

Об идентификации документа в терминах задачи линейного программирования

Д.Л. Шоломов, А.Г. Волков, Д.В. Полевой

Аннотация. В работе предложен метод описания шаблона документа с помощью правил взаимного расположения его примитивных элементов, при котором решение задачи идентификации слабоструктурированного документа сводится к решению задачи целочисленного линейного программирования. При этом максимизируемый функционал описывает отображение шаблона на конкретный экземпляр документа, а правила взаимного расположения элементов преобразуются в набор линейных неравенств.

Ключевые слова: распознавание документов, описание шаблона, привязка шаблона, гибкие формы, идентификация документа, линейное программирование, массовый ввод документов, графические примитивы, распознавание текста, распознавание накладных.

Введение

В современном мире довольно остро стоит проблема сканирования и распознавания бумажных документов. И, хотя доля электронного документооборота с каждым годом возрастает, все же существенная часть документов будет иметь бумажный вид еще не одно десятилетие.

Большинство распознаваемых документов можно разделить на 2 типа. К первому типу относятся документы с жесткой геометрической структурой (Рис. 1а), особенностью которых является геометрически точное совпадение полей и реперных элементов, иными словами различные экземпляры документа совпадают на просвет. Ко второму типу относятся документы с похожей логической структурой, но при этом геометрическое расположение полей не фиксировано, состав полей тоже может меняться от документа к документу (Рис. 1б). Для распознавания этих типов документа используют так называемые жесткие и гибкие формы – шаблоны с описанием расположения примитивных элементов: линий, статических текстов, специальных меток и картинок [1]. Описание жестких форм, как правило, сводится к указанию координат полей и прочих элементов документа. Для гибких документов существуют различные способы описания, такие как топологический и синтаксический, а в случае документов с наименее четкой структурой зачастую используют так называемое атрибутивное описание при помощи правил взаимного расположения элементов, речь о котором пойдет в данной статье.



Рис. 1а. Документы с жесткой геометрической структурой. Бланки заказа

Процесс распознавания документа, как правило, состоит из следующих стадий – идентификация и привязка шаблона, сегментация и распознавание полей, контекстная постобработка распознанных значений, см. [1], [7]. На стадии идентификации документа необходимо выбрать подходящий шаблон и локализовать поля, то есть наилучшим образом установить взаимное соответствие между описанными в шаблоне идеальными элементами и реальными, найденными на конкретном распознанном экземпляре документа, см. Рис.2. Существует ряд алгоритмов, решающих эту задачу. Например, в работе [2] F. Cesarini и др. рассматривают систему INFORMus, в которой графические примитивы представлены узлами размеченных графов, дуги которых соответствуют относительным положениям (позициям) связанных между собой объектов (например, заголовка поля и его значения). С. Cracknell с соавторами в работе [3] предложил язык описания форм, в котором

