

Е. В. ЗРОЙЧИКОВА, асп. ХНУРЭ, Харьков;
Е. П. ПУТЯТИН, д-р техн. наук, проф. ХНУРЭ, Харьков

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛОЖЕНИЙ АФФИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ЗАДАЧЕ НОРМАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Проанализированы различные разложения группы аффинных преобразований на подгруппы элементарных геометрических преобразований, выполненных последовательно. Исследовано влияние этих разложений на нормализацию изображений, проведен сравнительный анализ. Предлагается выбор параметров нормализации для каждого элементарного преобразования на основе моментных признаков изображения.

Ключевые слова: нормализация, аффинные преобразования, моментные признаки, обработка, параметры, разложение.

Введение. На сегодняшний день уровень развития информационных технологий достигает очень высоких показателей. В последние десятилетия значительно пополнился багаж теоретических и практических исследований, результаты которых с легкостью влились практически во все сферы человеческой жизни, начиная от бытовой и заканчивая космической. Несомненно, каждый день мы можем наблюдать применение современных компьютерных технологий, что значительно ускоряет и облегчает нашу жизнь.

Немаловажное место в этой нише занимает область компьютерного зрения, в частности обработка изображений. С появлением фото- и видеокамер изображения стали очень популярными и широко используемыми. Но зачастую снятые изображения предстают в неудобном виде для дальнейшей обработки. Поэтому первым и немаловажным этапом обработки изображений является их нормализация.

Задача и методы нормализации изображений. В общем виде задача нормализации изображений представляет собой приведение искаженного изображения к некоторому эталонному виду, определенному заранее. На практике данная задача сводится к определению параметров нормализации, связывающих входящее и эталонное изображения [1–4]. Довольно часто в качестве таких параметров выступают смещение вдоль осей координат, угол поворота, изменения масштаба (растяжение и сжатие) и другие.

Математически задача нормализации изображений описывается следующим образом. Пусть имеется множество входящих изображений I и множество эталонных изображений I_0 , а также группа геометрических преобразований G .

Изображения $B(x, y) \in I$ и $B_0(x, y) \in I_0$ эквивалентны между собой, если они связаны некоторым преобразованием $g \in G$:

$$B(x, y) = g \circ B_0(x, y).$$

Задача нормализации изображений сводится к нахождению такого обратного преобразования g^{-1} , чтобы входящее изображение приняло эталонный вид:

$$B_0(x, y) = g^{-1} \circ B(x, y).$$

Таким образом, для того чтобы привести входящее изображение к эталонному виду, необходимо определить параметры нормализации и применить соответствующий нормализатор с найденными параметрами.

Методы нормализации изображений делятся на параллельные и последовательные. В первом случае все параметры нормализации находятся одновременно и применяется один итоговый нормализатор. При использовании второго подхода на каждом этапе нормализации находится один параметр преобразования, после чего применяется соответствующий нормализатор конкретного искажения, и так до достижения эталонного вида. Хотя при параллельной нормализации процедура преобразования происходит за один шаг, этот подход требует значительных затрат ресурсов и обладает более высокой вычислительной сложностью, что может повлиять на точность нормализации при достаточно сложных комбинациях преобразований. Поэтому в условиях возможного разложения сложного нормализатора на совокупность простых довольно успешным является применение последовательных методов нормализации.

Цель исследования, постановка задачи. В ходе данного исследования рассматриваются геометрические преобразования аффинной группы G_a [1, 2, 5, 6]. Данную группу можно разложить на подгруппы элементарных преобразований, выполненных последовательно: G_1, G_2, \dots, G_n . Таким образом, элемент аффинной группы можно представить в виде композиции $g_a = g_1 g_2 \dots g_n$, $g_i \in G_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, также образующей аффинную группу.

Рассмотрим такие элементарные преобразования, как смещение вдоль осей $G_{c,x}$ и $G_{c,y}$; поворот на угол α вокруг оси, перпендикулярной плоскости изображения G_u ; однородное G_k и неоднородное масштабирование G_d , косой сдвиг $G_{h,x}$, $G_{h,y}$; гиперболический поворот G_q ; зеркальное отражение G_s . Используя данные преобразования, представим аффинную группу в виде их композиции:

$$G_a = G_u G_s G_d G_u G_{c,x} G_{c,y}; \quad (1)$$

$$G_a = G_u G_s G_q G_k G_u G_{c,x} G_{c,y}; \quad (2)$$

$$G_a = G_u G_s G_d G_{h,x} G_{c,x} G_{c,y}; \quad (3)$$

$$G_a = G_u G_s G_q G_k G_{h,x} G_{c,x} G_{c,y}. \quad (4)$$

Для нахождения параметров нормализации предлагается использовать моменты изображения [1, 8, 9]. В дискретном виде их можно представить с помощью следующего соотношения:

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M B(x, y) x^p y^q, \quad (5)$$

где $N \times M$ – размеры растра D ;

p, q – показатели порядка момента.

