

The article reads about method of image structural elements localization based on cross-correlation between image and pattern. Method of license plate clustering based on positions of found structural elements is given.

Key words: image analysis, clustering, cross-correlation.

УДК 004.932.2

И. О. Архипов, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ МАЛОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ХРОМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Предложены пространственно-хроматические параметры структурных элементов графических изображений, позволяющие с достаточно высокой точностью оценивать размер и цвет размытых малоразмерных линейных объектов графического изображения. Сделаны выводы о свойствах и границах применимости пространственно-хроматических параметров, а также даны рекомендации по преодолению ограничений предлагаемых параметров.

Ключевые слова: графические изображения, пространственно-хроматические параметры, малоразмерные линейные структурные элементы.

При компьютерном анализе графических изображений возникают проблемы из-за недостаточно высокого качества исходного изображения, которое обладает рядом искажений. Предварительная обработка на входе анализатора графического изображения [1, 2] частично решает данную проблему. Однако все методы предварительной обработки обладают теми или иными недостатками, что часто приводит к противоречивым результатам. Например, повышая резкость изображения, можно усилить шумы, а избавляясь от шумов, рискуем уменьшить резкость и т. д.

В данной работе предложен метод измерения геометрических и хроматических параметров структурных элементов по размытым графическим изображениям без использования предварительного улучшения изображения. Особый интерес вызывает задача анализа линейных малоразмерных объектов графического изображения [3]. Под малоразмерными линейными структурными элементами будем понимать объекты графического изображения, поперечный размер которых соизмерим или меньше величины диаметра размытия [4].

В работе [5] предложено оценивать степень размытия изображения и использовать данную информацию для настройки последующего анализатора изображения. Однако предложенный в работе [5] подход предполагает известный априорно закон размытия изображения, что не всегда бывает возможным.

Более перспективными представляются результаты работы [6], где введено понятие пространственно-структурных параметров (ПСП) графического изображения. ПСП несут информацию о размере, расположении и цвете структурного элемента графического изображения и вычисляются на основе мо-

ментов W_i одномерной функции $f(t)$, получаемой путем проведения поперечного сечения через структурный элемент графического изображения, как это показано на рис. 1.

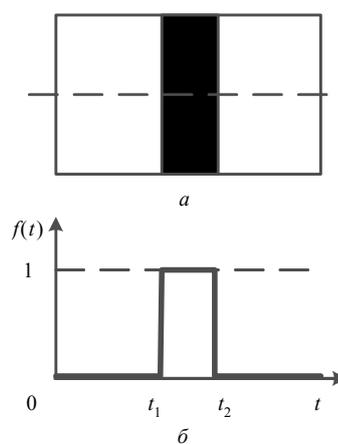


Рис. 1. Модель черного линейного элемента на белом фоне: а – графическое изображение линейного элемента; б – поперечное сечение линейного элемента графического изображения [6]

Назовем функцию $f(t)$ одномерной моделью поперечного сечения структурного элемента графического изображения.

ПСП по [6] являются масса функции (M), центр-ид функции (C), диссипация функции (D) и экстен-т функции (E), которые можно вычислить по следующим выражениям:

$$M = W_0, \quad (1)$$

$$C = W_1 / M, \quad (2)$$

$$D = (W_2 / M) - C^2, \quad (3)$$

$$E = 2\sqrt{3D}. \quad (4)$$

В работе [6] дан следующий физический смысл ПСП: масса функции описывает общую массу линейного объекта с некоторой заданной плотностью распределения масс $f(t)$; центр масс аналогичен «центру тяжести» указанного линейного объекта; диссипация характеризует степени локализации массы линейного объекта вокруг его «центра тяжести»; экстенсент соответствует ширине поперечного сечения линейного объекта, т. е. $t_2 - t_1$ на рис. 1, *a*.

Таким образом, ПСП позволяют описать размер структурного элемента и локализовать его на графическом изображении, а также несут цветовую информацию, однако не выражают цвет явно.

Исходя из физического смысла массы и экстенсента функции, можно утверждать, что их отношение даст амплитуду одномерной модели поперечного сечения линейного структурного элемента графического изображения $f(t)$, что будет соответствовать яркости Y (для монохромного изображения) линейного элемента на графическом изображении:

$$Y = M / E. \quad (5)$$

Рассмотрение яркости (5) совместно с ПСП (1)–(4) позволяет говорить о совокупности характеристик «масса», «центр масс», «диссипация», «экстенсент» и «яркость» как о пространственно-хроматических параметрах (ПХП) линейных структурных элементов графического изображения, позволяющих оценить геометрические и хроматические параметры структурного элемента, а также локализовать его на графическом изображении.

В дальнейших вычислениях вместо изображений линий и двумерных импульсных откликов размывающих фильтров используются одномерные модели их поперечного сечения $f(t)$ для линий, $g(t)$ – для импульсного отклика Гауссова размытия и $w(t)$ – для импульсного отклика равномерного размытия. Одномерные модели линий, размытых по Гауссу, обозначим $f_g(t) = f(t) * g(t)$, а размытых равномерно обозначим $f_w(t) = f(t) * w(t)$, где знак * есть операция свертки.

