

Сегментация изображения в задачах анализа структуры чертежно-графической документации*

Чепкасов В.Л., Утробин В.А.

vladimir.chepkasov@outlook.com|utrobin_va@yandex.ru

Россия, Институт радиоэлектроники и информационных технологий

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Работа посвящена методам сегментации, которые используются для сегментации изображений чертежно-графической документации. Предлагается метод сегментации основанный на расчете визуальных масс и многомасштабной сегментации. Построена модель интеллектуальной сегментации изображения, связывание метаданных изображения и объектов входящих в его состав. В модели информация чертежа представлена в виде графа. Предлагаемый метод является методом автоматической сегментации. Приводятся примеры сегментации изображения.

Ключевые слова: сегментация изображения, визуальная масса, чертежно-графическая документация, многомасштабная сегментация, древовидная структура, классификация геометрических объектов.

1. Введение

Вопросы обработки, анализа и распознавания изображения получили фундаментальное развитие в различных научных коллективах. Множество задач распознавания так и не были решены, и их решение остается актуальной задачей и в настоящее время. Например, задача преобразования архива чертежной документации в электронный вид. Методы выявления и анализа структуры чертежно-графической документации разработаны недостаточно. Разработка модели структурной идентификации изображения начинается с сегментации частей чертежно-графической документации.

Сегментация – это процесс разделения цифрового изображения на несколько сегментов. Цель сегментации заключается в упрощении и/или изменении представления изображения, чтобы его было проще и легче анализировать [1]. Более точно, сегментация изображений – это процесс присвоения таких меток каждому пикселю изображения, что пиксели с одинаковыми метками имеют общие визуальные характеристики.

Результатом сегментации изображения является множество сегментов, которые вместе покрывают всё изображение, или множество контуров, выделенных из изображения. Все пиксели в сегменте похожи по некоторой характеристике или вычисленному свойству, например, по цвету, яркости или текстуре. Соседние сегменты значительно отличаются по этой характеристике.

2. О сегментации

Для сегментации изображений было разработано несколько универсальных алгоритмов и методов. Так как общего решения для задачи сегментации изображений не существует, часто эти методы приходится совмещать со знаниями из предметной об-

ласти, чтобы эффективно решать эту задачу в её предметной области.

При решении задачи сегментации чертежа в работе предлагается использовать метод, основанный на использовании понятия визуальной массы [2] и повторной идентификации сегментированных объектов. Под чертежом будем понимать проекционное изображение предметов в масштабе с помощью графических образов: точек, отрезков прямых и кривых линий, символов, условных обозначений.

Существует большое количество методов сегментации. Выделяют несколько групп методов: 1) Методы основанные на энтропии; 2) Методы основанные на кластеризации; 3) Методы основанные на оттенках серого и гистограммах; 4) Методы основанные на локальных порогах и выделения краев; 5) Методы основанные на пиксельной корреляции, разрастания областей; 6) Методы разреза графа; 7) Метод водораздела; 8) Методы многомасштабной сегментации. Перечисленные группы покрывают большую часть методов сегментации, но существуют и другие [3].

Ни один из методов, за исключением методов многомасштабной сегментации, не дает правильной пространственной поддержки. В работе выявлено, что перспективным является метод основанный на расчете визуальной массой изображения.

Необходимо сделать допущение о возможных искажениях изображения. В работе предполагается, что предварительная обработка изображения по улучшению качества и устранению искажений перспективы и дисторсии.

Среди методов сегментации изображения по направлению сегментации выделяют два типа методов: снизу-вверх и сверху-вниз. Метод снизу-вверх иногда называют классическим, потому что большая часть методов сегментации являются методами снизу-вверх. Основная идея подхода снизу-вверх заключается в выделении компонент связно-

Работа опубликована по гранту РФФИ №16-07-20482.

сти от пикселя с последующим их объединением в более крупные образования. Подход сверху-вниз заключается в последовательном разделении всего изображения на всё более мелкие составные части, используя свойства изображения как целого [4].

Процесс сегментации разделяют на два класса [5]: 1) выделение областей изображения с известными свойствами; 2) разбиение изображения на однородные области. Между этими двумя классами есть принципиальная разница. В первом случае при сегментации используется дополнительная информация, которая заранее определена, например, цвет и форма искомым областей, другими словами имеется априорная информация. Во втором случае при сегментации выделяются кластеры с одинаковыми свойствами или параметрами, которые заранее определены, но их значение не известно. Никакая другая информация о свойствах областей не используется. Методы второй группы более универсальны и применимы к любым изображениям, но такие методы накладывают ограничения на саму сегментацию, и такие методы применяются в основном на начальном этапе сегментации для получения предварительного представления изображения в более удобном виде для дальнейшей работы. В качестве объекта сегментации выступает изображение. При обработке изображения в первом приближении выделяют три этапа обработки: 1) подготовка данных изображения; 2) вычисление значений ортогональных функций; 3) построение решающего правила.

