

**Е. Ф. Ж и г а л к о, М. Ю. П а х н у ш е в а** (Санкт-Петербург, ПГУПС, СПбГУ). **Об делимости букв русского алфавита в пространстве инвариантов.**

Один из подходов в решении задачи распознавания и идентификации образов заключается в обращении к характеристикам объекта, независимым от его положения на растре, масштаба, ориентации и др., какими могут служить интегральные моментные инварианты  $\{M_1-M_7\}$ , обозначим (1) [1] и  $\{I_1-I_3\}$ , обозначим (2) [2], значения которых ставятся в соответствие конкретному изображению. Величины (1) являются инвариантами относительно сдвига, масштаба и поворота, а (2) инвариантны относительно сдвига, масштаба, поворота, отражения и независимых растяжений, т. е. относительно аффинных преобразований. Конкретная фигура, для которой вычислены инварианты, становится точкой в пространстве (1) либо (2). Если  $\Sigma = \{\sigma_j\}$  ( $j = 1, 2, \dots, M$ ) — конечное множество фигур («алфавит»), то соответствующие им точки являются векторными измерениями своих фигур.

Задача идентификации может быть поставлена следующим образом: пусть  $S$  — множество образов на дискретной сетке  $Oxy$ , которые являются результатом некоторого отображения  $F: \Sigma \mapsto S$ . Идентификация заключается в указании элемента из  $\Sigma$ , соответствующего конкретному элементу из  $S$ . В [3] предложена процедура идентификации, опирающаяся на сравнение парных расстояний между точками-образами букв в пространстве инвариантов. Исследование свойств (1) и (2) показало, что некоторые из инвариантов имеют малые абсолютные значения (становятся непаритетными), что снижает эффективную размерность координатного пространства. В [4] предложена процедура регуляризации инвариантов, позволяющая перевести часть непаритетных компонент базиса в класс паритетных. В ней вырабатываются порядковые факторы на основе учета того, что первые инварианты в (1) и (2) — всегда паритетные, а норма оставшихся непаритетными сопоставима с ошибкой (дисперсией) каждого из паритетных. Элементы  $S$  — суть растровые изображения своих прообразов-букв, характеризуются значениями яркости в каждой точке  $(x, y)$  и являются случайными образами («контурами») своего прообраза-буквы (если имеется несколько случайных контуров одной буквы, то можно говорить о случайном рельефе буквы — прямой сумме яркостей образов). Под *растром* будем понимать прямоугольную матрицу, соответствующую изображению  $S_j$ , элементы которой определяются как значения яркости  $S_j(x, y)$ .

Имея  $N_{S_j}$  образов для каждой буквы  $\sigma_j$ , мы можем вычислить для нее различные моментные характеристики. Нечеткость случайных «контуров» буквы вызывает рассеяние точек, являющихся ее образами в пространстве инвариантов, сказывающееся на идентификации. Две буквы, расстояние между которыми больше суммы их дисперсий, — делимы. Далее под делимостью алфавита понимается попарная делимость всех букв.

Необходимо видеть, что инварианты в теории выражены интегралами по буквам, имеющими непрерывные контуры. Фактически, для их расчета используется сеточный метод, что влечет за собой появление погрешности дискретизации, и аффинные инварианты (1) и (2) для объектов, подверженных преобразованиям с погрешностью (т. е. слабо неаффинным) перестают быть инвариантами. Очевидно, что погрешности растеризации тем меньше, чем выше подробность растра, но для оценки ее величины требуется отдельный анализ.

*Подробностью* растра будем называть количество ячеек растра, приходящихся на единицу линейного размера изображения.

Так, при подробности растра равной 1, квадрат размером 20 на 20, размещенный на растре 100 на 100, будет иметь координаты  $(0; 20)$ ,  $(20; 0)$ . При увеличении подробности в 5 раз этот же квадрат будет располагаться на растре 500 на 500 и иметь координаты  $(0; 100)$ ,  $(100; 0)$ .

Рассмотрим влияние растеризации на делимость букв русского алфавита, на-

писанных чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304-81, обозначим его  $L$ , рис. 1.

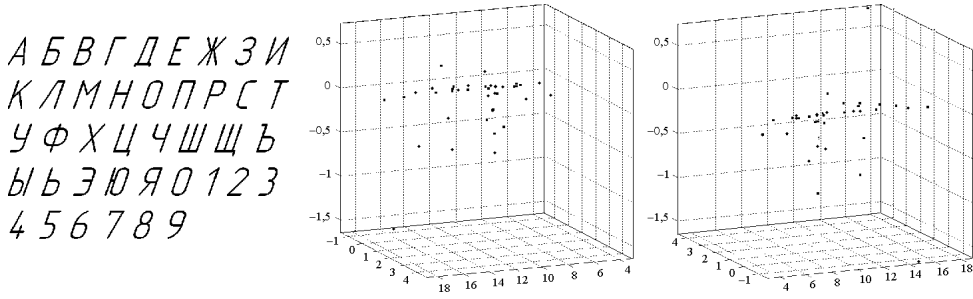


Рис. 1. Изображение  $L$ : растровое и в пространстве (2)

Для исследования зависимости попарной отделимости букв от подробности раstra было проведено следующее моделирование: рассмотрены растры с подробностями 352, 402, 452, ..., 1502. Для каждой подробности раstra и каждой буквы осуществлено 60 реализаций контуров со случайным поворотом буквы. Имея случайные контуры букв и вычисляя значения (1) и (2), можем получить разброс значений инвариантов, вызванный величиной подробности раstra. Такой разброс будет влиять на отделимость букв, а количество неотделимых букв будет уменьшаться с ростом подробности.