В работе [6] доказано, что свертка функций приводит к произведению их масс, сложению центров масс и сложению их диссипаций, что позволяет вычислить все ПХП исходной линии (M_f, C_f, D_f, E_f, Y_f) по значениям ПХП импульсного отклика размывающего фильтра (M_i, C_i, D_i, E_i, Y_i) и результирующего размытия (M_r, C_r, D_r, E_r, Y_r).

$$M_f = M_r / M_i = M_r / 1 = M_r, \quad (6)$$

$$C_f = C_r - C_i = C_r - 0 = C_r, \quad (7)$$

$$D_f = D_r - D_i, \quad (8)$$

$$E_f = 2\sqrt{3D_f}, \quad (9)$$

$$Y_f = M_f / E_f. \quad (10)$$

Выражения (6)–(10) справедливы при работе с непрерывной функцией $f(t)$, а графическое изображение представлено в цифровом виде. В этом случае одномерная модель поперечного сечения структурного элемента графического изображения будет описываться дискретной функцией $f(n)$, что приведет к погрешностям в оценке пространственно-хроматических параметров, связанным с эффектами дискретизации и квантования изображения. Величины экстенсента E_f и яркости Y_f , вычисленные по формулам (6)–(10), будут выражены вещественными числами, хотя, исходя из физического смысла данных параметров, их значения для цифрового изображения должны быть целыми. Поэтому для цифрового изображения следует переписать выражение (10) следующим образом (операция, определяемая квадратными скобками, обозначает округление до ближайшего целого числа):

$$Y_f = M_f / \lceil E_f \rceil. \quad (11)$$

Для проверки работоспособности пространственно-хроматических параметров проведены эксперименты по восстановлению ширины и яркости мало-размерных линий после размытия. Исходным структурным элементом была черная линия на белом фоне (рис. 1, *a*) в инверсной шкале яркостей (уровень черного – 255, уровень белого – 0). Координата t_1 на рис. 1, *b* соответствовала пикселу с номером 90. Ширину линии принимали равной значениям из следующего ряда: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 40 и 50 пикселов. Каждую из этих линий размывали равномерным способом с импульсным откликом

$$w(t) = \begin{cases} 1/d, & -d/2 \leq t \leq d/2, \\ 0, & t < -d/2, t > d/2, \end{cases} \quad (12)$$

где d – диаметр размытия.

Также выполнялось размытие по Гауссу с импульсным откликом

$$g(t) = 1/(\sigma\sqrt{2\pi}) \exp(-t^2/2\sigma^2). \quad (13)$$

Степень размытия регулировалась для равномерного случая величиной диаметра размытия d , а для размытия по Гауссу – величиной σ (см. табл. 1).

Значения величины σ подобраны так, чтобы значимый диаметр размытия по Гауссу соответствовал величине диаметра равномерного размытия согласно табл. 1.

В табл. 2 показаны значения ПХП линии шириной 5 пикселов, размытой равномерным способом с диаметром размытия $d = 9$. Табл. 2 показывает, что

исходные значения ширины E_f и яркости Y_f линии достаточно хорошо восстановлены на основе анализа

размытого изображения линии, а также точно определена координата середины линии ($C_f = 92$).

Таблица 1. Величины параметров размытия

Параметр размытия	Значение параметра размытия									
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
d , пикселей	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
σ	0,58	0,91	1,25	1,60	1,97	2,34	2,72	3,11	3,50	3,91

Таблица 2. Значения ПХП для линии шириной 5 пикселей, размытой равномерно ($d = 9$)

W_0	W_1	W_2	M_f	C_f	D_f	E_f	Y_f
1276	117392	10811104	1276	92	1,99	4,88	255,2

Для оценки точности восстановления ширины размытых линий вычислены абсолютные погрешности оценки экстенда. Очевидно, что исходная ширина линии принимает целое значение, поэтому абсолютную погрешность в пределах 0,5 пикселей следует считать допустимой с учетом округления величины экстенда до целого значения.

На рис. 2 показаны графики максимальных значений абсолютной погрешности оценки экстенда в зависимости от ширины исходной линии для размытия по Гауссу и для равномерного размытия. Из рис. 2 видно:

1) максимальная абсолютная погрешность оценки экстенда быстро снижается при увеличении ширины размываемой линии;

2) максимальная абсолютная погрешность оценки экстенда имеет допустимые значения для линий шириной от трех пикселей для равномерного размытия и для линий шириной от пяти пикселей для размытия по Гауссу.

