Двухкритериальный алгоритм распознавания объектов графических изображений на базе КЭКМ*

Л.И. Лебедев, Ю.Г Васин
lebedev@pmk.unn.ru|pmk@unn.ac.ru
НИИ прикладной математики и кибернетики
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Национальный исследовательский университет, Нижний Новгород, Россия

В работе описывается алгоритм распознавания графических изображений на базе корреляционно-экстремального контурного метода (КЭКМ) с использованием двух критериев для оценки сходства объекта с эталоном. В качестве дополнительного критерия берется оценка расстояния Хаусдорфа между контурами исходного объекта и восстановленного объекта, описание которого формируется на базе эталона, дающего наименьшее среднеквадратическое отклонение (СКО). Предлагается быстродействующий алгоритм оценивания расстояния Хаусдорфа.

Ключевые слова: *распознавание, расстояние Хаусдорфа, оценка сходства, объект изображения, эталон, КЭКМ, СКО.*

Twocriterial Recognition Algorithm of Graphic Objects on the Base CECM*

L.I. Lebedev, Yu.G. Vasin
Research Institute of Applied Mathematics and Cybernetics
Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod
National Research University, Nizhni Novgorod, Russia

The paper describes the algorithm of recognition of graphic images on the basis of correlation-extreme contour method (CECM) from using two criteria for the evaluation of similarity of a object with the standard . As an additional criterion of assessment is taken Hausdorff distance between the contours of the original object and the reconstructed object, the discription of which is formed on the basis of standard, giving the lowest meansquare deviation (MSD). It proposed a fast algorithm for estimating the Hausdorff distance.

Keywords: *Recognition, Hausdorff distance, Evaluation of similarity, Image object, Standard, CECM, MSD.*

1. Введение

Корреляционно-экстремальные контурные методы распознавания базируются на вычисление оценок сходства эталонов с объектом, инвариантных относительно ортогональных преобразований и масштабирования (ОПМ) и используют векторную (контурную [1]) модель представления объектов изображения. Получение оценки сходства осуществляется на основе вычисления среднеквадратической ошибки (оценки близости) для согласованных описаний эталона **E** и объекта **O**, минимальной по параметрам ОПМ [2, 3, 4]. Таким образом, если описание эталона задано последовательностью точек $\mathbf{w^e} = \{\mathbf{w_1^e}, \mathbf{w_2^e}, ..., \mathbf{w_m^e}\}$, а объекта последовательностью $\mathbf{w} = \{\mathbf{w_1}, \mathbf{w_2}, ..., \mathbf{w_m}\}$, где $\mathbf{w} = (x, y)^T$, то вычисление минимального значения СКО и оптимальных параметров ОПМ осуществляется по формулам:

– минимума СКО ε_m: $\varepsilon_m = \mathbf{Dw} - R^2/\mathbf{Dw_e}$;
– угла вращения α: $\tan\alpha = \mathrm{Sn}/\mathrm{Cs}$;
– коэффициента масштабирования k_m: $k_m = R/\mathbf{Dw_e}$;
– смещения $\Delta\mathbf{w^e}$: $\Delta\mathbf{w^e} = \overline{\mathbf{w}} - k_m \cdot \mathbf{A} \cdot \overline{\mathbf{w}}^\mathbf{e}$.

В приведенных формулах приняты следующие обозначения используемых величин и правил их нахождения: – значения величин Sn и Cs вычисляются по смешанным корреляционным моментам описаний контуров эталона и объекта

$$\mathrm{Sn} = \mathrm{cov}(\mathbf{x^e}, \mathbf{y}) - \mathrm{cov}(\mathbf{y^e}, \mathbf{x}),$$

$$\mathrm{Cs} = \mathrm{cov}(\mathbf{x^e}, \mathbf{x}) + \mathrm{cov}(\mathbf{y^e}, \mathbf{y});$$

$-R$ находится из выражения $R = Sn^2 + Cs^2$, а Dw^e и Dw находятся по значениям покоординатных дисперсий описаний контуров эталона и объекта соответственно $\mathbf{Dw^e} = \mathbf{Dx^e} + \mathbf{Dy^e}$, $\mathbf{Dw} = \mathbf{Dx} + \mathbf{Dy}$; $-\ \overline{\mathbf{w}}^\mathbf{e}, \overline{\mathbf{w}}$ являются средними значениями описаний контуров **E** и **O**.

Вычислительная сложность КЭКМ определяется сложностью получения смешанных корреляционных моментов и с учетом специфики их нахождения оценивается величиной $O(m + k)$.

2. Постановка задачи

Базовая оценка сходства в КЭКМ отражает среднеквадратическую близость контуров эталона и

Работа выполнена и опубликована при финансовой поддержке РФФИ, гранты 13-07-00521, 15-07-20347.

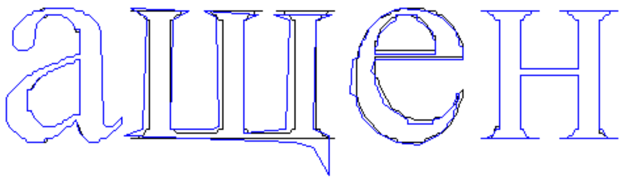

Рис. 1: Оптимальное наложение контуров.

