

МНОГОСЛОЙНЫЙ АНАЛИЗ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЙ: МЕТОД, АЛГОРИТМЫ, ПРИЛОЖЕНИЯ.

А.В. Бовырин, А.В. Губанов, В.Ф. Курякин, К.В. Родюшкин, Б.М. Чудинович

ЗАО “Нижегородская лаборатория программных технологий”,
Россия, г. Н.Новгород, ул. Тургенева, д. 14.,
<mailto:chudinovich@nstl.nnov.ru>

ABSTRACT

In this paper we consider an efficient approach of structural analysis and recognition of the gray-scaled and color images. The basis of the approach is very fast algorithm of multilevel vectorization of image [1]. Using rather structural, topological features of contours and inter-level analysis, then metric features we construct stable and fast procedures of recognition for different applications. We describe the approach in details, and explain the source of its efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Идея многослойного структурного анализа и распознавания изображения состоит в использовании нескольких представлений изображения для принятия решений о том, что на нем изображено.



Рис.1.



Рис.2



Рис.3.

На рисунке 1 для прочтения надписи надо прочитать белые буквы на черном фоне (белый слой), черные на белом (черный слой) и объединить результаты чтения в каждом слое – осуществить межслойную обработку. Рисунок 2 является полутоновой версией рисунка 1. Здесь число слоев увеличивается. Рисунок 3 естественно разбивается на цветные слои и, например, в задаче редакции изображения типа “изменить цвет фона или букв” такое разбиение на слои обязательно..

В работе рассматривается использование векторных моделей для многослойного анализа изображения. Основой является быстрый алгоритм построения контуров на растровых изображениях и библиотека функций векторной обработки, предложенные в [1]. Основная идея работы состоит в следующем. Первичная обработка изображения осуществляется на некотором числе уровней представления исходного изображения, которые представляют слои изображения. Для бинарных изображений это “негатив – позитив”, для полутоновых изображений слоями являются бинарные изображения, полученные на разных уровнях пороговой обработки, для цветных – цветоотделенные слои. На каждом слое строится векторное представление изображения – контуры связанных фигур данного слоя. Распознавание разбивается на внутрислойное - осуществляется в пределах слоя, и на

межслойное – по результатам распознавания в слоях. Выбор векторного представления в качестве базового для многослойного анализа изображений обусловлен еще и тем, что векторные представления изображений достаточно высокой сложности размером 100×100 пикселей можно получить алгоритмом из [1] на современных персональных компьютерах со скоростью 1000–3000 кадров в секунду. В работе рассматриваются алгоритмы обработки видео изображений стандартных размеров в реальном времени (до 100 кадров в сек) на основе многослойной обработки и организации областей интереса в разных слоях представления изображения алгоритмом поддержки кадра реального времени.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

Исходной математической моделью плоского изображения является функция изображения: неотрицательная и ограниченная действительная функция двух переменных $0 \leq f(x, y) \leq 1$ для всех $(x, y) \in \Omega$ - конечной прямоугольной области на плоскости. Дискретизованное в конечном числе отсчетов (x, y) и квантованное по значениям представление $f(x, y)$ называется растром или цифровым изображением. Оно может быть представлено в виде прямоугольной матрицы элементов изображения (пикселей) $R = (r_{ij})$ с координатами i, j . В зависимости от значений принимаемых элементами изображения будем рассматривать три типа растров.

BR = (br_{ij}) – бинарный растр, элементы растра r_{ij} принимают два значения $br_{ij} \in \{0, 1\}$ (0-элементы и 1-элементы).

HR = (hr_{ij}) – полутоновый растр, элементы растра принимают значения из заданного набора чисел, например, $hr_{ij} \in \{0, 1, \dots, I-1\}$ (hr_{ij} - пиксели).

CR = (cr_{ij}) - цветной растр $cr_{ij} \in \{v_1, v_2, \dots\}$, где в трехцветной модели растра вектор $v_i = (r_i, g_i, b_i)$ соответствует точке трехцветного цветового RGB пространства.

Связность на бинарном растре: два пикселя (элемента растра) br_{ij} и br_{kn} 4-связны, если $|k - i| + |n - j| = 1$ и 8-связны, если $0 < |k - i| \leq 1$. 4-связные элементы растра лежат в смежных столбцах или строках растра, 8-связные элементы могут быть связаны и по диагонали растра. Множество элементов бинарного растра называется 4-связным (8-связным), если любые два элемента этого множества могут быть связаны последовательностью смежных 4-связных (8-связных) элементов этого множества. В дальнейшем такое множество называется связной 0-фигурой (1-фигурой) на растре: 4-связной или 8-связной. Элемент связной 1-фигуры (0-фигуры) называется граничным, если в его окрестности есть как 1-элементы, так и 0-элементы.