3. Обработка чертежной документации

3.1 Общий план

Общий план обработки чертежной документации: 1) устранение искажений и шумов изображения; 2) сегментация, кластеризация элементов изображения; 3) связывание сегментов между собой 4) получение исходного описания объектов, в виде древовидной структуры, которое включает описание атрибутов и свойств сегментов; 5) получение дополнительного описания сегментов; 6) идентификация (поиск существующих эталонов объектов изображения в базе данных) и классификация, учитываются повороты и сдвиги сегментов; 7) перестроение дерева сегментов с учетом полученной информации; 8) анализ дерева с учетом метаданных чертежа (выявление разрезов), назначение свойств узлам; 9) определение возможных геометрических состояний (параметров) фигуры (внутри и снаружи, возможно на основании сегментов).

3.2 Модель сегментации

Предлагаемая модель сегментации, которая основана на обработке визуальной массы изображения,

является многомасштабной и когнитивной моделью [6], что позволяет рассматривать чертеж как многоуровневую систему наподобие языковой, в которой на нижнем уровне находятся отрезки, на лексическом уровне примитивы на синтаксическом уровне объекты на семантическом уровне графические образы. В процессе сегментации распознается текст, разметка (размерные и выносные линии), типы линий и др. Для такой обработки формируется база знаний описания чертежей, согласно правилам ЕСКД. Такие знания могут быть сформированы в виде продукционной модели знаний. В работе была сделана модель, содержащая несколько цепочек вывода, которые предназначены для объединения в группы сегментов изображения, имеющих определенное свойство – величина визуальной массы сегмента.

Одним из таких свойств является порог – это свойство, которое помогает разделить сегменты на группы. Принцип заключается в том, что каждый сегмент из группы сопоставляется эталоном и если значение визуальной массы не превышает заданного значения порога, то сегмент и эталон объединяются в группу, эталоном при таком разделении является псевдо-элемент со средним порогом визуальной массы группы.

Принцип работы метода сегментации заключается в последовательной дихотомии областей изображения с расчетом визуальной массы. Такой подход основывается на предположении, что сложный неизвестный объект человек мысленно раскладывает на простые знакомые фигуры. Процесс иерархического разбиения изображения происходит на перекрывающиеся области, другими словами производится тесселяция изображения. Для каждой такой области рассчитывается визуальная масса. Визуальная масса представляет собой сумму яркости всех пикселей в изображении и может быть вычислена по формуле (1).

$$m(G) = \sum_{\forall G_i \in G} m(G_i) \quad (1)$$

, где каждая G_i есть подобласть, получаемая в результате разбиения G , G – это область изображения, которая представлена в виде множества пикселей и имеет прямоугольную форму. Размер прямоугольной области зависит от размеров сегментируемого изображения и количества областей разделения.

Пороговая фильтрация (2), используемая в работе, представляет собой неполную пороговую обработку. Данное преобразование дает изображение, которое может сглаживать шумы и отфильтровывать нулевые области. Преобразование применяется как для самого изображения так и для множества рас-

считанных визуальны масс.

$$f'(x, y) = \begin{cases} f(x, y), & \text{если } f(x, y) > \varepsilon \\ 0, & \text{если } f(x, y) \leq \varepsilon \end{cases} \quad (2)$$

Несомненно, что в процессе сегментации части изображения будут векторизованы и представлены в виде уравнений с параметрами. Кроме этого, будут проводиться и другие операции: 1) векторизация; 2) выявление вспомогательных элементов чертежа (метаданные, рамки, размеры, сноски, таблицы с материалами) 3) склейка и разрез сегмента; 4) распознавание сегмента и пороговая оценка значимости; 5) поиск синонимов сегментов; 6) выработка типов и классов (внутренняя классификация); 6) сопоставление графических образов; 7) расчет релевантности к эталонам (например, расчет евклидовой метрики по теореме Пифагора).