Результаты моделирования представлены на рис. 2.

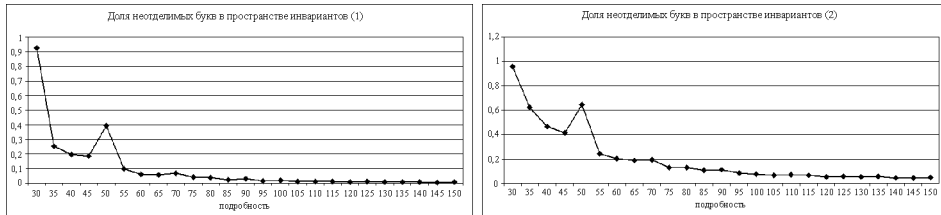


Рис. 2. Доля неотделимых букв  $L$  в пространстве (1) и (2) в зависимости от подробности раstra

Нетрудно видеть, что общая картина близка к установившейся при подробности 100, а такая подробность достижима для большинства современных сканирующих устройств.

Обозначим  $L$  алфавит, состоящий из латинских букв и цифр, написанных в соответствии с тем же ГОСТ 2.304-81.

Координаты алфавитов  $L$  и  $L$  представлены в следующей табл. 1.

Таблица 1.

$L$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$	$M_7$	$I_1$	$I_2$	$I_3$
А	5,54E-01	8,15E-02	7,40E-02	1,35E-03	5,25E-06	2,49E-04	5,69E-06	5,62E-02	-7,81E-05	-2,47E-03
Б	7,38E-01	1,91E-01	1,60E-02	4,65E-03	3,40E-05	1,15E-03	2,89E-05	8,84E-02	2,05E-06	-2,56E-04
Ж	4,81E-01	5,67E-02	3,42E-04	6,03E-04	3,30E-07	8,62E-05	6,19E-08	4,37E-02	1,53E-08	8,89E-06
Ю	5,36E-01	4,42E-02	4,82E-04	1,91E-03	-1,16E-06	-1,43E-04	5,27E-07	6,09E-02	4,71E-07	9,02E-05
$L$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$	$M_7$	$I_1$	$I_2$	$I_3$
А	5,55E-01	8,23E-02	7,64E-02	1,09E-03	5,79E-06	1,55E-04	-2,85E-07	5,64E-02	-8,50E-05	-2,50E-03
S	1,10E+00	6,37E-01	6,47E-03	5,44E-03	3,43E-05	2,31E-03	-1,42E-06	1,45E-01	1,34E-06	1,93E-04
U	8,34E-01	1,08E-01	7,30E-03	1,08E-02	-4,15E-05	2,98E-03	-1,42E-05	1,47E-01	1,77E-05	-4,32E-04
W	5,87E-01	6,51E-05	3,21E-02	1,37E-02	-2,59E-04	-8,29E-05	-2,40E-05	8,61E-02	6,78E-05	-6,45E-04

Координаты алфавитов  $L$  и  $L$  (средние отклонения) представлены в табл. 2.

Таблица 2.

$L$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$	$M_7$	$I_1$	$I_2$	$I_3$
	7,72E-01	2,65E-01	9,17E-02	2,61E-02	3,80E-03	9,44E-03	6,22E-04	9,21E-02	6,01E-05	-9,90E-04
	3,90E-02	8,42E-02	2,51E-02	2,14E-03	1,91E-04	1,38E-03	6,49E-05	7,71E-04	1,76E-07	7,91E-06
$L$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$	$M_7$	$I_1$	$I_2$	$I_3$
	8,44E-01	3,90E-01	1,06E-01	2,95E-02	4,46E-03	1,30E-02	1,45E-03	9,21E-02	8,24E-06	-1,31E-03
	4,81E-02	1,50E-01	2,83E-02	2,27E-03	2,06E-04	1,55E-03	6,38E-05	1,06E-03	3,03E-07	1,36E-05

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hu M.* Visual pattern recognition by moment invariant. — IRE Trans. Inf. Theory, 1962, v. 8, p. 179–187.
2. *Flusser J., Suk T.* Pattern recognition by affine moment invariants. — Pattern Recognition, 1993, v. 26, № 1, p. 167–174.
3. *Жигалко Е. Ф., Пахмушева М. Ю.* Исследование свойств метода моментных инвариантов применительно к линейной классификации и идентификации изображений. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2009, т. 16, в. 2, с. 327–329.
4. *Жигалко Е. Ф., Пахмушева М. Ю.* О регуляризации пространства инвариантов. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2009, т. 16, в. 6, с. 1062–1064.