Контуром связной фигуры является множество его граничных элементов. Основными формами представления контуров являются их цепные коды и замкнутые ломаные, вершинами которых являются координаты пикселей, входящих в контуры. Различают внешние контуры связных фигур и внутренние контуры (контуры дыр), последние имеют направление обхода противоположное внешнему контуру. При построении контуров на бинарном растре следует учитывать тип связности смежных элементов.

При векторизации изображения плодотворным является представление бинарного растра в отрезках (Run) (в литературе они называются сериями, штрихами, хордами). Последовательность смежных 1-элементов (0-элементов) в строке бинарного растра называют 1-отрезком (0-отрезком). Для горизонтальных строк растра будем использовать координатное представление отрезка: $run = \langle xs, xe \rangle$, где xs - x -координата начала отрезка, xe - x -координата конца отрезка. Два отрезка $run1 = \langle xs1, xe1 \rangle$ и $run2 = \langle xs2, xe2 \rangle$ в смежных строках растра 8-связны, если $(xe1 \geq xs2) \& (xe2 \geq xs1)$, и 4-связны, если $((xe1 > xs2) \& (xe2 > xs1))$.

Множество отрезков бинарного растра называется 4-связным (8-связным), если любые два элемента этого множества могут быть связаны последовательностью смежных 4-связных (8-связных) отрезков этого множества. Контур на отрезках состоит из последовательностей концов отрезков. Опишем алгоритм [1] построения контуров в отрезках более детально. На каждом шаге обрабатывается пара смежных строк. Возможные ситуации по связности отрезков в двух смежных строках растра имеют вид (см. рис. 4):

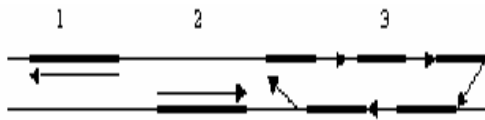


Рис. 4

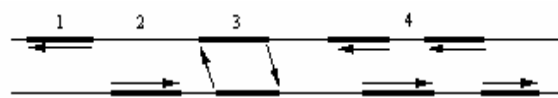
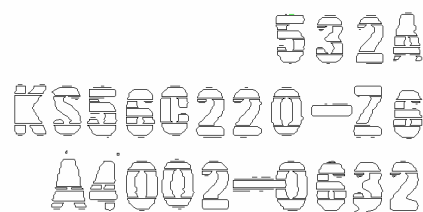
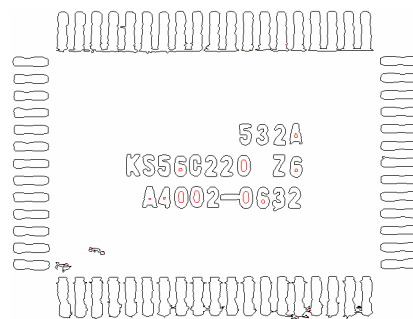
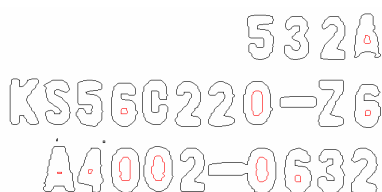
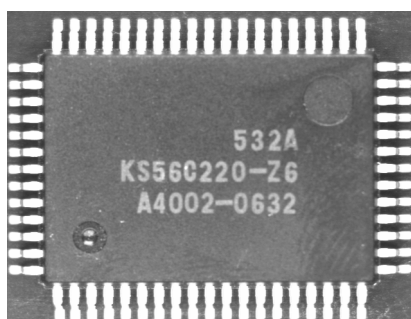


Рис. 5

На рисунке стрелкой отмечены порядок вхождения концов отрезка в контур. Алгоритм последовательно обрабатывает пары строк: 1 и 2-ю, 2-ю и 3-ю и т.д., устанавливая контурные связи по правилу рисунка 4. Первая и последняя строки растра предполагаются пустыми. Назовем 1-отрезки базовыми, а 0-отрезки дополнительными. Пусть нам необходимы контуры базовых отрезков и их дыр. Для получения неразрывных 4-связностью контуров дыр используем следующий прием: применяем 8-связный алгоритм, как к базовым, так и дополнительным отрезкам. При извлечении внешних контуров базовых отрезков, определяются потенциальные начала их внутренних контуров, и при отслеживании внутренних контуров, отслеживаются контуры дополнительных контуров.

Рассмотрим полезный в приложениях тип связанных фигур без дыр и алгоритм их построения в представлении растра в отрезках. Связные фигуры этого типа состоят из 8-связных (4-связных) отрезков и отличаются тем, что фигура содержит только по одному отрезку из строки растра. Контур таких фигур не содержит дыр. Назовем такие связанные фигуры фигурами одно-отрезковой ширины (ФОШ), так как они содержат по “высоте” только один отрезок из строки растра.

