

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа прикладной математики и информатики (ФПМИ)
Факультет инноваций и высоких технологий (ФИВТ)
Кафедра когнитивных технологий

**СЕГМЕНТАЦИЯ БИНАРНЫХ ТЕКСТОВЫХ
ДОКУМЕНТОВ**

Отчёт о выполненной работе

Выполнил: Сухарников А.А.

Проверил: Полевой Д.В.

Группа Б05-812

Содержание

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 1. Введение | 3 |
| 2. Описание решения | 3 |
| 2.1. Алгоритм | 3 |
| 2.2. Параметры алгоритма | 4 |
| 3. Пользовательское описание | 6 |
| 4. Тестовый датасет | 7 |
| 5. Сборка и развёртывание | 7 |
| 6. Результаты | 9 |
| Список литературы | 13 |



Рис. 1: Пример разметки страницы

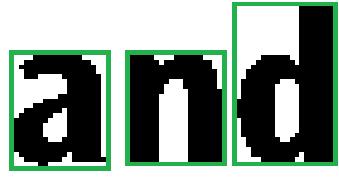


Рис. 2: Компоненты связности изображения, выделенные в отдельные «ящики»

1. Введение

Данная задача заключается в извлечении из изображений страниц текстового документа однородных компонентов: участков с текстом, таблиц, графиков, рисунков, отдельных строк (заголовков) и т.д. [1]. При этом она не включает классификацию обнаруженных компонент на перечисленные выше типы, а требует только нахождения их областей на изображении.

Опишем решаемую в данной работе задачу более формально. На вход поступает бинарный текстовый документ (имеющий только два возможных цвета – чёрный и белый). При этом предполагается именно печатный текст, а не рукописный (в частности, чтобы различные его компоненты не пересекались). На выходе генерируется набор изотетических полигонов – т.е. фигур, имеющих только вертикально или только горизонтально направленные рёбра [2]. Каждая такая фигура определяет какую-то отдельную компоненту документа – участок текста, таблицу, рисунок и т.п. Пример ожидаемого результата работы изображён на рис. 1.

2. Описание решения

2.1. Алгоритм

В качестве решения задачи был применён подход с использованием минимального остовного дерева (Minimal Spanning Tree, или просто MST). Изначально, на исходном бинаризованном документе производится поиск компонент связности. Компонента связности в контексте изображения определяется так: пусть пиксели изображения будут вершинами графа, и каждая из этих вершин будет вязана с восемью соседними пикселями-вершинами рёбрами, тогда компонента связности такого графа и есть компонента связности изображения. Например, это буквы печатного документа (см. рис. 2, на нём также каждая из компонент заключена в свой bounding box для наглядности). Затем найденные

компоненты связности, в свою очередь, сами рассматриваются как вершины, и на этих вершинах строится MST (алгоритмом Крускала в данной реализации, рис. 3).

Далее происходит первое разделение на компоненты документа путём удаления части рёбер из построенного MST (см. рис. 4). Ребро удаляется, если оно меньше среднего разме-ра компоненты связности изображения с некоторым заранее заданным коэффициентом. Однако, как выяснилось из экспериментов, такого подхода зачастую недостаточно для разделения участков текста на абзацы (т.к. обычно расстояния между ними такие же, как и между строками в абзаце), поэтому была добавлена дополнительная обработка. В каждой полученной ранее (текстовой) компоненте удаляются вертикальные рёбра: тем самым выделяются компоненты-строки, для которых затем вычисляется bounding box (минимальный прямоугольник, содержащий граф/подграф – строку в данном случае). Эта операция проиллюстрирована на рис. 5: красным выделены рёбра, которые будут удалены; изобра-жены также bounding box'ы для каждой из получившихся компонент графа. В некоторых случаях истинная строка документа по ошибке может получиться разбитой на несколько bounding box'ов, поэтому предусмотрено объединение bounding box'ов, располагающихся примерно в одной строке (на рисунке такой участок отмечен синим цветом). На этом этапе каждой строке соответствует один bounding box. Затем, ищутся смежные (по вертикали, других не будет) bounding box'ы, имеющие смещение, характерное для начала абзаца (рис. 6, синие стрелки тонкой линией). Соответственно, такие bounding box'ы считаются принадлежащими различным абзацам, и компонента разделяется на две по смежной гра-нице этих box'ов. После этого разделения строки-box'ы, опознанные как принадлежащие одной абзацу/компоненте документа, объединяются в изотетические полигоны, которые были описаны ранее (на рисунке выделены синим контуром).