В процессе дихотомии сегментированные объекты состоят из двух основных типов вложенных объектов: модели и области. Структура объекта модель состоит из: 1) возможного объемного представления, в самом частном случае это сфера в которую вписан объект по его габаритам. Такое представление необходимо на следующем этапе анализа – прогнозирование 3-х мерной геометрической формы объекта; 2) эскиз: каркасная модель, узловые точки 3) предположение геометрии расчет релевантности и решение о геометрии; 4) объекты (сегменты); 5) формальное описание, которое представляет собой спецификацию объекта или сегмента, сетевую онтологию; 6) дополнительное описание (свойства, атрибуты).

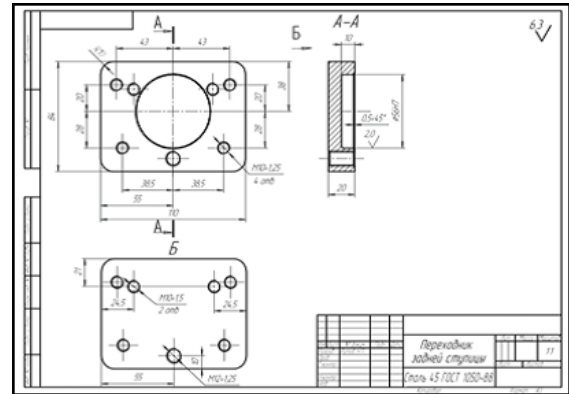
Структура объекта область частично схоже с описанием объекта с той лишь разницей, что описание объекта менее абстрактно к изображению, чем описание объекта. Объект область состоит из: 1) плоское представление, которое включает описание сегмента в виде массива точек и упрощенного векторизованного объекта; 2) эскиз – упрощенная модель, рассчитанное значение визуальной массы в сегменте и рассчитанный дескриптор объекта, например, значения 2-х мерных ортогональных функций Уолша [2, 7]; 3) предположении геометрии – определение класса или типа фигуры, рассчитанные значения точности вхождения в тот или иной класс; 4) описание внутреннего объекта, который включен внутрь контура основного объекта области. Предположение о его атрибутах (геометрическом расположении); 5) формальное описание (уравнения) и параметры области.

3.3 Процесс сегментации

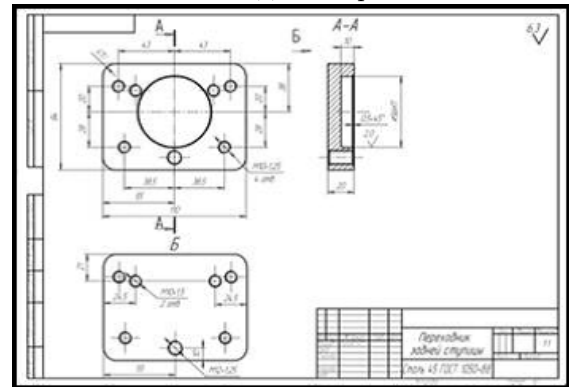
Рассмотрим процесс сегментации на примере см. рисунок 1. Процесс сегментации представляет собой последовательное выполнение нескольких этапов: 1) последовательная (условно случайная сег-

ментация) на верхнем уровне; 2) расчет визуальной массы; 3) отсеивание нулевых блоков.

Затем для каждой подобласти процесс повторяется. Задача случайной сегментации устранить неопределенность структуры изображения и очистить изображения от помех. В примере разбиение производится на 16 блоков (4x4). На рисунке



а – исходный чертеж



б – начальная сегментация

Рис. 1: Пример чертежа для сегментации.

2а изображены области с рассчитанной визуальной массой изображения. Белая область (с некоторым порогом) является нулевой областью изображения, поэтому из дальнейшего расчета она исключается. На рисунке 2б приведена подобласть один из сегментов изображения. Он так же разделяется на 16 подобластей, и рассчитываются визуальные массы (см. рисунок 2в). В результате такого каскадного

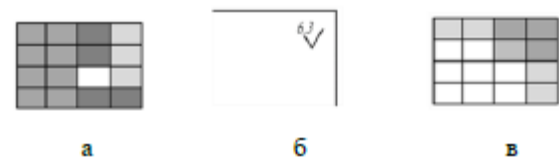


Рис. 2: Визуальные массы изображения, а – начальная визуальная масса; б – верхний левый сегмент; в – визуальная масса верного левого сегмента.

разбиения сегмента изображенного на рисунке 2б

будут получены сегменты, представленные на рисунке 3. Остальные части изображения сегментируются подобным образом. На этом этапе случай-

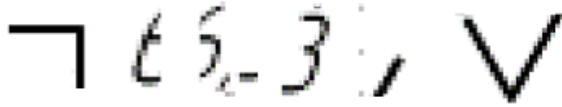


Рис. 3: Сегменты, полученные входе дихотомии изображения.