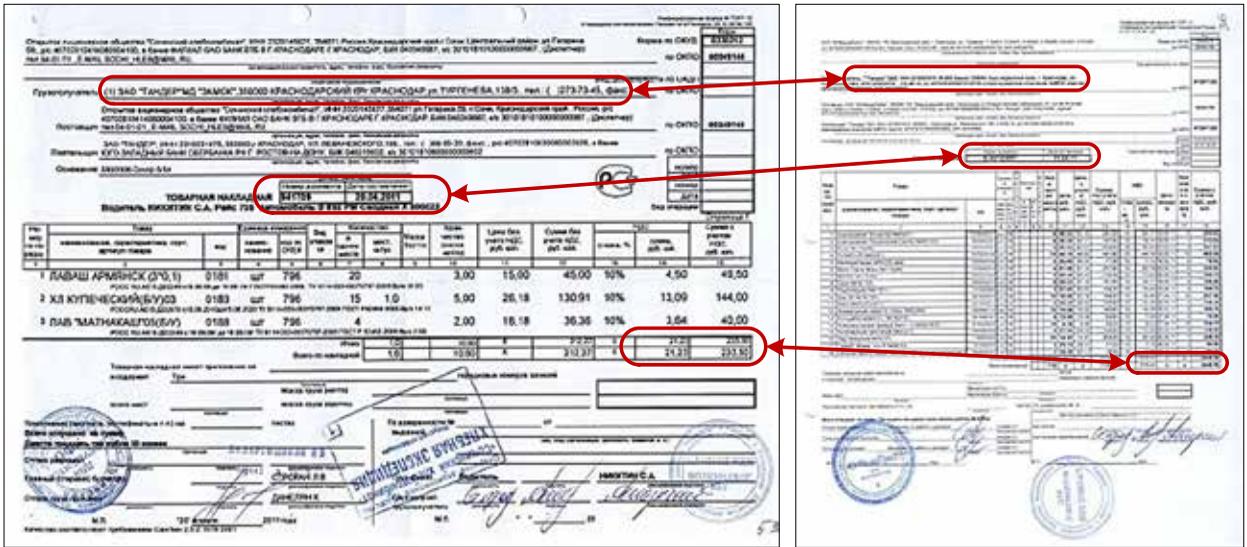


Рис. 1b. Документы с гибкой структурой. Товарные накладные Торг-12

определяются операторы, управляющие расположением элементов, вводящие логические ограничения и контекстную информацию.

Н. Peng и др. в работе [4] рассматривают представление документа в виде последовательно упорядоченного списка блоков. При этом наилучший шаблон определяется путем поиска ближайшего представления по БД шаблонов, а метрика использует геометрическую близость размеров блоков и их взаимного расположения. Для решения задачи привязки шаблона в работе [1] Постников В.В. предлагает метод описания документов, у которых изменяется взаимное расположение элементов, но при этом сохраняется порядок их следования по горизонтали или вертикали. Описание основано на параллельно-последовательной декомпозиции документа на блоки, что вводит линейный порядок на элементах, а алгоритм привязки шаблона базируется на методе динамического программирования.

ного расположения его примитивных элементов, при котором решение задачи поиска оптимального отображения шаблона на экземпляр документа сводится к решению задачи целочисленного линейного программирования. Будем считать, что алгоритмы выделения примитивных элементов на изображении и оценки отображения идеального элемента на реальный заданы априори. Нахождение хороших алгоритмов выделения примитивов и системы их оценок является отдельной задачей, лежащей за рамками нашей статьи. Заметим, что для различных типов элементов (линии, статические тексты, метки, картинки) оценки должны быть соизмеримы, т.е. шкала оценок отображения разных типов элементов должна быть единой. Данный метод может быть использован как для определения степени соответствия документа шаблону, так и для классификации документа, когда требуется выбрать наиболее подходящий шаблон из предопределенного множества.

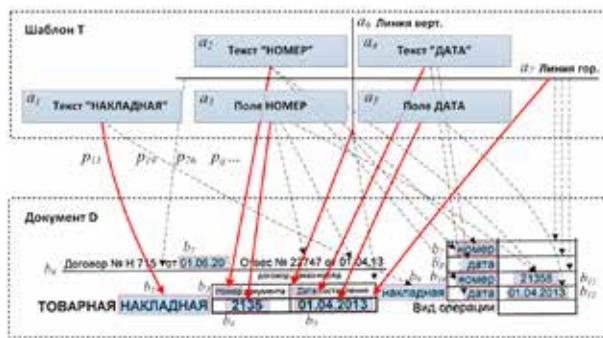


Рис. 2. Отображение шаблона Т на документ D

В настоящей работе предложен метод описания шаблона документа с помощью правил взаим-

1. Постановка задачи

1.1. Задача отображения шаблона на документ

Введем следующие обозначения:

Пусть T – шаблон документа, задается множествами $\{A, R\}$, где

$A = \{a_1, \dots, a_M\}$ – множество идеальных элементов на T ;

$R = \{r_1, \dots, r_L\}$ – множество правил расположения элементов на T .

При описании шаблона будем использовать правила следующих типов: безусловные и условные. Безусловные, в свою очередь, будем подразделять на абсолютные (ограничения поло-

жения элемента в абсолютных значениях координат) и относительные (ограничения на взаимное расположение элементов относительно друг друга). К условным правилам будем относить ограничения, зависящие в свою очередь от других ограничений при помощи логических условий, таких как «или», «если-то», «исключающее или» и прочих. То есть условное правило фактически является логической функцией от других правил. Заметим, что условие «и» является естественным для всех уравнений и неравенств в системе.