2.2. Параметры алгоритма

- 1) Два дробных числа **max_width_ratio** и **max_height_ratio** – используются как кри-терии первичного удаления рёбер (т.е. до разделения на абзацы). Ребро удаля-ется, если его ширина (т.е. разница x -координат столбцов) **width** > **avg_width · max_width_ratio** (**avg_width** – средняя ширина компонент изображения, т.е. букв и т.п.) или выполнено аналогичное условие для высоты. В реализации алгоритма было выбрано значение 2 для обоих параметров – эти значения оказались достаточными для нормальной работы алгоритма.
- 2) Коэффициент **distance_ratio** – изменяет функцию расстояния между компонентами на $\rho(x, y \cdot distance_ratio)$. Этим достигается изменение формы дерева (при больших значениях параметра MST содержит преимущественно горизонтальные рёбра, при малых – вертикальные).
- 3) Саму функцию расстояния тоже можно менять (l_1, l_2, l_∞) — это влияет на углы рёбер по отношению к вертикальной и горизонтальной осям. Сильно влияло на работу в ранних версиях алгоритма, сейчас же просто используется l_2 .

Purdue University Calumet
Department of Math and Computer
Science

The Dept. of Math, C.S. & Stats at Purdue University Calumet in Hammond, Indiana, is searching for an Assistant Professor of Computer Science to begin August 2005. See <http://www.calumet.psu.edu/employment> for more information on the position, including application procedures. Review of applications will begin January 24, 2005 and will continue until position is filled. Purdue University Calumet is an Equal Access/Equal Opportunity/Affirmative Action employer.

Рис. 3: MST на компонентах связности

Pacific Lutheran University
Department of Computer Science

Pacific Lutheran University invites applications for a full-time tenure track faculty position as Assistant Professor in the Department of Computer Science and Computer Engineering, beginning September 2005 to teach three undergraduate courses per semester. Preferred candidates will have a Ph.D. in Computer Engineering or a related field, promise

of teaching excellence is essential.
who have active research programs in areas including AI, architecture, compilers, distributed systems, graphics, robotics, HCI, machine learning, mobile vision, networked systems, networking, NLP, OS, security, software engineering, and speech processing. Applications should consist of a cover letter, a research statement, names and contact information for five references, and URLs for three to five papers. Applications, in the form of single attached PDF file, and inquiries can be sent to csdept@plu.edu. An application should be submitted via www.csdept.org. Applications will be considered for completion by January 15, 2005. Pacific Lutheran University is an equal access/equal opportunity/affirmative action employer.

Между разными абзацами. Т.к. длиннее ребер внутри компонент, будет удалено.

Рис. 4: Первичное разделение на компоненты документа

Three undergraduate courses per semester. Preferred candidates will have a Ph.D. in Computer Engineering or a related field, promise of teaching excellence is essential.
The Computer Science and Computer Engineering Department currently has 7 full-time faculty members and serves 100 undergraduate

Рис. 5: Выделение строк в тексте

Three undergraduate courses per semester. Preferred candidates will have a Ph.D. in Computer Engineering or a related field, promise of teaching excellence is essential.
The Computer Science and Computer Engineering Department currently has 7 full-time faculty members and serves 100 undergraduate

Рис. 6: Объединение строк в абзацы

3. Пользовательское описание

Итоговое решение представляет собой набор из трёх утилит: утилита парсинга XML-файлов датасета, утилита сегментации документа, утилита оценки качества.