ной сегментации закончен. Изображение разбито на сегменты, для каждого сегмента проведено пороговое преобразование для отсеивания нулевых сегментов. Величина значения порогового преобразования подбирается экспериментально. На данном этапе было построено граф, который включает различные не нулевые сегменты изображения. Для каждого сегмента рассчитана визуальная масса.

Следующий этап: начального связывания сегментов. На данном этапе необходимо перестроить сегменты таким образом, чтобы соседние сегменты не имели связи в виде не нулевой визуальной массы. Другими словами соединить сегменты, которые прилегают друг другу, максимизировать визуальную массу в центре сегмента. Группы сегментов образуют кластеры [8].

При рассмотрении верхнего уровня графа можно выделить только один кластер и отметить, что внутри может быть скрыта сложная структура. При последующем этапе выделяется пять кластеров с некоторой грубой приближенностью. Затем для каждого кластера этап повторяется. Нужно от-

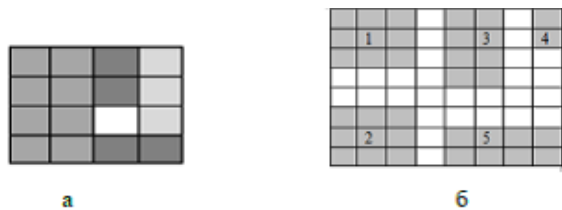


Рис. 4: Получение кластеров объектов изображения, а – один кластер; б – пять кластеров.

метить, что для объектов с повторяющимся звеном получают метку о том, что они могут быть разрезаны. В результате обработки для кластера №4 на рисунке 4б будут получены сегменты, представленные на рисунке 5. Часть графа приведена на рисунке 6,7. Предполагается, что области соответствуют реальным объектам, или их частям, а границы областей соответствуют границам объектов. Производится распознавание сегментов, сравнение их с эталонной моделью. Для каждого сегмента вычисляется группа ортогональных функций, которые раскрывают топологическую струк-

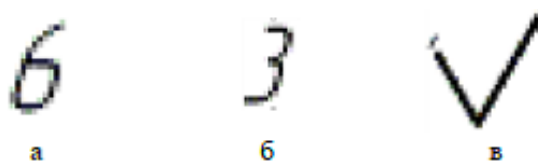


Рис. 5: Визуальные массы изображения, а – сегмент изображения цифра 6; б – сегмент изображения цифра 3; в – сегмент изображения «галочка».

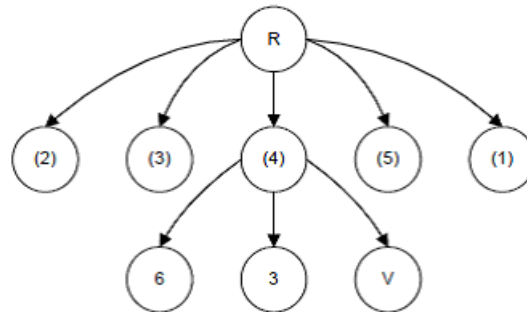


Рис. 6: Начальный граф сегментированного изображения.

туру внутри сегмента. Например, могут использоваться функции Уолша. Более подробно о вычислении значений и распознавании сегмента написано в работе [2, 7]. Производится поиск эталона в базе данных. Извлекаются заранее разработанные производственные модели. Производится классификация сегментов. Дополнительно дуги графа описывают пространственную связь. Таким образом, совершая обход графа можно обратно получить изображение. Следующим этап производится свя-

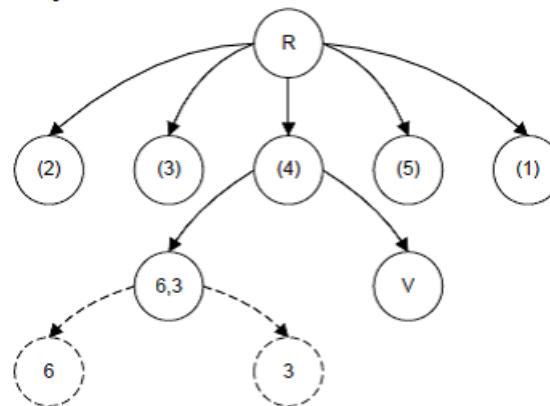


Рис. 7: Начальный граф сегментированного изображения.

зывание сегментов согласно правилам. Рассмотрим рисунок 6а, «R» – корневая вершина. Производится связывание внутри 4-го сегмента. Тип сегментов «6» и «3» – число, а сегмент «V» – шероховатость поверхности без указания способа обработки. Про-



Рис. 8: Начальный граф сегментированного изображения.