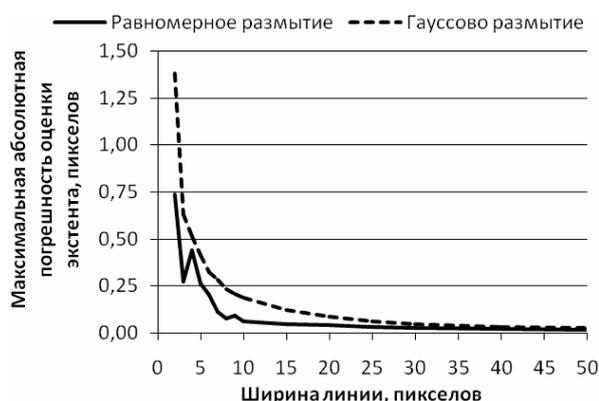


Рис. 2. Величина максимальной абсолютной погрешности оценки экстенда для равномерного размытия и размытия по Гауссу в зависимости от ширины размываемой линии

На рис. 3 изображены графики абсолютной погрешности оценки экстенда в зависимости от степени размытия, где видна тенденция к повышению погрешности измерений при увеличении степени размытия.

Как и предполагалось выше, появление погрешностей в оценке экстенда связано с эффектами дискретизации и квантования. Но есть и второй источ-

ник погрешностей в измерениях. Вычисление ПХП связано с моментами поперечного сечения размытых линий. Моменты функции – это статистические величины, и в случае с малоразмерными элементами, когда в поперечное сечение попадает недостаточное количество данных, точность вычисления моментов функции снижается, особенно моментов высокого порядка.



Рис. 3. Величина абсолютной ошибки оценки экстенда малоразмерных линий в зависимости от степени размытия: а – равномерное размытие; б – гауссово размытие

Для оценки точности восстановления яркости определены абсолютные погрешности оценки параметра Y_f от ожидаемого значения в разных условиях. Выше были установлены допустимые значения ширины линий, для которых возможно точно оценить

значение экстенда. Линии меньшей ширины далее не рассматриваются, так как ПХП не обеспечивают необходимой точности оценки ширины линии (в этом случае следует повысить разрешение изображения).

В табл. 3 приведены значения максимальной абсолютной погрешности оценки яркости. Символ (X) в табл. 3 обозначает случаи, когда ПХП не позволяют достоверно оценить ширину линии, а значит, и ее яркость. Табл. 3 показывает, что максимальная абсолютная погрешность оценки яркости не превышает 3,0 уровней квантования, а для линий шириной от 5 пикселей и выше – не превышает 1,4 уровня квантования, что означает достаточно высокую точность восстановления цвета малоразмерного структурного элемента графического изображения после размытия.

Таблица 3. Значения максимальной абсолютной погрешности оценки цвета для линий разной ширины при равномерном размытии и размытии по Гауссу

Ширина линии, пикселей	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальная абсолютная погрешность для равномерного размытия, уровней квантования	X	3,0	1,5	0,8	1,0	0,3	0,5	0,4	0,6
Максимальная абсолютная погрешность для размытия по Гауссу, уровней квантования	X	X	X	1,4	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0

Проведенные эксперименты позволяют сделать выводы о свойствах и ограничениях пространственно-хроматических параметров малоразмерных структурных элементов графического изображения:

1) ПХП позволяют восстановить начальные значения размера и яркости размытого малоразмерного структурного элемента графического изображения;

2) минимальный размер структурного элемента при котором ПХП остаются работоспособны, со-

ставляет три пиксела для равномерного размытия и пять пикселей для размытия по Гауссу;

3) при соблюдении условия, сформулированного в выводе 2, исходная ширина размытой линии восстанавливается абсолютно точно;

4) если размер структурного элемента графического изображения не менее пяти пикселей, то значение его яркости после размытия можно восстановить с точностью до одного уровня квантования для равномерного размытия и размытия по Гауссу.

Предложенный в данной работе метод оценивания размеров и яркости структурных элементов по размытому графическому изображению требует вычисления параметров размытия, что является самостоятельной задачей. В экспериментах, описанных в данной работе, величина размытия была заранее известна. На практике параметры размытия изображения можно определить по методике, предложенной в работе [5].

Библиографические ссылки

1. *Прэнтт У.* Цифровая обработка изображений : пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – Кн. 2. – 480 с. : ил.
2. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. *Бодров А. С., Халтобин В. М.* Автоматическая система распознавания малоразмерных объектов с использованием простых и комплексных признаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : сб. науч. статей. – 2010. – Т. 7. – № 4. – С. 56–63.
4. *Живичин А. Н., Соколов В. С.* Дешифрирование фотографических изображений. – М. : Недра, 1980. – 253 с.
5. *Кольцов П. П.* Оценка размытия изображения // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35. – № 1. – С. 95–102.
6. *Мурынов А. И., Вдовин А. М., Лялин В. Е.* Оценка геометрико-топологических параметров деталей изображения на основе метода центроидной фильтрации // Химическая физика и мезоскопия. – 2002. – Т. 4. – № 2. – С. 161–177.

I. O. Arkhipov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Modeling and Analysis of Linear Low-Sized Structural Elements of Graphics Images on the Basis of Usage of Spatially Chromatic Parameters

The article proposes spatially chromatic parameters for structural elements of graphics images that enable to evaluate size and color of diffuse low-sized linear objects of graphics images with a sufficiently high accuracy. Conclusions are made about characteristics and usability boundaries of spatially chromatic parameters. In addition, recommendations on overcoming the limitations of the proposed parameters are given.

Key words: graphics image, spatially chromatic parameters, low-sized linear structural elements.