Утилита парсинга XML-файлов *xml_parser.exe* нужна для извлечения координат расположения компонент. Файлы датасета содержат большое количество ненужной для оценки данной задачи информации – тип компоненты, ориентацию, направление чтения текста и т.п. Для задачи сегментации же нужны только описание расположения компонент, что и извлекает эта утилита. Принимает два аргумента:

- 1) путь к файлу XML датасета
- 2) директория, куда сохранить итоговый файл разметки (только расположение компонент).

Применение данной утилиты не является обязательным – она нужна только для генерации истинной разметки корректного формата. Пример вызова:

xml_parser.exe data/xml/example1_263.xml data/images/example1_263.txt

Утилита сегментации документа *segmentation.exe* по переданному ей изображению страницы возвращает найденную разметку документа в виде отдельного файла (в формате, понятном утилите оценки качества), страницу с отрисованной поверх неё разметкой и страницу с отрисованным поверх MST (иллюстрация к деталям реализации). Принимает два аргумента:

- 1) путь к исходному изображению страницы (не обязательно бинарному, бинаризуется автоматически)
- 2) директория, куда сохранить ответ (три файла: разметка, изображение с разметкой синим цветом и изображение с MST).

Пример вызова:

segmentation.exe data/images/example1_263.tif out

Утилита оценки качества *evaluation.exe* по передаваемым на вход истинной и найденной разметкам выводит значения различных типов ошибок сегментации. Принимает четыре аргумента:

- 1) путь к исходному изображению страницы
- 2) путь к файлу найденной разметки (полученной от *segmentation.exe*)
- 3) путь к файлу истинной разметки (полученной от *xml_parser.exe*)
- 4) директория, куда сохранить ответ (изображение страницы с истинной разметкой красным; изображение с отрисованной на ней истинной и найденной разметками, красным и синим цветами соответственно).

Пример вызова:

evaluation.exe data/images/example1_263.tif out data/test/example1_263.txt out

4. Тестовый датасет

Для проверки качества сегментации взят PRImA Layout Analysis dataset (описание [2] и сам датасет [3], по ссылке также есть веб-интерфейс для просмотра сэмплов датасета). Он содержит порядка 400 страниц статей научного и научно-популярного характера. Встречаются страницы различных типов (как манхэттенские, т.е. границы компонент которых только вертикальны или горизонтальны, так и неманхэттенские), с рисунками, таблицами, графиками. К каждому документу приведена истинная разметка в виде XML файла, содержащего для каждой его компоненты последовательность его вершин (в порядке обхода по ребрам). Для тестирования отобрано несколько примеров. Вообще, датасет по своему назначению предназначен для оценки результатов решения более широкой задачи – помимо сегментации страницы, также классификации найденных компонент (на абзацы, таблицы, рисунки и т.п.). Поэтому инструмент оценки качества, прилагающийся к данному датасету, применить исключительно к задаче сегментации не удалось. Вместо него был реализован отдельный модуль оценки качества в самой программе, реализующей алгоритм сегментации. Далее опишем подход, применённый в этом модуле.

Оценка осуществляется способом, приведённым в описании датасета [4]. Итоговая ошибка складывается из пяти различных видов ошибок: False Detection, Miss, Partial Miss, Split и Merge. False Detection – алгоритмом найдена компонента, которая не пересекается ни с одной из компонент истинной разметки (на рис. 7 эта ошибка – доля площади, помеченной символом R; T – target, истинная разметка; R – result, результат работы алгоритма). Miss – обратная ситуация, компонента истинной разметки не пересекается ни с одной из найденных компонент (на рис. 7 эта ошибка – доля площади, помеченной символом T). Partial Miss – есть частичное пересечение (на рис. 8 эта ошибка – $1 - IOU$). Split – несколько найденных компонент пересеклись с одной компонентой истинной разметки (на рис. 9 эта ошибка – доля площади, помеченной символом T). Merger – наоборот, несколько компонент истинной разметки пересеклись с одной найденной компонентой (на рис. 10 эта ошибка – доля суммарной площади участков, помеченных символом T). В общем случае ошибка каждого типа подсчитывается как доля площади изображения, содержащей ошибку (для Partial Miss, например, это доля непокрытой истинной разметки + доля непокрытой найденной алгоритмом разметки).