Решающие правила для включения концов отрезков в такие контуры показаны на рис. 5. Алгоритм разделяет четыре случая связности отрезков в двух строках. Стрелками показано, в каком порядке концы отрезков включаются в контур. При рассмотрении случая три можно учитывать отношение длин отрезков и если длины отрезков отличаются на пороговую величину, то в этом случае обработка ведется по правилу 4. На рисунках ниже показаны контуры полутонового изображения электронной детали, построенные на представлении растра в отрезках (контуры общего вида) и контуры фигур одно-отрезковой ширины при некотором пороге бинаризации.



Представление раstra в отрезках допускает естественные расширения и обобщения, как собственно отрезков, так и контуров. Рассмотрим полутоновые отрезки. Бинаризация полутонового раstra – это преобразования типа $HR(hr_{ij}) \rightarrow BR(br_{ij})$. К числу таких преобразований можно отнести многочисленные типы пороговой обработки полутонового раstra.

Пусть $t \in \{0, 1, \dots, I-1\}$, и b_0 и b_1 – пара бинарных уровней яркости из множества $\{0, 1, \dots, I-1\}$. Пороговое преобразование преобразует полутоновой пиксель в бинарный по следующему правилу:

$hr_{ij} = b_0$, если $hr_{ij} < t$ и

$hr_{ij} = b_1$, если $hr_{ij} \geq t$

Полутоновой отрезок состоит из смежных пикселей строки раstra, имеющих в бинарном представлении значение b_1 . При горизонтальном сканировании раstra полутоновый отрезок можно описать тройкой $h_run = \langle xs, xe, t \rangle$. Контур связанной фигуры образованной полутоновыми отрезками заданного уровня t имеет яркость $b_1 = t$.

Пороговая обработка дает простейший пример расслаивания изображения по уровням яркости. Изображение, получающееся в результате бинаризации, будем называть слоем. Идея представления раstra в отрезках позволяет использовать новые типы отрезков, приспособленных под задачу обработки. Рассмотрим в качестве примера новый тип полутоновых отрезков, которые мы для краткости назовем градиентными. Пусть дискретная кривая значений пикселей в строке раstra кусочно - линейно аппроксимирована. Назовем смежные пиксели в строке раstra, значения которых аппроксимируются отрезком кривой значений пикселей возрастающим полутоновым отрезком, если значения пикселей растут слева направо, убывающим полутоновым отрезком, если значения пикселей убывают слева направо, константным полутоновым отрезком, если значения пикселей постоянны внутри отрезка. Такие отрезки при горизонтальном сканировании раstra могут быть представлены четверками $Gh_run = \langle xs, xe, hr_left, hr_right \rangle$, где hr_left и hr_right значения пикселей на левом и правом концах отрезка. Возможны различные схемы бинаризации такого представления раstra. Простейшим является бинаризация по типу отрезков: возрастающие, убывающие, константные. Описанная схема представления раstra в отрезках применяется для построения контуров на цветных изображениях. Простейшим типом цветного отрезка является последовательность пикселей в строке развертки раstra, имеющих один цвет. Такой отрезок при горизонтальном сканировании раstra может быть представлен тройкой $Col_run = \langle xs, xe, Color \rangle$, где $Color$ – цвет отрезка. Цветные отрезки можно получить с помощью многочисленных алгоритмов сегментации цветных изображений. В представлении раstra в отрезках можно рассматривать более сложные отрезки, например, с заданными цветами на концах отрезка и интерполированными цветами внутри отрезка, такие отрезки сходны с градиентными отрезками. Слоями в цветных изображениях, являются подизображения заданного цвета. Бинаризация выделяет отрезки заданного цвета и строит на них контуры как на бинарных штрихах.

МНОГОСЛОЙНЫЙ ВЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Таким образом, для бинарных, полутоновых и цветных изображений можно использовать единую схему многослойной векторизации.

1. Преобразование раstra в отрезки.
2. Выделение слоя (бинаризация).
3. Построение контуров слоя.
4. Межслойную обработка после завершения обработки всех слоев.

Идея метода многослойного векторного анализа изображений состоит в построении векторных моделей на различных уровнях представления изображения и межслойной обработки. Базой для выполнения многослойной обработки служит быстрая операция построения бинарных контуров [1]. Для многих прикладных задач можно получать достаточное количество слоев изображения в реальном времени прямым путем, например, для полутоновых изображений простым перебором пороговых бинаризаций исходного растра.