В ходе исследования необходимо найти параметры нормализации с помощью моментов для каждой подгруппы преобразований и определить наиболее удачное разложение в пределах оцененной точности нормализации изображения.

Материалы исследования. Для нахождения параметров нормализации необходимо найти моменты нулевого, первого и второго порядков, используя соотношение (5). Очевидно, что момент нулевого порядка m_{00} показывает энергию изображения (сумма яркостей пикселей). Для того чтобы центрировать изображение, необходимо найти параметры преобразования смещения вдоль осей координат. Показателями этих величин являются моменты m_{10} и m_{01} , нормированные с помощью m_{00} . Таким образом,

смещение по оси Ox осуществляется на величину $\frac{m_{10}}{m_{00}}$, по оси Oy – на $\frac{m_{01}}{m_{00}}$.

Для нормализации преобразования поворота необходимо найти угол, на который нужно повернуть изображение. В этом случае можно воспользоваться следующим соотношением:

$$\varphi = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2m_{11}}{m_{20} - m_{02}}.$$

Для нахождения параметров нормализации неоднородного масштаба $G_d : B(x, y) = B_0(\lambda x, \mu y)$ можно воспользоваться нормализатором

$F(B) = B\left(\sqrt{\frac{m_{20}}{m_{00}}}x, \sqrt{\frac{m_{02}}{m_{00}}}y\right)$ [1], который является универсальным для всех

реальных изображений. В условиях применения данного нормализатора эллипс инерции изображения превращается в круг. Однако при таком подходе может возникнуть проблема значительного уменьшения эталонного изображения так, что оно занимает слишком маленькую область зрения. Чтобы этого избежать, воспользуемся следующим методом. Проведем нормализацию изображения вдоль одной из осей, например оси Ox , таким образом, чтобы размеры изображения вдоль Ox и Oy стали равны. Для этого разделим параметры преобразования на один из них, в данном случае на

$\mu = \sqrt{\frac{m_{02}}{m_{00}}}$. Таким образом, нормализация сводится к преобразованию

$$B(x, y) = B_0' \left(\frac{\lambda}{\mu} x, y \right) = B_0'(rx, y), \text{ где } B_0' \text{ – увеличенное (уменьшенное)}$$

эталонное изображение, $r = \sqrt{\frac{m_{20}}{m_{02}}}$. Для приведения полученного в результате нормализации изображения к размерам эталонного изображения необходимо

применить нормализатор однородного масштаба с коэффициентом $\sqrt{\frac{m_{00et}}{m_{00in}}}$, показывающим масштабную разницу этих изображений. В итоге получаем

$$B_0(\lambda x, \mu y) \Rightarrow B_0'(rx, y) \Rightarrow B_0(x, y).$$

Преобразование G_d может быть заменено комбинацией преобразований $G_q G_k$, как это предложено в соотношениях (2), (4). Исходя из предыдущих выкладок, в качестве коэффициента нормирования однородного масштаба G_k можно использовать величину k , найденную с помощью такого выражения:

$$k = \sqrt[4]{\frac{m_{20}}{m_{02}}}.$$

В свою очередь, для преобразования гиперболического поворота будем использовать параметр q , полученный следующим образом:

$$q = \sqrt[4]{\frac{m_{02}}{m_{20}}}.$$

Покажем, что преобразование $G_q G_k$ эквивалентно G_d с применением вышеуказанных параметров.

$$G_q G_k : B'_0(q^{-1}x, qy) B'_0(kx, ky) = B'_0\left(\frac{k}{q}x, qky\right);$$

$$B'_0\left(\frac{k}{q}x, qky\right) = B'_0\left(\sqrt[4]{\left(\frac{m_{20}}{m_{02}}\right)^2}x, \sqrt[4]{\frac{m_{02}}{m_{20}} \cdot \frac{m_{20}}{m_{02}}}y\right) = B'_0\left(\sqrt{\frac{m_{20}}{m_{02}}}x, y\right) = B'_0(rx, y).$$

После данного преобразования также необходимо применить нормализатор однородного масштаба для приведения изображения к эталонному размеру. Аналогично можно провести преобразования G_d , $G_q G_k$, выбрав ось Oy для нормализации.