5. Сборка и развёртывание

- Установить cmake версии не ниже 3.10. Установить OpenCV (рекомендуется 4.5.2, т.к. тестирование проводилось именно с ней), определить путь к директории с библиотекой OpenCV. Установить Doxygen (рекомендуется 1.9.3).
- Скачать проект с репозитория:
<https://github.com/and15121512/sem-8-page-segmentation>.

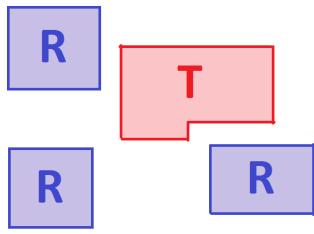


Рис. 7: К ошибкам типов False Detection и Miss

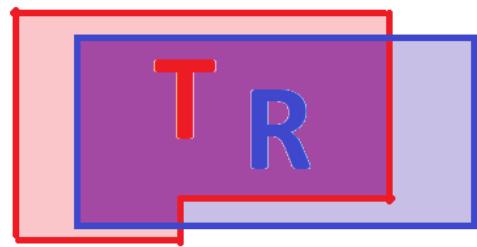


Рис. 8: К ошибкам типа Partial Miss

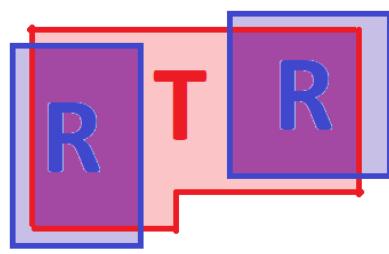


Рис. 9: К ошибкам типа Split

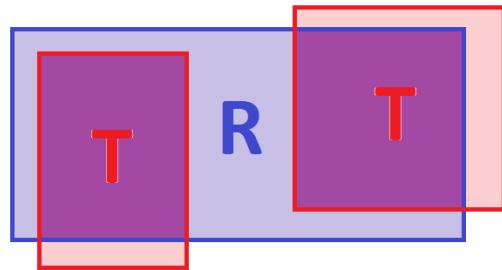


Рис. 10: К ошибкам типа Merge

Также можно додгрузить несколько изображений датасета с гугл диска и протестиировать программу на них (изображения не влезли в допустимый размер репозитория, истинная разметка для них уже в репозитории):

<https://drive.google.com/drive/folders/1uzjmYrA7KiYw1xtKDtVs8lmI5G-WMEV9?usp=sharing>.

- Далее, все пути в этой инструкции указываются относительно корня проекта. Создать директорию `./build` и перейти в неё:

```
mkdir build
cd build
```

- Выполнить команду:

```
cmake -DOpenCV_DIR=*Путь к дир-рии
      сборки opencv с файлом OpenCVConfig.cmake* ..
```

Если cmake сможет определить сборку OpenCV, в логе отобразится строка с “... Found OpenCV ...”. Для динамической версии библиотеки cmake также дополнительно укажет директорию с `.dll`, которую необходимо добавить в переменную PATH (перезагрузив затем сессию терминала).

- Выполнить команды сборки и установки проекта:

```
cmake --build . --config Release
cmake -P cmake_install.cmake
```

В директории `./build/bin/` в результате появится исполняемый файл программы, копия директории `./data/` с файлами для тестирования (её содержимое описано ранее) и директория `.build/bin/out/`, в которую впоследствии будет сохранён вывод тестов. Помимо этого, в директории `./build/doc/html` будет собрана документация к интерфейсам модулей кода (**Doxxygen может отработать некорректно при наличии символов Юникода. Лучше использовать полные пути только на английском!**).