Пусть D – реальный документ, т.е., изображение с множеством, найденных на нем, реальных графических примитивов $B = \{b_1, b_2, \dots, b_N\}$, при этом алгоритм поиска примитивов считаем заданным. Реальный элемент b_j определяется своим охватывающим прямоугольником $\{x_j, y_j, w_j, h_j\}$, то есть представимо множествами:

$X = \{x_1, \dots, x_N\}$ – абсцисса левого края охватывающего прямоугольника;

$Y = \{y_1, \dots, y_N\}$ – ордината верхнего края охватывающего прямоугольника;

$W = \{w_1, \dots, w_N\}$ – ширина охватывающего прямоугольника;

$H = \{h_1, \dots, h_N\}$ – высота охватывающего прямоугольника.

Пусть p_{ij} – оценки отображения элементов $a_i \rightarrow b_j$ заданы априори.

Задача поиска оптимального отображения шаблона T на документ D сводится к задаче нахождения такого подмножества M отображений $a_i \rightarrow b_j$, для которого:

1. выполнены правила взаимного расположения элементов $R = \{r_1, \dots, r_L\}$;
2. суммарная оценка отображений $a_i \rightarrow b_j$ из подмножества M максимальна, то есть

$$\sum_{(i,j) \in M} p_{ij} \rightarrow \max$$

На рис. 2 проиллюстрировано оптимальное отображение шаблона T на документ D . Идеальные элементы шаблона a_1, \dots, a_7 отображаются на реальные элементы документа b_1, \dots, b_{12} . При этом пунктирными стрелками указаны отображения $a_i \rightarrow b_j$ с положительной оценкой $p_{ij} > 0$, а жирными сплошными стрелками указаны отображения $a_i \rightarrow b_j$ из подмножества M , то есть искомое оптимальное отображение $T \rightarrow D$. Заметим, что при отсутствии ограничений R , оптимальное отображение будет включать все отображения $a_i \rightarrow b_j$, для которых $p_{ij} > 0$. Такое отображение, используется, например, в задаче рубрикации документов по набору ключевых слов.

Пусть K – матрица искомых бинарных коэффициентов отображения идеальных элементов на реальные. Элементы матрицы $k_{ij} \in \{0, 1\}$, если i -й идеальный элемент отображается на j -й реальный элемент с ненулевой оценкой $p_{ij} > 0$, иначе $k_{ij} = 0$. Матрица K задает подмножество отображений M .

Тогда задача поиска оптимального отображения $T \rightarrow D$ заключается в определении матрицы искомых коэффициентов $K = \{k_{ij}\}$, максимизирующей целевую функцию

$$P = \sum_{i,j} k_{ij} p_{ij} \rightarrow \max$$

При выполнении линейных ограничений $r_1(k_{ij}) > 0, \dots, r_L(k_{ij}) > 0$, соответствующих правилам взаимного расположения элементов и, кроме того, естественных ограничениях, выражаемых следующими линейными неравенствами:

Один идеальный элемент может отобразиться максимум на один реальный

$$\sum_j k_{ij} \leq 1, \forall i$$

На один реальный элемент может отобразиться максимум один идеальный

$$\sum_i k_{ij} \leq 1, \forall j$$

Все коэффициенты неотрицательны

$$k_{ij} \geq 0, \forall i, j.$$

1.2. Ограничения на расположение элементов

Как уже было отмечено, правила расположения элементов R могут быть описаны в виде линейных неравенств. Приведем примеры.

