.

Литература

1. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
2. Русын Б.П. Структурно-лингвистические методы распознавания изображений в реальном времени. – К.: Наук. думка, 1986. – 126 с.
3. Паржин Ю.В., Адаменко А.А., Гринев Д.В. Определение критических точек в структуре контурных изображений для построения концепта распознавания // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 10 (38). – С. 142 – 149.
4. Паржин Ю.В., Ковальчук В.С., Гринёв Д.В. Структурное распознавание изображений в реальном времени // Збірник наукових праць ІПМЕ. – К.: ІПМЕ. – 2004. – Вип. 25. – С. 143 – 147.

Поступила в редакцию 11.01.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харьковский Национальный технический университет сельского хозяйства, Харьков.