

МЕТОД СИНТАКСИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.А. Прытков, Ю.А. Барташевич, М.М. Лукашевич

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, кафедра ЭВМ
220013, ул. П. Бровки, 6, г. Минск, Беларусь
телефон: + (375) 293-86-63; e-mail: prytkov@bsuir.by

Предлагается метод для решения задач текстурного анализа изображений, основанный на синтаксическом описании текстур. Описание строится в виде правил формальной грамматики, определяющих отношения соседства для однородных элементов изображения. Отличительными особенностями метода являются возможность построения иерархических текстурных моделей и использование простых критериев однородности на этапе сегментации.

Ключевые слова – текстура, сегментация, формальная грамматика.

1 ВВЕДЕНИЕ

Толчком к развитию направления сегментации и распознавания текстурных изображений послужили работы Харалика и Лавса [1, 2]. На сегодняшний день это одно из наиболее динамично развивающихся направлений в распознавании образов и обработке изображений. Тем не менее, хотя и ведутся активные работы по определению текстурных признаков, выявлению текстурирующего элемента, описанию текстур и т.д., до сих пор не существует четкого формального определения текстуры [3-6]. В случае текстурной сегментации используют, как правило, фильтры, статистические признаки, нейронные сети, скрытые марковские модели, фрактальный анализ и др. [4, 7-11].

В данной работе будем придерживаться следующего определения текстуры: текстура – связанная область элементов цифрового изображения с различными яркостями, визуально передающая характер поверхности объекта исходной сцены [10]. В работах [3, 5] отмечается, что текстура является свойством соседства. Наименьшую область изображения текстурного типа, передающую характер и основные особенности текстуры, принято называть текстурирующим элементом (текстоном, текселем).

Теория формальных грамматик к распознаванию текстурных изображений применяется достаточно редко. В первую очередь, это связано со сложностью передачи свойств двумерного объекта (цифрового изображения) с помощью аппарата, предназначенного для работы с одномерными объектами (цепочками символов). Тем не

менее, общие идеи такого подхода и некоторые классы используемых грамматик предложены в [13-15].

Формальная грамматика G определяется через множество терминальных символов (терминальный словарь) T , множество нетерминальных символов (нетерминальный словарь) N , множество правил P вида $\alpha \rightarrow \beta$, где α и β – цепочки символов, $\alpha, \beta \in (N \cup T)^*$ и целевого символа грамматики S . Аппарат формальных грамматик имеет хорошо проработанную математическую базу и для классов контекстно-свободных и регулярных грамматик позволяет достаточно тривиально решать задачу о принадлежности входной цепочки заданной грамматике. Таким образом, если описать текстуру с помощью регулярной либо контекстно-свободной грамматики, задачи распознавания и классификации изображений текстур переходят в разряд задач о принадлежности входной цепочки заданной грамматике.

В данной работе развиваются идеи метода, предложенного в [16, 17]. Метод основан на описании отношений соседства однородных областей изображения с использованием формальных грамматик.

2 ОПИСАНИЕ ТЕКСТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ФОРМАЛЬНОЙ ГРАММАТИКИ

Текстурирующий элемент, в общем случае, может быть разбит на множество областей, к которым применимы более строгие критерии однородности по сравнению с текстурой в целом. Обратим внимание на тот факт, что для таких однородных областей достаточно просто может быть построено пространство признаков, по которому их можно разбить на классы.

Обозначим текстуру через нетерминал I , и поставим в соответствие каждому классу однородных областей текстуры свой нетерминал A_i , где i – номер класса. Тогда текстура в первом приближении может быть описана следующим правилом: $I \rightarrow A_1 I | A_2 I | \dots | A_n I | A_1 | A_2 | \dots | A_n$, где n – количество классов однородных областей. Однако этого правила недостаточно для описания отношения соседства. Построим соответствующие правила следующим образом: выполним обход границы каждой из областей, например, по часовой стрелке, и в порядке прохождения смежных областей впишем соответствующие им нетерминалы в правую часть правила: $A_j \rightarrow B^1_{k1} B^2_{k2} \dots B^m_{km}$, где m – количество смежных облас-

тей, $j = 1, 2, \dots, n$, нетерминал B_k^j соответствует границе области k -класса, i – порядковый номер смежной области в последовательности, полученной при обходе границы, и, соответственно, $k1, k2, \dots, km \in \{1, 2, \dots, n\}$.

В общем случае необходимо учесть, что начало обхода может находиться в любой точке контура. Для этого перепишем последнее правило следующим образом:
 $A \rightarrow B_{k1}^1 B_{k2}^2 \dots B_{km}^m \mid B_{k1}^1 B_{k2}^2 \dots B_{km}^m B_{k1}^1 \mid B_{k2}^2 \dots B_{km}^m B_{k1}^1 \mid B_{k2}^2 \dots B_{km}^m B_{k1}^1 B_{k2}^2 \mid \dots \mid B_{km}^m B_{k1}^1 B_{k2}^2 \dots B_{km}^m$.
 Подобное изменение позволяет учесть и шумовые эффекты вблизи граничных пикселей, а также построить инвариантное к повороту описание.

Для полноты описания необходимо добавить в грамматику правила, позволяющие построить конечную цепочку терминальных символов: $B_k \rightarrow b_k \mid B_k b_k$. Здесь b_k – терминальный символ, соответствующий контурному пикселю, принадлежащему однородной области k -класса, $k = 1, 2, \dots, n$.