1. Абсолютное безусловное ограничение $y_m + h_m < C$ (элемент a_m расположен выше горизонтальной линии $y = C$) представимо следующим линейным неравенством:

$$\sum_j k_{mj} (y_j + h_j) < C$$

2. Относительное безусловное ограничение: $x_m + w_m < x_n$ (элемент a_m расположен левее элемента a_n) представимо как:

$$\sum_j (k_{mj} (x_j + w_j) - k_{nj} x_j) < 0$$

3. Абсолютное безусловное ограничение с 2 сторон $C_1 < x_m < C_2$ (левый край элемента a_m расположен правее координаты C_1 и левее C_2) представимо двумя неравенствами

$$C_1 < \sum_j k_{mj} x_j < C_2$$

Данное выражение эквивалентно

$$\left(x_m - \frac{C_2 + C_1}{2}\right)^2 < \left(\frac{C_2 - C_1}{2}\right)^2,$$

$$\left(\sum_j k_{mj} x_j\right)^2 - (C_1 + C_2) \cdot \sum_j k_{mj} x_j + \left(\frac{C_1 + C_2}{2}\right)^2 < \left(\frac{C_2 - C_1}{2}\right)^2;$$

Т.к. k_{ij} равны 0 или 1, а $\sum_j k_{ij} \leq 1, \forall i$, имеем

$$\left(\sum_j k_{mj} x_j\right)^2 = \sum_j k_{mj}^2 x_j^2 = \sum_j k_{mj} x_j^2, \quad \forall i$$

В результате вместо двух неравенств получаем единственное линейное неравенство:

$$\sum_j k_{mj} x_j (x_j - C_1 - C_2) < -C_1 \cdot C_2$$

Аналогично, условию

$$\sum_j k_{mj} x_j < C_1 \text{ или } \sum_j k_{mj} x_j > C_2$$

соответствует линейное неравенство:

$$\sum_j k_{mj} x_j (x_j - C_1 - C_2) > -C_1 \cdot C_2.$$

1.3. Условные ограничения

На реальных документах часто встречается ситуация, когда ограничение на расположение элемента не фиксировано, а зависит от некоторого логического условия. Например, поле дата пишется либо сверху документа по центру, либо в левом нижнем углу. Такое ограничение может быть описано в виде следующего логического условия: $A_1 A_2 \vee B_1 B_2$ где

$$A_1 : C_1 < x_d + \frac{w_d}{2} < C_2; \quad A_2 : y_d + h_d < C_3;$$

$$B_1 : x_d + w_d < C_4; \quad B_2 : y_d > C_5$$

Приведем примеры представления часто встречаемых логических при помощи линейных неравенств.

1.3.1 Конъюнкция.

Как уже было отмечено, логическое условие «и» является естественным для системы неравенств. Условие $A \wedge B$ приводит просто к добавлению в систему обоих неравенств A, B .

1.3.2 Отрицание.

Логическое отрицание реализуется изменением знака неравенства. Например, для условия $\sum_j k_{mj} y_j < C_1$ отрицанием этого условия является неравенство $\sum_j k_{mj} y_j \geq C_1$.

1.3.3 Дизъюнкция

В терминах задачи линейного программирования логическую функцию «или» можно описать следующим образом.

Допустим, есть 2 условия A и B :

$$A : \sum_j k_{mj} y_j < C_1$$

$$B : \sum_j k_{nj} x_j < C_2$$

Тогда, условие выражается следующим образом:

$$\begin{cases} \sum_j k_{mj} y_j - C_\infty u < C_1; \\ \sum_j k_{nj} x_j - C_\infty v < C_2; \\ u + v = 1. \end{cases}$$

Здесь C_∞ – некоторая большая константа, а принимают значение $\{0, 1\}$. При $u = 1$ либо $v = 1$ одно из исходных неравенств превращается в тождество.

Любая логическая функция выразима через конъюнкцию, дизъюнкцию и отрицание, следовательно, любая логическая функция представима системой неравенств. Приведем примеры систем неравенств для часто встречающихся логических функций.

1.3.4 Импликация.

Для двух условий A и B логическая функция «если-то» т.е. импликация $A \Rightarrow B$ выражается следующим образом: $A \rightarrow B = A \vee B$. Исходя из п.п. 2.3.2, 2.3.3. для $A \rightarrow B$ имеем систему неравенств:

$$\begin{cases} \sum_j k_{mj} y_j + C_\infty \cdot u \geq C_1 \\ \sum_j k_{nj} x_j - C_\infty \cdot v < C_2 \\ u + v = 1 \end{cases}$$

1.3.5 Сумма по модулю 2 («исключающее или»).

