

**АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РУКОПИСНОГО СИМВОЛА
С ЦЕЛЬЮ АНАЛИЗА ПРАВИЛЬНОСТИ ЕГО НАПИСАНИЯ**

Хаустов П.А.

Научный руководитель: Спицын В.Г., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: exceibot@tpu.ru

**THE ALGORITHM OF CONSTRUCTING HANDWRITTEN CHARACTER'S TOPOLOGICAL
MODEL TO ANALYZE THE CORRECTNESS OF ITS WRITING**

Khaustov P.A.

Scientific Supervisor: Spitsyn V.G., PhD, professor
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: exceibot@tpu.ru

The algorithm for character topology composition has been proposed. Metrics for character graphs comparison has been suggested. The proposed algorithm has been implemented in character processing application and has been approved on MNIST handwriting characters database and writing characters examples from the forms of a unified state exam.

Введение. При подготовке школьников России к единому государственному экзамену, как правило, основной акцент делается на решение самих заданий. Однако организаторы единого государственного экзамена все чаще замечают недостаточную подготовленность школьников России в плане умения правильно заполнять бланки ЕГЭ, учитывая предложенные им примеры начертания символов. Школьники нередко пренебрегают правилами заполнения бланков и не следуют строго приведенным примерам.

Возникает закономерное предположение о целесообразности разработки автоматической системы для проверки качества начертания символов в бланках для выполнения экзаменационных заданий. К основным трудностям, которые возникают в процессе разработки подобной системы, можно отнести неоднозначность при выборе способа представления начертаний символов, аналогичную неоднозначность при выборе функции оценки схожести двух начертаний, а также необходимость разъяснения тестируемому, почему такое начертание имеет недостаточную степень схожести с предложенным ему примером начертания символа.

Предложенный метод. С учетом необходимости аргументирования оценки степени схожести с некоторым эталонным изображением, возникает необходимость в подходе, отличном от использования нечетких классификаторов, таких как искусственные нейронные сети, аппарат нечеткой логики или машины опорных векторов [1]. Для изображения символа замену нечетким классификаторам можно выполнить с использованием построения топологической модели графического представления этого символа. Одним из вариантов представления начертания символа является его представление в виде

планарного графа, вершинами которого являются некоторые ключевые точки начертания символа, а ребрами – соединяющие их участки пикселей этого начертания. Ребра при таком представлении, как правило, не могут быть представлены в виде отрезков на плоскости. Каждое из таких ребер может быть задано в виде некоторого количества последовательно соединенных отрезков, дуг и, возможно, эллиптических дуг.

Для получения информации о топологии начертания символа необходима предварительная скелетизация (утонышение) его графического представления [2]. После выполнения скелетизации, множество различных графических представлений, соответствующих начертанию одного и того же символа существенно сужается.

Так как каждый из общеизвестных алгоритмов скелетизации, обладающих высоким быстродействием, имеет свои недостатки, было решено последовательно использовать два известных алгоритма: алгоритм утончения Зонга-Суня и алгоритм Ву-Цая. Первый из этих алгоритмов периодически допускает присутствие на итоговом изображении неутонченных элементов (группы плотно расположенных пикселей), второй – зачастую удаляет небольшие элементы графического представления символа (важные с точки зрения топологии выступы на графическом представлении). Вследствие чего было высказано предположение об использовании алгоритма Ву-Цая для устранения нежелательных необработанных участков, оставшихся после использования алгоритма Зонга-Суня.

Для получения топологической модели по уже утонченному изображению используется многократный запуск алгоритма Ли, который является частным случаем применения алгоритма обхода в ширину для компонент восьми-связности [3]. В роли вершин используются все пиксели, принадлежащие графическому представлению символа и, при этом, не являющиеся фоном. С помощью набора эвристик, опирающихся на относительное расположение соседних пикселей для каждого пикселя графического представления символа обнаруживаются ключевые пиксели, которые последовательно удаляются перед очередным запуском алгоритма Ли. При каждом запуске этого алгоритма, он обнаруживает новые ключевые пиксели.

Ключевые пиксели подразделяются на две группы:

- пиксели, которые являются узловыми точками графического представления символа (такими точками являются места, где инструмент начертания поднимался, опускался или изменял направление своего хода);
- пиксели, которые являются точками перегиба, но не относятся к узловым точкам (такие точки используются для задания формы соединительных линий между ключевыми пикселями).

Все оставшиеся пиксели изображения относятся к соединительным элементам между ключевыми точками. Таким образом, графическое представление символа можно преобразовать в планарный граф, имеющий композитные ребра, состоящие из обычных пикселей и пикселей – точек перегиба. Для уточнения структуры графа необходимо аппроксимировать каждый из участков черных пикселей между двумя точками-перегибами некоторым графическим примитивом. Тривиальным случаем такого графического примитива может служить отрезок или пара отрезков, образующих соединение. В некоторых случаях задать с помощью одного-двух отрезков из-за высокой степени кривизны соединительной линии. В таком случае рационально использовать аппроксимацию с помощью дуги. При такой аппроксимации радиус и положение соответствующей итоговой дуге окружности должен

определяться в зависимости от координат соединяемых ключевых точек и степени кривизны соединяющей линии. В некоторых случаях степень кривизны соединяющей линии соответствует слишком большому радиусу окружности, в результате чего окружность большей частью может выходить за пределы изображения, существенно отдаляя полученную топологическую модель от графического представления начертания символа. В таких случаях имеет смысл аппроксимировать такую соединяющую кривую с использованием дуги эллипса.