Контуров каждого слоя представляют области, соответствующие присутствующим на изображении объектам или их частям. На основе контуров производится анализ их формы и соответствия их эталонным описаниям объектов или их частей. Техника получения слоев различна для различных типов растров и решаемых на них задач. Для бинарных растров, как мы видели выше, в общем случае всегда строится векторная модель негатива и позитива растра, так как априори неизвестна толщина линий дырок и для правильной векторизации объекта и фона требуются контуры объектов и фона. По сути, векторизация бинарного растра должна быть двухслойной. Задачи двухслойной обработки могут иметь массовый характер при чтении, например, чертежей или карт, на которых объектами чтения могут быть черные графические знаки с белыми дырками и белые дырки в черных объектах. Задача сшивки белых и черных частей одного объекта не типична для бинарных растров, но для полутоновых и цветных изображений трехмерных сцен с вариациями освещения и тенями это не так.

Для полутоновых растров, представляющих изображения трехмерных объектов, разные части одного распознаваемого объекта, значимые для распознавания объекта, обычно имеют различные яркости. На фотопортрете это – глаза, зрачки, веки, губы, крылья носа, щеки, волосы, силуэт. Предполагается, что необходимо найти контуры этих частей. Рассмотрим возможности использования слоев, получаемых простейшей пороговой обработкой. Будем считать, что в процессе обучения построены структурные векторные модели распознаваемых объектов, организованные в иерархию по уровням яркости (слоям) обучающего кадра, которые могут отличаться от тестового кадра. Диапазон возможных яркостей полутонового изображения (обычно 0 - 255) равномерно разбивается на некоторое малое число значений яркостей. Количество пороговых яркостей определяется требованиями к времени обработки изображения и будет рассмотрено ниже. На каждом уровне строятся контуры связанных фигур слоя. На построенных слоях ищем слой, в котором появляются векторные представления сходные целиком или частично с эталонными векторными моделями. Если в некотором слое такие векторные представления есть, то продолжаем поиск в направлении, соответствующем дереву яркостей эталона, по значениям порогов в соответствии с откорректированными значениями яркостей теста. Если же таких векторных элементов нет ни на одном уровне, то повторяем разбиение нижнего интервала на то же число интервалов, что и вначале. При обработке цветных изображений в предположении, что задан эталон в виде структурных векторных моделей распознаваемых объектов, организованных в иерархию по цветам (слоям) обучающего кадра, схема обработки аналогична – надо выбирать слой в соответствии с эталонными цветами и формой областей получаемых в процессе сегментации.

Введем понятие кадра реального времени. Пусть задан бинарный растр размером $n \times n$ пикселей. Пусть его сложность оценивается числом отрезков в представлении изображения. Пусть на этом растре определен некоторый набор операций. Пусть на другом растре бинарном, полутоновом или цветном размером $m \times m$ пикселей, с $m > n$ задача обработки (в нашем случае структурный анализ и распознавание объектов) может

быть полностью решена путем однократного или многократного использования первого растра и операций на нем. Если время обработки первого растра удовлетворяет требованиям обработки в реальном времени, то назовем первый растр кадром реального времени, поскольку обычно задачи реального времени связаны с обработкой кадров видеоданных с видеокамер. Обычно обработка в реальном времени по скорости должна быть не меньше скорости регистрации изображений, то есть 10-30 кадров в секунду. При разработке алгоритмов решения задач реального времени необходимо оценивать возможности алгоритмов и их реализаций с этой точки зрения и переходить по возможности к кадру реального времени.

Рассмотрим алгоритм поддержки кадра реального времени для решения задач векторного анализа исходного изображений. Предполагается, что есть контурные эталоны слоев с иерархией контурных представлений по слоям. В алгоритме есть решающие правила для анализа контурных представлений уменьшенных эталонных изображений:

1. Уменьшить исходное изображение до размера кадра реального времени.
2. Построить контуры на равномерном значении параметра многослойности для полутонового растра или по всем слоям эталона цветного растра.
3. Анализ слоев с выбором областей интереса с размерами окна реального времени. Предполагается, что они равны или меньше размеров окна реального времени.
4. Переход в слои и области интереса исходного изображения. На предыдущем этапе слои и области интереса приближенно определены.
5. Межслойная обработка в масштабе исходного изображения векторных представлений слоев.

Эта схема применялась для решения прикладных задач структурного анализа и распознавания фотопортретов, маркеров электронных блоков и анализа медицинских рентгеновских снимков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бовырин А.В., Губанов А. В. Колесов А.И., Курякин В.Ф., Родюшкин К.В., Чудинович Б.М. Библиотека функций векторной обработки видеоизображений в реальном времени. В Докладах IX конференции "Математические методы распознавания образов" М. 1999, стр. 145- 147.