

УДК 621.398.727.12.001.5

DOI: 10.24160/1993-6982-2017-5-117-120

Распознавание слитных рукописных слов с помощью нечетких глирафов

А.В. Князев

Рассмотрен метод распознавания слитного рукописного текста, основанный на понятии глирафа — конструкции, объединяющей свойства графа и линейчатого рисунка. По исходному изображению рукописного слова построен модифицированный глираф как совокупность линий толщиной в одну точку, называемых плетями. Глирафу сопоставляется опорный граф, вершинами которого являются концевые точки плетей и узловые точки, в которых сходится несколько плетей, а ребрами являются сами плети. Нечеткий глираф — это глираф с нечетким опорным графом. Он формируется во время обучения.

Описаны процедуры построения нечеткого глирафа и сравнения опорных графов. Предложен вариант распознавания слитных рукописных слов как взаимодействие двух процессов — объединения определенных множеств плетей в группу и идентификации сформированных групп как некоторых символов. Процесс объединения плетей в группу представляет собой выделение некоторого подглирафа в исходном глирафе, а идентификация символа — это определение сходства выделенного подглирафа и библиотечных глирафов, представляющих символы. Разбиение слова на подглирафы — задача неоднозначная, здесь возможны различные варианты, поэтому результатом данного этапа является граф символов слова — ориентированный граф без циклов, ребра которого соответствуют символам. Каждый путь в этом графе от начальной до конечной вершины представляет собой один из возможных вариантов распознавания данного слова. Идентификация выполняется в несколько шагов. На первом шаге отыскиваются эталонные глирафы, нечеткие опорные графы которых сходны с опорным графом идентифицируемого глирафа, и определяется степень сходства опорных графов. На втором шаге производится сравнение плетей найденных эталонных глирафов с соответствующими плетями идентифицируемого глирафа. При этом вычисляются коэффициенты схожести соответствующих плетей и общий коэффициент схожести глирафов. На третьем шаге выбирается эталонный глираф, наиболее схожий с идентифицируемым глирафом, и сопоставляется символ этого эталонного глирафа.

Ключевые слова: распознавание, рукописный текст, нечеткий глираф.

Для цитирования: Князев А.В. Распознавание слитных рукописных слов с помощью нечетких глирафов // Вестник МЭИ. 2017. № 5. С. 117—120. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-5-117-120.

Recognition of Joined-up Handwritten Words by Means of Fuzzy Glyraphs

A.V. Knyazev

A method for recognizing a joined-up handwritten text is considered. Central to the method is the concept of glyraph, a special construction combining the properties of a graph and a line drawing. A modified glyraph is constructed proceeding from the original image of a handwritten word as a set of lines with a thickness of one point, called branches. The glyraph is mapped to the support graph whose vertices are the end points of branches and the nodal points at which several branches converge, and whose edges are the branches themselves. A fuzzy glyraph is a glyraph with a fuzzy support graph, which is constructed in the course of training.

Procedures for constructing fuzzy glyraphs and for comparing their support graphs are described. One possible procedure for recognizing joined-up handwritten words involving interaction of two processes, namely, combining certain sets of branches into a group and identifying the obtained groups as some characters, is proposed. The combining of branches into a group is essentially a selection of some subglyraph in the original glyraph, and identification of a character implies recognition of similarity between the selected subglyraph and library glyraphs representing the characters. Decomposition of a word into subglyraphs is an ambiguous task that may imply various cases, due to which this phase is ended with the graph of word characters, which is an oriented graph without cycles, whose edges correspond to the characters. Each path in this graph from the initial vertex to the final one represents one of possible cases of recognizing the word. The identification is performed in a few steps. At the first step, the reference graphs the fuzzy support graphs of which are similar to the support graph of the glygraph being identified are found, and the similarity degree of the support graphs is determined. At the second step, the branches of the found reference glyraphs are compared with the corresponding branches of the glyraph being identified. In so doing, the similarity coefficients of the corresponding branches and the overall similarity coefficient of glyraphs are calculated. At the third stage, the reference glyraph most similar to the glyraph being identified is selected, and the character of this reference glyraph is compared.

Key words: recognition, handwritten text, fuzzy glyraph.

For citation: Knyazev A.V. Recognition of Joined-up Handwritten Words by Means of Fuzzy Glyraphs. MPEI Vestnik. 2017;5: 117—120. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2017-5-117-120.