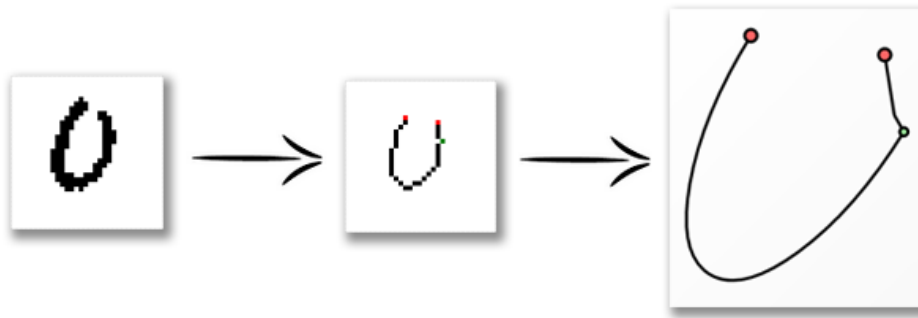


Рис. 1. Пример использования дуги эллипса в топологическом представлении

Таким образом, итоговая топологическая модель может быть представлена в виде планарного графа, вершины которого соответствуют ключевым пикселям графического представления символа, а ребра – последовательности линий (отрезков и кривых), соединяющих этих ключевые пиксели. Каждая из вершин может быть описана своим положением, а каждый из участков ребер – идентификаторами соединяемых вершин и степенью кривизны. Причем каждый из участков соединяющих линий может быть аппроксимирован как отрезком, так и дугой окружности или эллипса.

Полученную топологическую модель было решено сохранять в xml-файл, для визуализации такого формата было реализовано web-приложение с использованием javascript. Координаты всех вершин и узловых точек ломанных нормированы так, чтобы изображение целиком умещалось внутри квадрата с углами в точках $(0; 0)$ и $(1; 1)$.

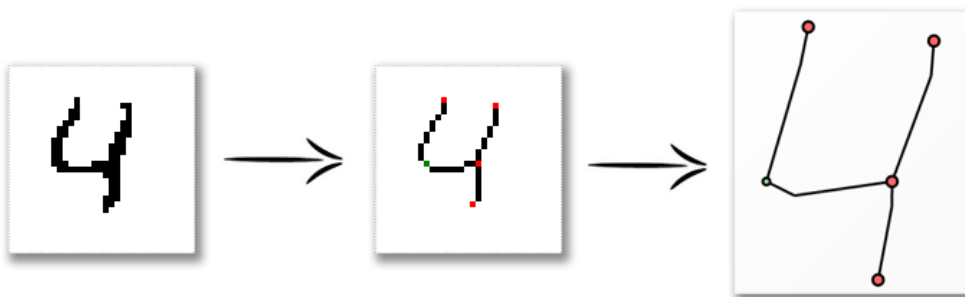


Рис. 2. Пример обработки графического представления символа

Для проверки некоторого начертания символа на соответствие указанному шаблону необходимо ввести некоторую функцию, отражающую степень сходства между двумя топологическими моделями. Для сравнения двух топологических моделей имеет смысл использовать геометрическое представление каждого из ребер соответствующего планарного графа.

Например, оценкой степени схожести двух соединяющих линий может послужить площадь фигуры, заключенной между ними: чем меньше эта площадь – тем больше похожи эти линии. Для каждой пары ребер первой и второй топологических моделей можно определить это числовое значение. После чего можно составить двудольных граф. Вершины первой доли этого графа будут соответствовать ребрам первой топологической модели, а вершины второй доли – ребрам второй топологической модели. Каждое из ребер в полученном графе будут соответствовать определенной паре соединительных линий двух сравниваемых топологических моделей. Весом ребра в таком случае будет площадь фигуры, заключенной между двумя соответствующими этому ребру кривыми. В таком графе требуется найти максимальное паросочетание минимального веса. Результирующий вес полученного паросочетания можно использовать в качестве количественной меры схожести двух топологических моделей и, как следствие, соответствующих им символов.

Полученные результаты. На данный момент производится апробация предложенного подхода на работах учащихся Томской области. В качестве эталонных изображений используются образцы начертаний из бланков ЕГЭ прошлых лет (пример таких изображений представлен на рис. 3).



Рис. 3. Образцы начертания символов из бланков ЕГЭ прошлых лет

При тестировании установлено, что линейная зависимость времени работы алгоритма от количества пикселей на изображении подтверждается высоким быстродействием на практике. Построение топологической модели, так же как и сравнение двух моделей, занимает не более секунды на современных процессорах.

Предварительные результаты демонстрируют, что алгоритм выдает релевантные значения оценки степени схожести для обрабатываемых входных изображений.

В обозримом будущем планируется разработать и сравнить с существующими другие способы оценки степени схожести двух топологических моделей. Также планируется апробировать алгоритм на школьниках Томской области с целью оценки качества сравнения на более полном наборе данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schantz, Herbert F., The history of OCR, optical character recognition – «Recognition Technologies Users Association», 1982. – 213 p.
2. Роджерс Д., Алгоритмические основы машинной графики – М.: Мир, 1989. – с. 54-63
3. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход – М.: Мир, 1978. – 145 с.