

## СЕГМЕНТАЦИЯ ИСКАЖЕННОГО РАСТРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ АЛФАВИТНО-ЦИФРОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

**Введение.** Автоматическое распознавание графических образов текстовой информации, основанное на технологиях компьютерного зрения (Computer Vision), используется в самых разнообразных приложениях: обработка анкет, идентификация регистрационных номеров, считывание сумм на банковских документах и т.п. Для этого растровый образ входного изображения подвергается символическому описанию, включающему необходимые процедуры сегментации (на строки, слова и символы) и распознавания (классификации) отдельных символов. Эффективная реализация названных процедур существенно затрудняется, если изображение имеет значительные искажения. Источники искажений различного типа (включая преднамеренные искажения) присутствуют практически на всех этапах формирования изображения [1].

Очевидным проявлением искажений графического образа текстовой (алфавитно-цифровой) последовательности является слияние отдельных фрагментов, при этом вероятность слияния символов внутри слова намного превышает вероятность слияния отдельных слов или строк текста. В данной работе представлен алгоритм сегментации фрагментов алфавитно-цифровых последовательностей, а именно – слов из слитых символов с искривленным начертанием, не использующий каких-либо специализированных dll-библиотек и других типовых средств.

### 1. Постановка задачи

В качестве входной информации будем рассматривать некоторое статическое растровое изображение с 1-битной глубиной представления пикселей, содержащее точно одно слово алфавитно-цифровых символов. При этом степень искажения (искривления раstra, слияния символов) должна допускать однозначную дешифрируемость слова в субъективном восприятии, как, например, на рисунке 1.



Рисунок 1 – Искаженный растровый образ слова (выделены области слияния символов)

Каждый выделенный сегмент изображения (символ) масштабируется в один из стандартных форматов (например, 29×29 пикселей) и подается на некоторый типовой модуль распознавания. Распознавание может выполняться, например, классификатором топологических признаков (например, дефицита формы типа «дыра») и/или классификатором поточечного соответствия эталону [2]. Результат распознавания выдается обычно в виде вероятности совпадения анализируемого сегмента с одним или несколькими символами некоторого алфавита.

Разбиение сложного изображения на сегменты может быть осуществлено неединственным способом, поэтому наилучшему варианту сегментации должен соответствовать максимум некоторой интегральной оценки, основанной на достоверности распознавания всех найденных в данном варианте сегментов.

### 2. Описание алгоритма сегментации

Общая структура алгоритма базируется на перечисленных ниже процедурах. Первая из них пояснений не требует, особенности остальных процедур представлены далее.

1) Исходное изображение слова ориентируется горизонтально, основываясь на достижении максимального соотношения длины изображения к его высоте. Отдельные сегменты выделяются последовательно, например, слева направо, путем их отсекания вертикальными или близко к ним ориентированными отрезками.

2) Поиск опорных точек, которые определяют возможные секущие отрезки, выполняется по признаку вогнутости внешнего контура изображения на его верхних либо нижних границах.

3) Множество возможных секущих отрезков составляют: отрезки, заданные парами опорных точек, а также отрезки, задаваемые одной опорной точкой и дополнительным условием, конкретизирующим их направление.

4) Набор возможных секущих определяет дерево вариантов сегментации изображения. В процессе перебора вариантов качество каждого шага сегментации оценивается вероятностью совпадения выделенного сегмента с некоторым символом (определяется модулем распознавания). Интегральная оценка каждого варианта вычисляется в виде произведения пошаговых вероятностей, т.е. как итоговая вероятность соответствия изображения некоторой последовательности символов.

*Опорные точки сегментации* определяются путем анализа кривизны внешнего контура изображения; так как точки вогнутости хорошо пригодны для сегментации формы [1]. Простейшие методы контурной сегментации, например, алгоритм прослеживания контура, чувствительны к его случайным погрешностям (шероховатостям). Более эффективно использование методов соединения точек перепадов (например, по правилу Робертса, либо согласно алгоритму Робинсон), обеспечивающих сглаживание посторонних перепадов контура. Аналитической характеристикой формы является функция кривизны, для дискретного изображения кривизна контура; определяемая как:  $k(s_i) = \Phi(s_i) - \Phi(s_{i-1})$ , где  $\Phi(s_i) = \arctg \left\{ \frac{y(s_i) - y(s_{i-1})}{x(s_i) - x(s_{i-1})} \right\}$ , а  $x(s_i)$  и  $y(s_i)$  — координаты  $i$ -го элемента контура  $s_i$ . Формальным признаком вогнутости, при обходе контура в положительном направлении, является отрицательное значение кривизны ( $k < 0$ ).

В данной задаче, однако, рассматриваются лишь точки существенной вогнутости, превышающей заданный порог кривизны:  $k < -K$ . Кроме того, поскольку сегментация выполняется преимущественно вертикальными отрезками, то в качестве опорных не следует рассматривать точки, расположенные на боковых (левой и правой) границах контура. Иными словами, в некоторой окрестности  $\delta = 1, 2, \dots, \Delta$  опорной точки должно соблюдаться одно из дополнительных условий:  $\forall \delta | y(s_{i \pm \delta}) > y(s_i)$  (вогнутость типа А на верхней границе контура), либо  $\forall \delta | y(s_{i \pm \delta}) < y(s_i)$  (вогнутость типа В на нижней границе контура). Пример определения опорных точек обоих типов приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 — Опорные точки сегментации на внешнем контуре изображения  
(○ - вогнутость типа А, ● - вогнутость типа В)

Множество возможных секущих формируется, исходя из найденных опорных точек, в виде основного (I) и двух дополнительных (II и III) подмножеств.