Рассмотрена задача распознавания слитно написанных рукописных слов как наиболее сложная из задач, возникающих при распознавании рукописного текста.

При распознавании рукописного текста можно опираться на различные подходы, в частности основанные на использовании скрытых моделей Маркова [1, 2], структурных особенностей букв и слов [3, 4] или нейронных сетей [5,6].

В [7] опубликован метод распознавания рукописных слов, базирующийся на использовании глирафов, графоподобных конструкций, обладающих свойствами как графов, так и линейчатых рисунков. В [8] описаны модифицированные глирафы. В настоящей работе предложен метод на основе модифицированных глирафов с нечетким опорным графом, или нечетких глирафов.

На этапе предварительной обработки изображение скелетизируется с целью получения линий толщиной в одну точку. Таким образом, слово выглядит как набор точек на дискретной плоскости с шагом 1 (рис. 1). Подробное описание процесса скелетизации представлено в [8].

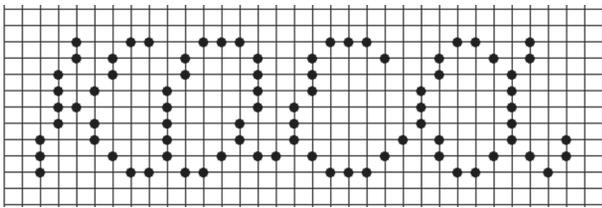


Рис. 1

При построении модифицированного глирафа используется отсканированное нескелетизированное изображение (после удаления шумов). В этом случае линии, образующие слово, имеют толщину более одной точки. Модифицированный глираф строится следующим образом: на дискретную плоскость изображения накладывается сетка с шагом h ($h > 1$), ее узлы, по которым проходят линии изображения слова, становятся вершинами модифицированного глирафа.

На рис. 2 изображена дискретная плоскость с наложенной сеткой (шаг равен 5) и изображением буквы «н» (для удобства восприятия нарисован только внешний контур линий буквы). Черные точки обозначают вершины модифицированного глирафа.

Алгоритм построения модифицированного глирафа представлен в [8].

На рис. 3 показан модифицированный глираф для буквы «н», изображенной на рис. 2.

Перейдем к обсуждению нечетких глирафов. На рис. 4 приведен нечеткий глираф буквы «а».

Вершины опорного графа нарисованы белыми точками и пронумерованы. В таблице представлен пример описания нечеткого опорного графа этого глирафа.