Для нормализации косоугольного сдвига необходимо вычислить моменты m_{11} и m_{20} . Используя их, получим параметр нормализации:

$$h = \frac{m_{11}}{m_{20}}.$$

При нормализации зеркального отражения нужно выбрать характерную точку изображения и перевести ее в первый квадрант с помощью нормализатора $F(B) = B(x \operatorname{sign} x(B), y \operatorname{sign} y(B))$.

Отметим, что в случае нормализации комбинации элементарных преобразований необходимо пересчитывать моменты изображения на каждом этапе нормализации.

Результаты исследований. В качестве тестовых эталонных изображений были выбраны изображения размером 256×256 в формате bmp, представленные на рис. 1, а–д. Перед процедурой нормализации изображения переводились в оттенки серого (полутоновые изображения). В ходе экспериментов были проанализированы результаты нормализации отдельно каждого простейшего преобразования, а также их совокупности. Для этого были применены искажения с параметрами, представленными в табл. 1.

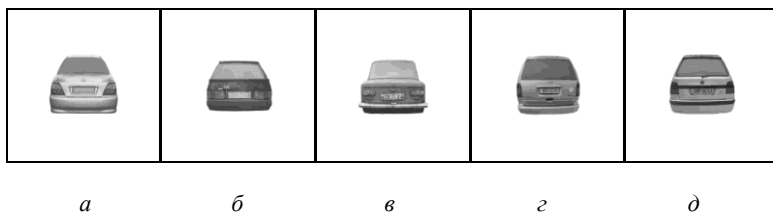


Рис. 1 – Тестовые эталонные изображения: а – 1.bmp; б – 2.bmp; в – 3.bmp; г – 4.bmp; д – 5.bmp

Таблица 1 – Исходные преобразования и их параметры

Преобразование	Параметры
Сдвиг	$s_x = 10, s_y = 30$
Поворот	$\varphi = 15^\circ$
Масштаб (однородный)	$k = 0,5$
Масштаб (неоднородный)	$\lambda = 0,5, \mu = 0,7$
Гиперболический поворот	$q = 0,7$
Косой сдвиг	$h_x = 1$
Зеркальное отражение	Относительно оси Ox
Сложное преобразование (сдвиг, поворот, масштаб, косой сдвиг)	$s_x = 10, s_y = 30, \varphi = 15^\circ, \lambda = 0,5, \mu = 0,7, h_x = 1$

Результаты нормализации преобразований приведены в табл. 2. Для оценки результатов преобразования использовался коэффициент корреляции, который в дискретном виде определяется так [1, 7]:

$$\delta(B_{norm}, B_0) = \frac{\sum_{i,j \in D} B_{norm}(i, j) B_0(i, j)}{\sqrt{\sum_{i,j \in D} B_{norm}^2(i, j) \sum_{i,j \in D} B_0^2(i, j)}}$$

где B_0 – эталонное изображение;

B_{norm} – нормализованное изображение.

Таблица 2 – Результаты нормализации (δ)

δ	Изображения				
	1.bmp	2.bmp	3.bmp	4.bmp	5.bmp
Сдвиг	0,99824	0,99916	1	0,99895	0,99852
Поворот	0,99978	0,99926	0,99995	0,99594	0,99589
Масштаб (однородный)	0,99838	0,99649	0,99758	0,99920	0,99960
Масштаб (неоднородный)	0,99826	0,99732	0,99837	0,99562	0,99927
Гиперболический поворот	0,99875	0,99679	0,99791	0,99924	0,99937
Косой сдвиг	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999
Зеркальное отражение	1	1	1	1	1
Сложное преобразование, (1)	0,99779	0,99695	0,99582	0,99725	0,99473
Сложное преобразование, (2)	0,99336	0,99094	0,99152	0,99456	0,99285
Сложное преобразование, (3)	0,99451	0,99372	0,99575	0,99636	0,99460
Сложное преобразование, (4)	0,99371	0,99310	0,99529	0,99451	0,99254

Используя результаты нормализации из табл. 2, построим графики зависимости коэффициента корреляции от выбранной группы разложения аффинных преобразований (1)–(4) для последовательной нормализации изображений из рис. 1, *a–d*, искаженных сложным аффинным преобразованием. Построенные графики представлены на рис. 2.