объекта. Известно, что она наиболее эффективна при искажениях описаний контуров, полученных при наложении случайного шума, представляющего нормальное распределение $\mathrm{N}(0, \Sigma)$. Однако, такую же величину СКО можно получить и при различных искажениях контуров при наложении импульсной помехи. В таких случаях, например, буква 'ш' может быть опознана как символ 'щ' , если в списке эталонов она отсутствует. Это приводит к ошибкам при распознавании и, как следствие, к снижению качества распознавания. На рисунке 1 черным цветом представлены исходные изображения контуров букв, а синим цветом - оптимальное наложение контуров эталонных символов.

Простое решение этой проблемы состоит в повышении порога на степень сходства, однако при распознавании это ведет к увеличению числа отказов (что также снижает качество распознавания). При распознавании с самообучением это ведет к необоснованному увеличению числа эталонов, а также к уменьшению быстродействия алгоритма. Кроме того, распознавание на базе КЭКМ является основой при формировании эффективного формата представления сжатого представления графических изображений. А при решении задачи сжатия изображений выдвигается требование восстановления описаний объектов с контролируемой точностью, что в полном объеме не может обеспечить базовая оценка сходства. Таким образом, обозначенные проблемы распознавания требовали введения дополнительного критерия сходства, основанного на вычисление максимального расстояния d_H между контурами объекта и эталона при их оптимальном наложении. Отсюда следует, что дополнительная оценка сходства, базирующаяся на нахождении расстояния d_H, должна вычисляться только в случае, когда базовая оценка сходства объекта с эталоном будет удовлетворять требуемым условиям.

3. Методы решения

Для оценки степени отклонения двух контуров, исходного и восстановленного, предлагается использовать расстояние Хаусдорфа. В соответствии с определением, расстояние Хаусдорфа для двух множеств, которые представлены точками контура эталона $\mathbf{z} \in \mathbf{C_E}$ и контура объекта $\mathbf{v} \in \mathbf{C_O}$, будет находиться в соответствии с формулой [5]:

$$d_H = \max\{\sup_{\mathbf{z}\in\mathbf{C_E}} \inf_{\mathbf{v}\in\mathbf{C_O}} \|\mathbf{z\text{-}v}\|, \sup_{\mathbf{v}\in\mathbf{C_O}} \inf_{\mathbf{z}\in\mathbf{C_E}} \|\mathbf{z\text{-}v}\|\}.$$

Нахождение расстояние Хаусдорфа d_H в вычислительном плане является в этом случае сложной, и в общем случае, трудно разрешимой задачей в режиме реального времени. Однако в нашем случае требуется не само значение расстояние Хаусдорфа d_H , а в основном его оценка δ_H , которую можно было бы использовать в качестве критерия при распознавании объектов изображения.

Из анализа алгоритма получения базовой оценки близости следует, что вычисление смешанных корреляционных моментов $\mathrm{cov}(\mathbf{x^e}, \mathbf{x})$, $\mathrm{cov}(\mathbf{x^e}, \mathbf{y})$, $\mathrm{cov}(\mathbf{y^e}, \mathbf{x})$, $\mathrm{cov}(\mathbf{y^e}, \mathbf{y})$, требует формирования вспомогательных описаний контуров эталона и объекта [4].

Вспомогательные описания эталона и объекта получаются на основании исходных описаний путем вставки на этих контурах дополнительного числа точек, инициируемых вершинами многоугольников объекта и эталона соответственно. Для этого длины ребер исходного описания многоугольников объекта и эталона при вставлении новых точек вначале масштабируются в пропорции, равной отношению длин контуров (то есть в отношении S^e/S и S/S^e соответственно). В вспомогательных описаниях количество вершин как у эталона так и объекта будет одинаковое и не будет превышать $n = (m + k - 1)$.

Поэтому, если вспомогательные описания эталона и объекта будут согласованы и получены для эталона с наибольшей оценкой сходства, то восстановленный контур объекта можно использовать для получения оценки δ_H. Действительно, если $\dot{\mathbf{w}}^\mathbf{e} = \{\dot{\mathbf{w}}^\mathbf{e}_\mathbf{1}, \dot{\mathbf{w}}^\mathbf{e}_\mathbf{2}, ..., \dot{\mathbf{w}}^\mathbf{e}_\mathbf{n}\}$ вспомогательное описание эталона $\mathbf{E}$, а $\dot{\mathbf{w}} = \{\dot{\mathbf{w}}_\mathbf{1}, \dot{\mathbf{w}}_\mathbf{2}, ..., \dot{\mathbf{w}}_\mathbf{n}\}$ объекта $\mathbf{O}$, то восстановленное описание объекта будет представлено выражением $\widetilde{\mathbf{w}} = \{\widetilde{\mathbf{w}}_\mathbf{1}, \widetilde{\mathbf{w}}_\mathbf{2}, ..., \widetilde{\mathbf{w}}_\mathbf{n}\}$, где координаты точек $\widetilde{\mathbf{w}}_\mathbf{i}$ находятся по формуле $\widetilde{\mathbf{w}}_\mathbf{i} = k_m \cdot \mathbf{A} \cdot \dot{\mathbf{w}}^\mathbf{e}_\mathbf{i} + \Delta\mathbf{w^e}$ при оптимальных значениях параметров $(\alpha, k_m, \Delta\mathbf{w^e})$, $\mathbf{A}$ $-$ матрица вращения на угол α.