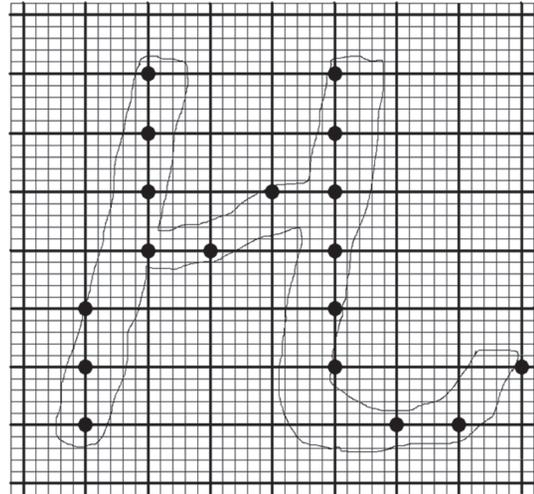


Рис. 2

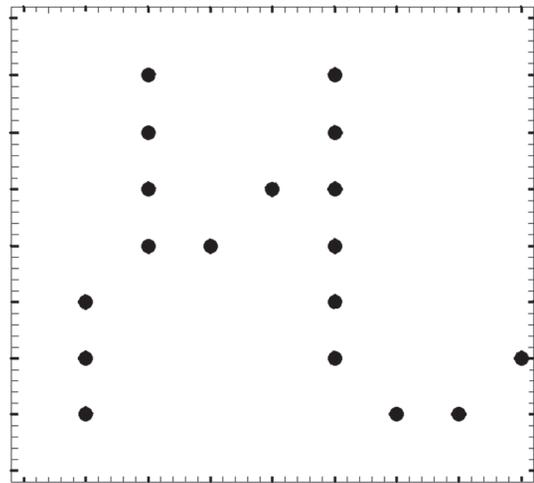


Рис. 3

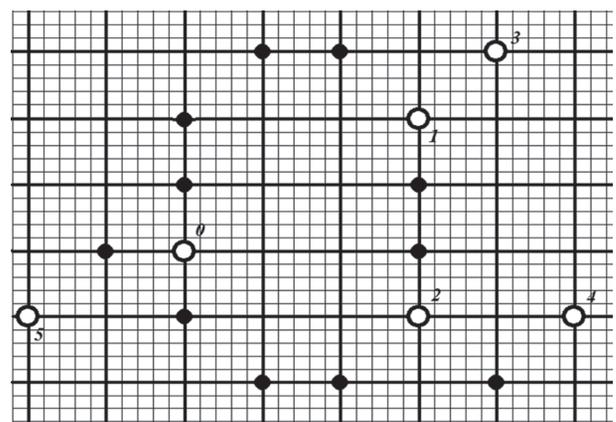


Рис. 4

Можно предположить, что степень принадлежности для ребра 0—5 (значение функции принадлежности этого ребра нечеткому множеству ребер графа) равно 0,3; для ребра 1—3 — 0,8, т. е. эти ребра могут входить или не входить в граф, остальные ребра всегда входят в граф, для них степень принадлежности равна 1.

Описание нечеткого опорного графа

Номер вершины	0	1	2	3	4	5
0	0	1	0	0	0	0,3
1	1	0	1	0,8	0	0
2	0	1	0	0	1	0
3	0	0,8	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0
5	0,3	0	0	0	0	0

Нечеткий опорный граф глирафа формируется в процессе обучения. На вход подаются образцы букв, для каждого образца формируется модифицированный глираф и выполняется следующая процедура.

ЦИКЛ по эталонам данной буквы

Берется опорный граф эталонного глирафа

Формируется опорный граф входного глирафа

Выполняется сравнение этих опорных графов

ЕСЛИ графы совпадают ТО

Осуществляется пересчет степеней принадлежности ребер

ИНАЧЕ

Проверяется вложенность графов модифицированных глирафов

ЕСЛИ один граф вложен в другой ТО

Формируется дополнительная вершина опорного графа

Пересчитываются степени принадлежности ребер

ИНАЧЕ

Входной глираф включается в число эталонных глирафов

Прервать цикл

КОНЕЦ_ЕСЛИ

КОНЕЦ_ЕСЛИ

КОНЕЦ_ЦИКЛ

Опорные графы сравниваются следующим образом:

- на основании опорного графа строится взвешенный граф путем включения информации о местоположении вершин;

- вершины графа упорядочиваются по возрастанию абсцисс и ординат вершин;

- сравниваются последовательности вершин;
- если выявлено сходство последовательностей, то графы считаются схожими;

- если сходство не выявлено, то осуществляется перестановка концевых вершин для почти вертикальных плетей;

- проводится повторное сравнение последовательностей вершин;

- если выявлено сходство последовательностей, то графы считаются схожими, в противном случае они не схожи.

Итак, будем считать, что имеем глираф распознаваемого слова.

Подробно процедуры построения модифицированного глирафа, последующего распознавания слова, а также пример графа представлены в [8]:

Что касается вопроса построения нечеткого глирафа, то на втором и третьем шагах процесс выполняется так, как это описано в [8], без изменений. Первый шаг выполняется иначе, поэтому рассмотрим его подробнее. Пусть в наличии имеются нечеткий опорный граф эталонного глирафа и опорный граф входного глирафа. Далее выполним следующие действия:

- проверим, вложен ли опорный граф входного глирафа в опорный граф эталонного глирафа;

- если вложенности нет, то глирафы несхожи и проверка прерывается;

- если вложенность имеет место, то вычисляется коэффициент схожести опорных графов по формуле

$$k_{\text{опор}} = \frac{\sum_j s_j \mu_j}{\sum_j s_j} \left(1 - \frac{\sum_i d_i}{2l} \right),$$

где s_j — длина j -й плети; μ_j — степень принадлежности соответствующего ребра нечеткого опорного графа; d_i — расстояние между i -ми вершинами опорных графов; l — расстояние между базовыми линиями.

Коэффициенты схожести i -х плетей и глирафов описаны в [8].

Таким образом, с каждым из отобранных эталонных глирафов находится эталонный глираф, наиболее схожий с идентифицируемым, и идентифицируемому глирафу приписывается символ этого эталонного глирафа.