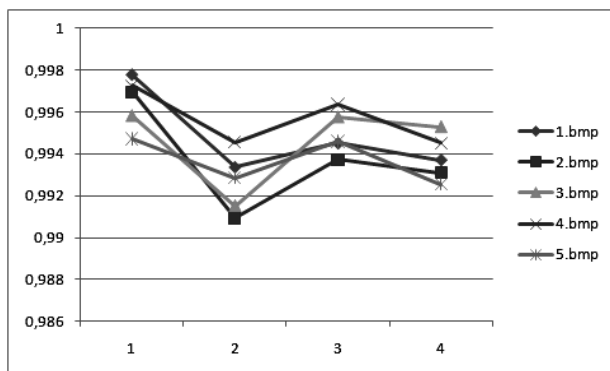


Рис. 2 – Графики зависимости коэффициента корреляции от группы разложения аффинных преобразований

Выводы. В работе рассматривается метод последовательной нормализации изображений в условиях сложных геометрических трансформаций, позволяющий на каждом этапе нормализации компенсировать простейшие искажения. Последовательная нормализация аффинных преобразований является достаточно эффективным методом приведения искаженного изображения к эталонному виду и обладает не очень высокой вычислительной сложностью. В ходе исследования нормализации аффинных преобразований были предложены параметры нормализации каждого из простейших искажений, которые также были применены в компенсации сложных аффинных преобразований. Экспериментальный анализ показал достаточно высокую точность нормализации с выбранными коэффициентами.

Из предложенных разложений аффинных преобразований (1) – (4) худшие результаты нормализации показали разложения (2) и (4), содержащие преобразования гиперболического поворота и однородного масштаба. Это можно объяснить тем, что по сравнению с разложениями (1) и (3) количество операций масштабирования увеличено на одну, что незначительно повлияло на точность нормализации. В свою очередь, лучшие результаты нормализации показала группа (1).

Дальнейшие исследования могут быть направлены на усовершенствование метода нормализации преобразования масштаба с целью улучшить точность результатов. Полезными являются исследования

нормализации изображений с помощью разложений (1)–(4) в условиях действия шума. Интерес представляет анализ метода нормализации при больших углах поворота изображений.

Список литературы: 1. *Путятин Е. П.* Обработка изображений в робототехнике / *Е. П. Путятин, С. И. Аверин.* – М. : Машиностроение, 1990. – 320 с. 2. *Путятин, С. П.* Методы та алгоритми комп'ютерного зору: навч. посібник / *С. П. Путятин, В. О. Гороховатський, О. О. Матат.* – Х. : ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 236 с. 3. *Путятин, Е. П.* Проблема распознавания изображений в системах технического зрения / *Е. П. Путятин* // Проблемы бионики. – Х. : ХТУРЭ, 1999. – Вып. 50. – С. 3–11. 4. *Pei, S. C.* Image normalization for pattern recognition / *S. C. Pei, C. N. Lin* // Image and Vision Computing. – Vol. 13. – 1995. – № 8. – P. 711–723. 5. *Hartley, R.* Multiple view geometry in computer vision, Second Edition / *R. Hartley, A. Zisserman.* – Cambridge : Cambridge university press, 2003. – 655 p. 6. *Моденов П. С.* Геометрические преобразования / *П. С. Моденов, А. С. Пархоменко.* – М. : МГУ, 1961. – 232 с. 7. *Грузман И. С.* Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебн. пособие / *И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых [и др.].* – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с. 8. *Kotoulas, L.* Image analysis using moments / *L. Kotoulas, I. Andreadis* // 5th Int. Conf. on Technology and Automation. – Greece, 2005. – P. 360–364. 9. *Wang, X.-Y.* A New Robust Digital Image Watermarking Based on Pseudo-Zernike Moments / *X.-Y. Wang, L.-M. Hou, H.-Y. Yang* // Multidimensional Systems and Signal Processing. – Vol. 21. – 2010. – № 2. – P. 179–196.

Надійшла до редколегії 22.02.2013

УДК 681.3.07

Сравнительный анализ разложений аффинных преобразований в задаче нормализации изображений / Е. В. Зройчикова, Е. П. Путятин // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 62 (1035). – С. 40–47. – Бібліогр.: 9 назв.

Проаналізовано різні розклади групи афінних перетворень на підгрупи елементарних геометричних перетворень, виконаних послідовно. Досліджено вплив цих розкладів на нормалізацію зображень, проведено порівняльний аналіз. Пропонується вибір параметрів нормалізації для кожного елементарного перетворення на базі моментних ознак зображення.

Ключові слова: нормалізація, афінні перетворення, моментні ознаки, обробка, параметри, розклад.

There have been analyzed different decompositions of affine transformations on the subgroup of elementary geometric transformations performed sequentially. The influence of these decompositions to image normalization has been investigated, the comparative analysis has been made. There have been proposed a choice of normalization parameters for each elementary transformation based on the image moment characteristics.

Keywords: normalization, affine transformations, moment characteristics, processing, parameters, decomposition.