Тогда в качестве оценки расстояния Хаусдорфа первоначально берется величина

$$\delta_H = \max_{i=\overline{1,n}} \|\dot{\mathbf{w}}_\mathbf{i} - \widetilde{\mathbf{w}}_\mathbf{i}\|$$

В случае, когда значение $\delta_H < P_H$ меньше максимально допустимой величины, то и расстояние Хаусдорфа будет удовлетворять этому условию и, следовательно, восстановленный контур эталона будет удовлетворять требуемым условиям. Если для некоторой вершины j выполняется неравенство $r_j > P_H$, где $r_j = \|\dot{\mathbf{w}}_\mathbf{j} - \widetilde{\mathbf{w}}_\mathbf{j}\|$, то вычисляются расстояние $\dot{d}_j$ от точки $\dot{\mathbf{w}}_\mathbf{j}$ до ломаной линии $\widetilde{\mathbf{w}}_\mathbf{j\text{-}1}\widetilde{\mathbf{w}}_\mathbf{j}\widetilde{\mathbf{w}}_{\mathbf{j+1}}$(или расстояние $\dot{d}_j$ от точки $\dot{\mathbf{w}}_\mathbf{j}$ до одномерных симплексов, сформированных на базе ребер, примыкающих к вершине j). Аналогично находится расстояние $\widetilde{d}_j$ от точки $\widetilde{\mathbf{w}}_\mathbf{j}$ до ломаной линии $\dot{\mathbf{w}}_{\mathbf{j-1}}\dot{\mathbf{w}}_\mathbf{j}\dot{\mathbf{w}}_{\mathbf{j+1}}$ и из полученных расстояний выбирается максимальное значение d_j : $d_j = \max\{\dot{d}_j, \widetilde{d}_j\}$. Далее, из полученных значений d_j выбирается наибольшее, которое и принимается за уточненную оценку близости контуров δ_H. Если при этом будет выполняться неравенство $\delta_H > P_H$, то результат восстановления не будет удовлетворять предъявляемым требованиям, и на основе этого объекта будет сформирован новый эталон при распознавании в режиме с самообучением, а в режиме распознавания этот объект будет отнесен к классу "отказов". Если для обновленной оценки расстояния Хаусдорфа будет выполняться неравенство $\delta_H < P_H$, то дальнейшего уточнения оценки δ_H не предполагается, и предъявляемый объект будет отнесен к распознанным.

4. Полученные результаты

Описанный алгоритм получения оценки близости δ_H был встроен в процедуру распознавания с самообучением, реализованной на базе КЭКМ.

Тестируемым изображением была страница текста, выполненная шрифтом Times New Roman. При использовании дополнительной оценки близости δ_H список эталонов увеличился еще на 12 единиц. Половину из них представляли заглавные буквы, которые опознавались по эталонам прописных букв при использовании только базовой оценки сходства. Была исправлена ошибка при распознавании буквы 'ш' путем добавления эталона этого символа. Еще 5 эталонов было дополнительно получено на основе букв полужирного шрифта. В итоге из совокупности 5174 контуров данного изображения было выделено 78 эталонов. Качество распознавания повысилось на 0.8%.

5. Заключение

Проведенный анализ сложности алгоритма распознавания с использованием двух критериев оценки сходства показала, что основное снижение быстродействия происходит за счет увеличения числа эталонов. Вычисление дополнительной оценки близости δ_H практически не сказывается на быстродействии алгоритма распознавания.

Литература

[1] *Делоне Б.Н, Райков Д.А.* Аналитическая геометрия. // Том 1. – М.: Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1948. – 456 с.

[2] *Васин Ю.Г., Лебедев Л.И.,Пучкова О.В.* Контурные корреляционно-экстремальные методы обнаружения и совмещения объектов видеоинформации. // Автоматизация обработки сложной графической информации: Межвуз.темат.сб.науч.тр. // Под ред. Ю.Г.Васина.- Горьков.гос.ун-т, Горький, 1987. С.97-112.

[3] *Васин Ю.Г., Лебедев Л.И.* Задача нахождения согласованных описаний в корреляционно-экстремальных контурных методах распознавания. // Математические методы распознавания образов (ММРО-15): 15-ая Всеросс. конф.: Сборник докладов. / М.: Изд-во ООО "МАКС Пресс 2011. – С.342-345.

[4] *Лебедев Л.И.* Корреляционно - экстремальные контурные методы распознавания. Теоретические основы: Учебное пособие. – Нижний Новгород, Изд-во Нижегородского государственного университета, 2013. – 113 с.

[5] *Хаусдорф Ф.* Теория множеств. // М.-Л.: Объединенное научно-техническое изд-во НКТП СССР, 1937. – 305 с.