изводится поиск значения в области, выделенной прямоугольником (см. рисунок 8). В графе имеется два совпадения по рядом лежащей области. Производится связывание сегментов и повторная сегментация. Граф вновь изменяется. Появляется связанный сегмент «б,3» и два сегмента «б» и «3». В вершину 4 записываются атрибуты. Тип вершины метаданные, шероховатость, значение шероховатости, местоположение условного обозначения.

Производится дальнейшая сегментация изображения и представление сегментов в виде графа. Производится перерасчет графа и сегментов согласно заданным правилам для каждого найденного объекта [9]. В итоге получаем исходное описание объектов, в виде древовидной структуры, которое включает описание атрибутов и свойств сегментов. Получаем дополнительное описание сегментов, толщина линий, заполнение, цвет, глубина расположения (для разреза). Следующий этап – это повторная идентификация объектов согласно выработанному графу и выявленных свойств. Так же устраняются неточности и помечаются сегменты, для которых не определен класс или не выполняются правила. В свойства заносится информация о вхождении сегментов в элементы чертежа, например, расположение отверстий и др. На рисунке 9а изображен сегмент с разрезом, на рисунке 9б его представление в виде графа. Совершили переход

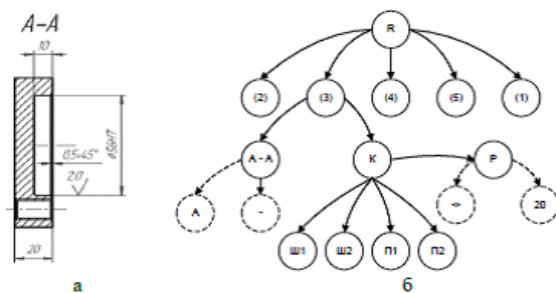


Рис. 9: начальный граф сегментированного изображения.

от этапа грубой, случайной обработки изображения (сегментации) к композиционному анализу кластеров и сегментов. Нужно отметить, что при уточнении границ сегментов при кластеризации используется дополнительное окно, которое перекрывает

часть другого сегмента, такой подход снижает количество граничных проверок внутри сегмента.

4. Заключение

Построенная модель чертежа в виде графа обладает большой избыточностью, поэтому для однотипных объектов изображения (геометрических объектов и метаданных) выделяются типы и составляется словарь сегментов. Типы используются в описании вершин дерева. Причем часть свойств так же переносится в словарь. На данном этапе имеется описание групп геометрических объектов и их свойств, произведен предварительный семантический анализ фигур. Идентифицированы и классифицированы геометрические объекты на основании базы знаний, которая включает и эталоны сегментов, и продукционные правила вывода.

Следующей задачей – это задача прогнозирования геометрической формы объектов по собранной информации, определение возможных геометрических состояний фигуры.

Литература

- [1] Жук, С. В. Обзор современных методов сегментации растровых изображений. // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2009. – Т.6, №6.– С. 115-118.
- [2] Утробин, В.А. Информационные модели системы зрительного восприятия для задач компьютерной обработки изображений. – Н.Новгород: НГТУ, 2001. – 234с.
- [3] Цапаев, А.П. Методы сегментации изображений в задачах обнаружения дефектов поверхности. / Цапаев А.П., Кретинин О.В // Компьютерная оптика. – 2012. – Т.36, №3. – С. 448-452.
- [4] Кучуганов, А. Графический поиск чертежей в хранилищах данных. / Кучуганов А., Касимов, Д. // Прикладная информатика. – Т.38, №2. – 2012. – С. 84-91.
- [5] Вежневек, А. Методы сегментации изображений: автоматическая сегментация./ Вежневек А., Барина О.// Компьютерная графика и мультимедиа. – Т.4, №4. – 2006. – режим доступа к журн.: <http://cgm.comaphics.ru/content/view/147>
- [6] Дэвид, А. Компьютерное зрение. Современных подход. / Дэвид А. Форсайт, Жан Понс; пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс». – 2004.
- [7] Утробин, В.А. Компьютерная обработка изображений. Анализ и синтез. –Н.Новгород: НГТУ, 2003. – 228с.
- [8] Миронов, Б.М. Сегментация изображений кластерным методом и алгоритмом случайных скачков: сравнительный анализ / Б.М. Миронов, А.Н. Малов // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, №1. – С. 132-137.
- [9] Фишберн, П. Теория полезности для принятия решений. –М: Наука. 1978. – 352 с.