Аналогично, для двух условий A и B логическая функция $A \oplus B$ выражается, как $A \oplus B = A\bar{B} \vee \bar{A}B$. Данное выражение описывается следующей системой неравенств:

$$\begin{cases} \sum_j k_{mj} y_j - C_\infty u < C_1 \\ \sum_j k_{nj} x_j + C_\infty u \geq C_2 \\ \sum_j k_{mj} y_j + C_\infty v \geq C_1 \\ \sum_j k_{nj} x_j - C_\infty v < C_2 \\ u + v = 1 \end{cases}$$

1.3.6 Взаимоисключающие элементы

При описании формы частым является случай взаимоисключающих элементов. Это значит, что на документе должен присутствовать лишь один из двух идеальных элементов. Для описания взаимоисключающих элементов a_1 и a_2 в систему добавляется следующее неравенство:

$$\sum_j (k_{1j} + k_{2j}) \leq 1$$

2. Реализация и практическое применение

Итак, задача идентификации документа по шаблону сводится к решению следующей задачи целочисленного линейного программирования.

$$P = \sum_{i,j} k_{ij} p_{ij} \rightarrow \max$$

при линейных ограничениях

$$\begin{cases} \sum_j k_{ij} \leq 1, \forall i \\ \sum_i k_{ij} \leq 1, \forall j \\ k_{ij} \geq 0, \forall i, j \\ r_m(k_{ij}) > 0 \end{cases}$$

где $r_m(k_{ij}) > 0$, – набор линейных неравенств, описывающих правила расположения элементов.

Полученная задача целочисленного линейного программирования решается двухэтапным (двухфазным) симплекс методом [5] с отсекающими Гомори [6].

Алгоритм всегда находит оптимальную матрицу отображения $K = \{k_{ij}\}$, и если правила расположения элементов R описывают шаблон объективно, то найденная матрица задает искомое оптимальное отображение шаблона T на документ D .

Что касается вычислительной сложности алгоритма, то число итераций при решении задач линейного программирования в стандартной форме с F ограничениями и G переменными заключено между F и $3F$. Среднее число итераций составляет $2F$, верхняя граница числа итераций равна $2F + G$, а вычислительная сложность пропорциональна F^3 . Для предлагаемого описания число переменных $G = NM + N + M + kL$, а число линейных ограничений в системе $F = N + M + kL$, в зависимости от сложности условий R . Грубая оценка вычислительной сложности составляет kM^3 , где M – число элементов шаблона. Действительно, каждый элемент шаблона отображается, как правило, на несколько реальных элементов, также для элемента шаблона используется несколько правил его расположения.

Описанный в работе алгоритм был реализован на C++. В качестве шаблона был выбран верхний блок накладной «Торг-12» с информацией о контрагентах, номере и дате документа, специальных кодах (Рис. 3). Описание включало 34 элемента и 71 правило их взаимного расположения, тестовые данные состояли из 112 документов. В качестве методов поиска элементов на документе использовалось преобразование Хафа для выделения линий и морфологическая фильтрация для выделения зон статических текстов. Далее для группировки распознанных слов в устойчивые текстовые конструкции были использованы алгоритмы синтаксической контекстной постобработки [8-10].

Результаты работы алгоритма на тестовом наборе данных приведены в Таблице 1. При этом среднее время работы алгоритма на процессоре Intel Core i5-2300 2.8 ГГц составило 85 мс на документ.