- Выполнить команду для запуска всех тестов:

```
ctest -C Release
```

В результате в консоль будет выведен статус выполнения каждого из тестов. Ожидается, что все они будут пройдены корректно. Также можно визуально оценить качество работы алгоритма, просмотрев изображения с префиксом из директории `./build/bin/out`. Синим цветом отмечена найденная разметка.

- Для оценки качества тестовых примеров перейти в директорию `./build/bin` выполнить команды (в директории `out/` появится истинная разметка, красным цветом, и наложенные найденная и истинная разметки с соответствующими цветами):

```
evaluation.exe data/images/example1_263.tif out/example1_263.txt data/layout/example1_263.txt out
evaluation.exe data/images/example2_648.tif out/example2_648.txt data/layout/example2_648.txt out
evaluation.exe data/images/example3_674.tif out/example3_674.txt data/layout/example3_674.txt out
```

6. Результаты

Комментарий к иллюстрациям примеров работы алгоритма в этом пункте (рис. 11, 12, 13, 14, 15, 16). На всех примерах работы алгоритма три изображения:

- *левое изображение* — разметка, полученная в результате работы алгоритма (выделена **синим цветом**)
- *центральное* — истинная разметка из датасета (выделена **красным**)
- *правое изображение* — наложенные друг на друга разметки с левого и центрального изображения, для удобства сравнения (т.е. **синим** — результат работы алгоритма, **красным** — истинная разметка)

В процессе разработки алгоритма внимание в основном было уделено возможности выделения отдельных абзацев в тексте (в датасете такое разделение производится). В связи с этим алгоритм даёт низкие показатели суммарной ошибки для страниц, содержащих только текстовые данные примерно одного размера шрифта — конкретно, когда размеры символов отклоняются от средних значений этих размеров для рассматриваемой страницы не более чем на 50%. Пример применения алгоритма к странице такого типа показан на рис. 11 и рис. 12. Как видно из таблицы, на подобных примерах (1, 2, 9) ошибка составляет порядка 0.02%.



Рис. 11: Пример 1, страница только с текстом одного размера шрифта.



Рис. 12: Пример 2, страница только с текстом одного размера шрифта.

Если размеры текста значительно варьируются, качество довольно сильно ухудшается — при значениях отклонения размеров символов от средних значений в три раза наблюдается расщепление заголовков и крупного текста на строки и слова (рис. 13). Кроме того, для стабильной работы алгоритма удалялись большие компоненты связности (буквы размером более 5% от средних размеров), что также ухудшает качество (рис. 14, большие буквы не детектируются). Ошибки для этих страниц приведены в таблице (5, 10) и составляют 37% и 20% соответственно.



Рис. 13: Пример 5, страница с разным размером шрифта (заголовок расщепился).



Рис. 14: Пример 10, страница с разным размером шрифта (большие компоненты-буквы удалились).

Таблицы и рисунки алгоритм детектировать практически не способен: т.к. внимание было сдвинуто в сторону работы с текстовыми компонентами, алгоритм пытается работать с другими типами компонент (заранее классификация неизвестна) как с текстом, а на самом деле структура таблиц и рисунков может довольно сильно отличаться (см. рис. 15 и рис. 16). В таблице такие случаи соответствуют примерам 4, 6, 7, 8 (ошибка порядка 20%).

| Evaluation Level | | Factors to Evaluate | |
|----------------------------|--|----------------------------|--|
| Department | | Evaluation Level | |
| Technology | | Technology | |
| Training | | Training | |
| Reaction | | Reaction | |
| Skill Acquisition | | Skill Acquisition | |
| Skill Transfer | | Skill Transfer | |
| Technology Transfer | | Technology Transfer | |
| Performance | | Performance | |

| What responses the manager needs to be evaluated | | Factors to Evaluate | |
|--|--|----------------------------|--|
| Technology | | Evaluation Level | |
| Training | | Technology | |
| Reaction | | Training | |
| Skill Acquisition | | Reaction | |
| Skill Transfer | | Skill Acquisition | |
| Technology Transfer | | Skill Transfer | |
| Performance | | Technology Transfer | |