Основное подмножество составляют отрезки, концами которых служат пары разнотипных опорных точек и которые удовлетворяют следующим условиям:

- опорная точка типа А расположена выше опорной точки типа В;
- наклон отрезка отличается от вертикали на величину, не превышающую заданное пороговое значение  $\gamma$ ;

в) длина отрезка не превышает заданное пороговое значение  $l$ .

Дополнительные подмножества образуют секущие, включающие только одну из опорных точек любого типа, вторая же точка отрезка находится на противоположной части контура (выше либо ниже, соответственно, для опорных точек типа А и В): так, что для подмножества II секущая ориентирована строго вертикально, а для подмножества III — по кратчайшей длине сечения. Дублирующие и очень близкие друг к другу секущие исключаются, при этом приоритет имеют секущие из подмножества с меньшим номером.



Рисунок 3 — Возможные секущие сегментации

(— - секущие подмножества I, --- - секущие подмножества II, ···· - секущие подмножества III)

Дерево вариантов сегментации изображения составляется из множества возможных секущих, отсортированных слева направо, по следующим правилам:

- каждая секущая определяет один или несколько узлов дерева, при этом старшим узлом дерева соответствуют секущие, расположенные левее;
- число элементарных ветвей, связывающих старший узел с младшими, равно числу секущих, расположенных правее той, что соответствует старшему узлу.

При увеличении мощности множества возможных секущих, сформированное дерево становится весьма громоздким. В этом случае целесообразно проведение предварительной сегментации изображения, в ходе которой распознавание символов не осуществляется, а выполняется лишь проверка величины сегмента, отсекаемого на каждом шаге: если сегмент слишком мал, соответствующая элементарная ветвь удаляется из дерева. Аналогично могут удаляться элементарные ветви, соответствующие сегментам слишком большого размера, с некорректной формой (пропорцией длина/высота) или топологией (содержащим, например, три и более дыр). Связное дерево, после сокращения, пригодно для собственно сегментации.

Выбор вариантов сегментации реализуется путем назначения конкретного маршрута в узлах дерева. Как уже упоминалось, в качестве оценки успешности каждого шага сегментации (элементарной ветви между узлами) может быть принято значение вероятности соответствия выделенного на данном шаге сегмента некоторому символу, которое определяется модулем распознавания сегментов. В простейшем случае, «хороший» вариант сегментации изображения можно получить, выбирая, в каждом очередном узле маршрута, наилучшую (с наибольшей вероятностью соответствия сегмента) элементарную ветвь. Такая последовательная стратегия имеет наименьшую вычислительную сложность, но не гарантирует эффективной сегментации в целом, наилучшей в смысле максимизации итоговой вероятности (равной произведению всех пошаговых вероятностей). Поэтому, с учетом допустимого соотношения вычислительных затрат на сегментации и достигаемой эффективности, может быть реализована также одна из расширенных стратегий:

- выбор, в каждом очередном узле маршрута, двух или более элементарных ветвей с наивысшими вероятностями соответствия;
  - исключение, в каждом очередном узле маршрута, одной либо нескольких элементарных ветвей с очевидно низкими вероятностями соответствия;
  - реализация всех возможных маршрутов (вариантов сегментации).
- Наилучший вариант выбирается из сформированного набора по критерию максимума итоговой вероятности. Заметим также, что реализация расширенных стратегий, кро-

ме собственно вычислительных затрат, требует также дополнительных ресурсов машинной памяти.

### 3. Апробация алгоритма. Выводы

Разработанный алгоритм был реализован на MS .NET-платформе с использованием объектно-ориентированного языка программирования C# и технологий на базе указателей [3], обеспечивающих необходимую производительность обработки графических изображений. Апробация алгоритма осуществлялась в составе системы, включающей модуль распознавания типа MLP на основе многослойного персептрона, а также модули предварительной и постобработки изображений (масштабирование, удаление шума, бинаризация, определение замкнутых контуров и др.), освещение которых не входит в основную задачу данного исследования.

В таблице приведены примеры сегментации тестовых графических образов, представляющих собой искаженные изображения алфавитно-цифровых последовательностей.

Исходное изображение			
Сегменты			
Результат распознавания	13250	ywcfg	5C9GV
Вероятность соответствия	0,5608	0,9592	0,4847

Невысокие, в ряде случаев, значения итоговой вероятности соответствия распознанных сегментов выходной последовательности символов, по-видимому, связаны с особенностями функционирования (диапазоном выходных значений вероятности) модуля распознавания, так как собственно распознавание во всех приведенных примерах очевидно безошибочное.

Таким образом, предлагаемый алгоритм сегментации имеет приемлемую вычислительную сложность, эффективен и практически пригоден для обработки искаженных символьных последовательностей, а потому перспективен для построения систем обработки растровых изображений без использования векторной графики.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1: Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 480 с.
- 2: Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. – Мн.: Амафeya, 2000. – 304 с.
- 3: Троелсен Э. C# и платформа .NET 3.0. – С-Пб.: Питер, 2008. – 1456 с.

УДК 004.514.62

Жук А.М.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Костюк Д.А.

### АДАПТАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ОСНОВАМ ЯЗЫКА АССЕМБЛЕРА ДЛЯ ОС GNU/LINUX

Все больше различных организаций, в т.ч. в странах СНГ, используют ОС семейства GNU/Linux. В России начался перевод учреждений образования на эту ОС. Главными достоинствами GNU/Linux, относящимися к образовательным учреждениям, являются: полная бесплатность, частые обновления дистрибутивов, обеспечивающие высокий