ООО "Торговый Дом "Котляковский", ИНН 7702810806/772401001, 115201, Москва г, Котляковская ул, д. 3, стр.1, тел. 941-92-62,941-92-71 ,р/с 40702810800012957879 в ЗАО "ЮниКредит Банк" г.Москва, БИК 044525545 ,корр/с 30101810300000000545	Форма по ОКУД	0330212
грозуполучатель, адрес, номер телефона, банковские реквизиты	по ОКПО	1087746726
структурное подразделение	Вид деятельности по ОКДП	
ООО "АБИК", РФ, 141014, Московская область, Мытищинский р-он, г. Мытищи, Осташковское ш.д. 1,91 км МКАД, ИНН/КПП 7702810807/509950001, р/с 40702810000035100268 в ООО "Эйч-эс-би-си Банк" г. Москва, БИК 044525351, к/с 30101810400000000351	по ОКПО	
Грузополучатель	по ОКПО	1087746726
ООО "Торговый Дом "Котляковский", ИНН 7724010066/772401001, 115201, Москва г, Котляковская ул, д. 3, стр.1 ,р/с 40702810800012957879 в ЗАО "ЮниКредит Банк" г.Москва, БИК 044525545 ,корр/с 30101810300000000545	по ОКПО	1087746726
Поставщик	по ОКПО	1087746726
ООО "АБИК", Российская Федерация, 141014, Московская область; Мытищинский р-н, г.Мытищи; Осташковское ш.; д. 1, ИНН/КПП 7240100067/509950001, р/с 40702812401000100268 в ООО "Эйч-эс-би-си Банк" г. Москва, БИК 044525351, к/с 30101810240100000351	по ОКПО	
Плательщик	по ОКПО	
Основание	номер	
Договор № Н 715 от 01.06.20	дата	
Отвес № 22747 от 01.04.13 (Заказ №120594 от . . .)	номер	21358
договор, заказ-наряд	дата	01.04.2013
ТОВАРНАЯ НАКЛАДНАЯ	Номер документа	2135
	Дата составления	01.04.2013
	Транспортная накладная	
	Вид операции	

Рис. 3. Верхний блок товарной накладной ТОРГ-12

Табл. 1.

Результаты отображения полей шаблона накладной Торг-12.

Документы	Поля	TP	FP	FN	Точность	Полнота
112	1456	1312	79	94	94.32%	90.11%

Заключение

В настоящей работе представлен метод описания шаблона документа с помощью правил взаимного расположения его примитивных элементов, при котором решение задачи идентификации слабоструктурированного документа сводится к решению задачи целочисленного линейного программирования. При этом максимизируемый функционал описывает отображение шаблона на конкретный экземпляр документа, а правила взаимного расположения элементов заданы в виде набора линейных неравенств. Рассмотрены следующие классы ограничений элементов шаблона – геометрические (абсолютные и относительные) и условные, т.е. ограничения, порождаемые из других ограничений при помощи логических условий. Показаны способы описания этих видов ограничений в виде системы линейных неравенств. Кроме того, приведены оценки вычислительной сложности поиска оптимального отображения шаблона на экземпляр документа. Реализован и апробирован алгоритм распознавания верхнего блока бухгалтерского документа «Торг-12», сделаны замеры качественных и временных характеристик его работы: точность – 94.32%, полнота – 90.11%, среднее время работы – 85мс на документ. В качестве последующих шагов авторы статьи предполагают исследовать проблему автоматического построения правил взаимного расположения элементов по их графическому описанию, а также возможность применения методов целочисленного линейного программирования для распознавания табличных структур.

Литература

1. *Постников В.В.* Автоматическая идентификация и распознавание структурированных документов. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2001.
2. *Cesarini F., Gori M., Marinai S., and Soda G.*, INFORMys: A Flexible Invoice-Like Form-Reader System. // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 20, no. 7, pp. 730-745, July 1998.
3. *Cracknell C., Downton A.C., Du L.*, An Object-Oriented form Description Language and Approach to Handwritten Form Processing. // ICDAR'97, IEEE, 1997
4. *Peng H., Long F., Chi Z., and Siu W.-C.*, Document image template matching based on component block list. // Pattern Recognition Letters, 2001
5. *Таха Х.А.* Введение в исследование операций. // М.: «Вильямс», Изд.6, 2001.
6. *Шевченко В.Н., Золотых Н.Ю.* Линейное и целочисленное линейное программирование. // Учебное пособие Нижегородского ГУ, 2002.
7. *Шоломов Д.Л.* Синтаксические методы контекстной обработки в задачах распознавания текста. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2007.
8. *Шоломов Д.Л., Постников В.В., Марченко А.А., Усков А.В.* Пост-обработка результатов OCR-распознавания, использующая частично-определенный синтаксис. // Труды ИСА РАН. Т. 16. С. 146-163, 2005.
9. *Шоломов Д.Л.* Коррекция распознанного текста с использованием методов классификации. // Труды ИСА РАН, т. 29. с. 356-380, 2007.
10. *Арлазаров В.В., Малых В.А., Шоломов Д.Л.* Распознавание изображений документов с использованием алгоритма «Рулетки» // Труды ИСА РАН. т.63, №4, с. 35-38, 2013.