| What responses the trainee needs to be evaluated | | Factors to Evaluate | |
|--|--|----------------------------|--|
| Technology | | Evaluation Level | |
| Training | | Technology | |
| Reaction | | Training | |
| Skill Acquisition | | Reaction | |
| Skill Transfer | | Skill Acquisition | |
| Technology Transfer | | Skill Transfer | |
| Performance | | Technology Transfer | |

Рис. 15: Пример 4, страница с таблицей.

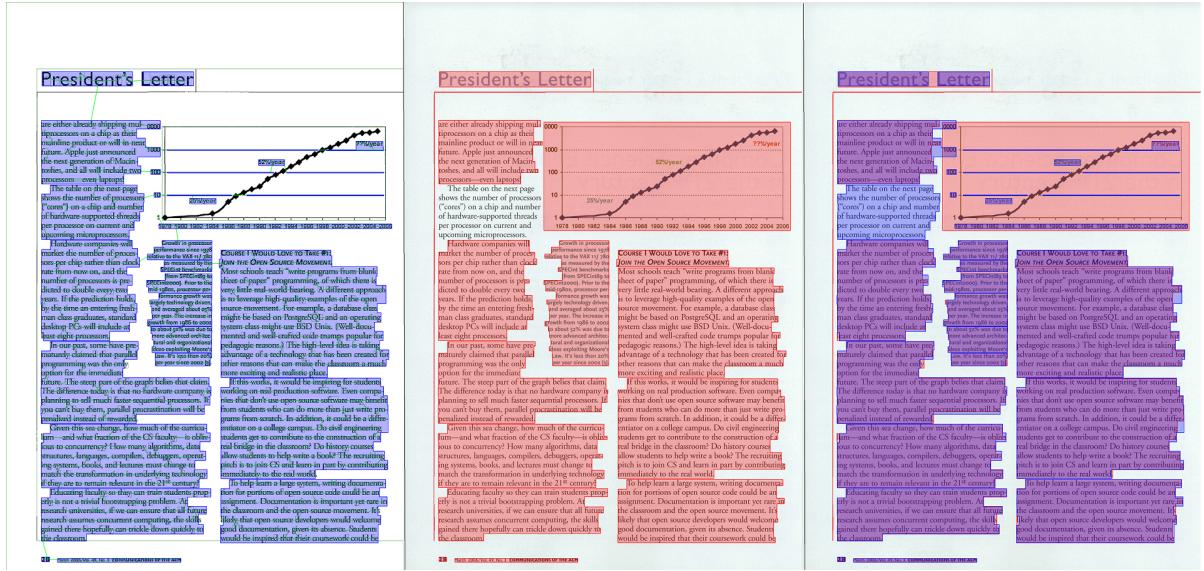


Рис. 16: Пример 7, страница с графиком.

В итоге, алгоритм достаточно хорошо работает на примерах, содержащих преимущественно текст, при этом в среднем одного размера шрифта (например, научные статьи).

| Ex. No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Error | 0.02 | 0.02 | 0.18 | 0.17 | 0.37 | 0.20 | 0.01 | 0.21 | 0.01 | 0.20 |

Список литературы

- [1] Koichi Kise. Page segmentation techniques in document analysis. *Handbook of Document Image Processing and Recognition*, pages 135–175, 2014. doi:10.1007/978-0-85729-859-1_5.
- [2] C. Clausner, A. Antonacopoulos, and S. Pletschacher. Icdar2019 competition on recognition of documents with complex layouts – rdcl2019. *2019 International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, 2019.
- [3] A. Antonacopoulos, D. Bridson, C. Papadopoulos, and Pletschacher S. Prima layout analysis dataset. (Дата обращения: 13.02.2021). URL: <https://www.primaresearch.org/dataset/>.