Рассмотрен подход к распознаванию слитного рукописного текста, основанный на использовании нечетких глирафов. Описана процедура построения нечеткого опорного графа модифицированного глирафа, приведена процедура распознавания слитного рукописного слова, изложен способ определения степени схожести глирафов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 14-01-00671а).

Литература

1. **Artieres Th., Marucatat S.** Online Handwritten Shape Recognition Using Segmental Hidden Markov Models // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2007. V. 29. No. 2. Pp. 205—217.

2. **Xue H., Govindaraju V.** Hidden Markov Models Combining Discrete Symbols and Continuous Attributes in Handwriting Recognition // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2006. V. 28. No. 3. Pp. 458—462.

3. **Chichang J., Hang-Chang L.** Handwritten Numeral Recognition Based on Simplified Structural Classification and Fuzzy Memberships // Expert System Appl. 2009. V. 36. No. 9. Pp. 11858—11863.

4. **Qiao Y., Nishiara M., Yasuhara M.** A Framework Toward Restoration of Writing Order From Single-Stroke

Handwriting Image // IEEE Trans. Pattern Analysis And Machine Intelligence. 2006. V. 28. No. 11. Pp. 1724—1737.

5. **Ghosh M., Ghosh R.** A Fully Automated Offline Handwriting Recognition System Incorporating Rule Based Neural Network Validated Segmentation and Hybrid Neural Network Classifier // Intern. J. Pattern Recognition and Artificial Intelligence. 2004. V. 18. No. 7. Pp. 1267—1283.

6. **Астахова И.Ф., Мищенко В.А., Краснояров А.В.** Алгоритм обучения нечеткой нейронной сети Ванга – Менделя для распознавания рукопечатных символов в работе почтовой службы // Вестник ВГУ. Сер. «Системный анализ и информационные технологии». 2011. № 2. С. 144—148.

7. **Князев А.В.** Об одном подходе к распознаванию рукописных слов // Вестник МЭИ. 2010. № 5. С. 124—128.

8. **Князев А.В.** Распознавание слитных рукописных слов с помощью модифицированных глирафов // Вестник МЭИ. 2016. № 1. С. 39—43.

References

1. **Artieres Th., Marucatat S.** Online Handwritten Shape Recognition Using Segmental Hidden Markov Models. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2007;29;2:205—217.

2. **Xue H., Govindaraju V.** Hidden Markov Models Combining Discrete Symbols and Continuous Attributes in Handwriting Recognition. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2006;28;3:458—462.

3. **Chichang J., Hang-Chang L.** Handwritten Numeral Recognition Based on Simplified Structural Classification and Fuzzy Membershios. Expert System Appl. 2009;36;9:11858—11863.

4. **Qiao Y., Nishiara M., Yasuhara M.** A Framework Toward Restoration of Writing Order From Single-Stroke Handwriting Image. IEEE Trans. Pattern Analysis And Machine Intelligence. 2006;28;11:1724—1737.

5. **Ghosh M., Ghosh R.** A Fully Automated Offline Handwriting Recognition System Incorporating Rule Based Neural Network Validated Segmentation and Hybrid Neural Network Classifier. Intern. J. Pattern Recognition and Artificial Intelligence. 2004;18;7:1267—1283.

6. **Astahova I.F., Mishchenko V.A., Krasnoyarov A.V.** Algoritm Obucheniya Nchetkoy Neyronnoy Seti Vanga – Mendelya dlya Raspoznavaniya Rukopechatnyh Simvolov v Rabote Pochtovoy Sluzhby. Vestnik VGU. Ser. «Sistemnyy Analiz i Informatsionnye Tekhnologii». 2011;2:144—148.

7. **Knyazev A.V.** Ob Odnom Podhode k Raspoznavaniyu Rukopisnyh Slov. Vestnik MPEI. 2010;5:124—128.

8. **Knyazev A.V.** Raspoznavanie Slitnyh Rukopisnyh Slov s Pomoshch'yu Modifitsirovannyh Glirafov. Vestnik MPEI. 2016;1:39—43.

Сведения об авторе

Князев Анатолий Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры математического моделирования НИУ «МЭИ», e-mail: KnyazevAV@mpei.ru

Information about author

Knyazev Anatoliy V. – Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Mathematical Modeling Dept., NRU MPEI, e-mail: KnyazevAV@mpei.ru

Статья поступила в редакцию 23.11.2016