Шоломов Дмитрий Львович. С.н.с. ФИЦ ИУ РАН. К.т.н. Окончил в 1997 г. МГУ им. Ломоносова. Количество печатных работ: более 20. Область научных интересов: цифровая обработка изображений, компьютерное зрение, искусственный интеллект. E-mail: sholomov@list.ru.

Волков Алексей Геннадьевич. Старший преподаватель НИТУ «МИСиС». Окончил в 2011 г. НИТУ «МИСиС». Область научных интересов: цифровая обработка изображений. E-mail: alexwolf88@mail.ru.

Полевой Дмитрий Валерьевич. С.н.с. ФИЦ ИУ РАН. Доцент НИТУ «МИСиС». К.т.н. Окончил в 2004 г. МФТИ. Количество печатных работ: более 20. Область научных интересов: цифровая обработка изображений, распознавание образов. E-mail: dvpsun@gmail.com

Document identification in terms of linear programming

D.L. Sholomov, A.G. Volkov, D.V. Polevoy

Abstract. The paper presents a method for document template description by rules for relative location of primitive elements. Such description reduces the problem of identifying a weakly structured document to the problem of integer linear programming. In this case, the maximized functional describes the document template matching rate and the rules for relative location are transformed into a number of linear inequalities.

Keywords: document recognition, template description, template matching, flexible forms, document identification, linear programming, mass document input, graphical primitives, text recognition, invoice recognition.

Reference

1. *Postnikov V.V.* Automatic identification and recognition of structured documents. // Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Moscow, 2001.
2. *Cesarini F., Gori M., Marinai S., and Soda G.*, INFORMys: A Flexible Invoice-Like Form-Reader System. // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 20, no. 7, pp. 730-745, July 1998.
3. *Cracknell C., Downton A.C., Du L.*, An Object-Oriented form Description Language and Approach to Handwritten Form Processing. // ICDAR'97, IEEE, 1997
4. *Peng H., Long F., Chi Z., and Siu W.-C.*, Document image template matching based on component block list. // Pattern Recognition Letters, 2001
5. *Taha H.A.* Operations research: An introduction. // M.: Williams, Ed.6, 2001.
6. *Shevchenko V.N., Zolotykh N.Yu.* Linear and integer linear programming. // Ed. Nizhny Novgorod State University, 2002.
7. *Sholomov D.L.* Syntactic methods of contextual processing in problems of text recognition. // Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Moscow, 2007.
8. *Sholomov D.L., Postnikov V.V., Marchenko A.A., Uskov A.V.* Post-processing of OCR Results Using Automatically Constructed Partially Defined Syntax. // Proceedings of the Institute for System Analysis RAS, Vol. 16. pp. 146-163, 2005.
9. *Sholomov D.L.* Correction of recognized text using classification methods. // Proceedings of the Institute for System Analysis RAS, Vol. 29. pp. 356-380, 2007.
10. *Arlazarov V.V., Malykh V.A., Sholomov D.L.* Recognition of the document images with the usage of "Roulette" algorithm. // Proceedings of the Institute for System Analysis RAS. Vol. 63, №4, pp. 35-38, 2013.

Sholomov Dmitry Lvovich. Senior researcher. ISA FRC CSC RAS. PhD. Graduated from the Moscow State University in 1997. Number of the printed works: more than 20. Range of scientific interests: image processing, computer vision, artificial intelligence. E-mail: sholomov@list.ru

Volkov Alexey Gennadievich. Senior teacher. NUST MISiS. Graduated from the NUST MISiS in 2011. Range of scientific interests: image processing. E-mail: alexwolf88@mail.ru

Polevoy Dmitry Valerievich. Senior researcher. ISA FRC CSC RAS. Associate professor NUST MISiS. PhD. Graduated from the Moscow Physics and Technique Institute in 2004. Number of the printed works: more than 20. Range of scientific interests: image processing, computer vision. E-mail: dvpsun@gmail.com