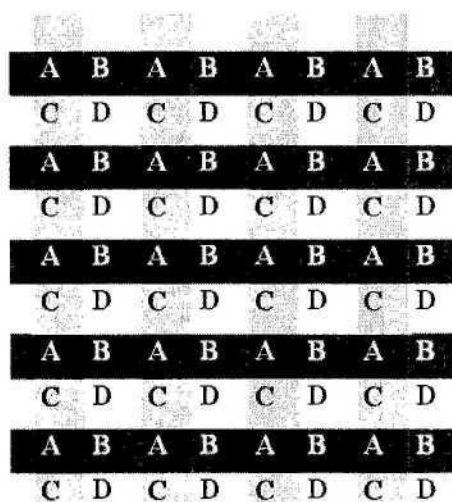


Рис. 1. Пример текстуры с 4 однородными областями

Так, для текстуры, приведенной на рис. 1, грамматика будет выглядеть следующим образом:

$I \rightarrow A'I \mid B'I \mid C'I \mid D'I \mid A' \mid B' \mid C' \mid D'$;
 $A' \rightarrow DCDBDCDB \mid DCDBDCDBD \mid CDBDCDBD \mid CDBDCBDC \mid DBDCBDC \mid DBDCBDCD \mid BDCBDCD \mid BDCBDCDB$;
 $B' \rightarrow CDCACDCA \mid CDCACDCAC \mid DCACDCAC \mid DCACDCACD \mid CACDCACD \mid CACDCACDC \mid ACDCACDC \mid ACDCACDCA$;
 $C' \rightarrow BABDBABD \mid BABDBABDB \mid ABDBABDB \mid ABDBABDBA \mid BDBABDBA \mid BDBABDBAB \mid DBABDBAB \mid DBABDBABD$;
 $D' \rightarrow ABACABAC \mid ABACABACA \mid BACABACA \mid BACABACAB \mid ACABACAB \mid ACABACABA \mid CABACABA \mid CABACABAC$;
 $A \rightarrow a \mid Aa; B \rightarrow b \mid Bb; C \rightarrow c \mid Cc; D \rightarrow d \mid Dd$.

3 СХЕМА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ

Предложенный метод требует распознавания с обучением. Пусть I – множество изображений эталонных тек-

стур: $I = \{I_1, I_2, \dots, I_L\}$. В режиме обучения система состоит из следующих элементов:

1. Сегментация. На этом этапе на эталонных текстурах выделяются однородные связные области. Получаем множество $X = \{X_1, X_2, \dots, X_U\}$ однородных связных областей изображений. В общем случае может использоваться любой алгоритм сегментации, не требующий априорных сведений об изображении.

2. Кластеризация. Множество однородных связных областей всех имеющихся эталонных изображений текстур разбивается на множество классов однородных областей $A = \{A_1, A_2, \dots, A_Q\}$, $A_i \subseteq X$, $\forall A_i, A_j: A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j$. В общем случае может использоваться любой алгоритм кластеризации. Каждой текстуре ставится в соответствие свое множество входящих в нее классов: $I_r \rightarrow \{A_1 \mid A_2 \mid \dots \mid A_n\}$, $A_i \in A, r = 1, 2, \dots, L$.

3. Построение описания текстур. Для каждой текстуры для каждой ее однородной области выполняется обход контура и строится терминальная цепочка $\alpha_i = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}^*$, где $*$ обозначает операцию замыкания. Цепочки сворачиваются к правилам вида $A_j \rightarrow B_{k1}^1 B_{k2}^2 \dots B_{km}^m$, которые в дальнейшем заменяются на множество правил, рассмотренным выше образом.

В результате обучения для каждой текстуры будет построена своя грамматика, которая позволит выполнять на этапе распознавания проверку на точное соответствие входной цепочки заданной грамматике.

В режиме распознавания система состоит из следующих элементов:

1. Сегментация. На этом этапе на исходном изображении выделяются однородные связные области. Получаем множество $X' = \{X'_1, X'_2, \dots, X'_P\}$. Должен использоваться тот же алгоритм, что и на этапе обучения, с теми же самими параметрами.

2. Классификация. Для каждого из элементов множества однородных связных областей определяется класс, которому она соответствует: $X'_j \rightarrow A_i$. Должно использоваться множество классов, полученное на этапе обучения. Алгоритм классификации, определяющий способ построения решающих правил, в общем случае может быть любым.

3. Распознавание. Для каждой однородной области входного изображения выполняется обход контура и строится терминальная цепочка $\alpha_i = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}^*$. Для каждой цепочки, используя стандартные алгоритмы, определяется ее принадлежность той или иной грамматике. Если цепочка принадлежит данной грамматике, то соответствующая ей однородная область составляет текстуру, которая данной грамматикой определяется.

Возможен случай, когда правило входит в описание нескольких грамматик (рис. 2). В этом случае требуется дополнительный анализ, какой текстуре соответствует область. Можно рекомендовать следующий подход: для областей, цепочки которых принадлежат нескольким грамматикам, определяется количество соседних областей, однозначно принадлежащих каждой из данных грамматик. Если среди соседей области принадлежат только одной из них, то рассматриваемая область с наи-

большей вероятностью принадлежит именно этой текстуре. Если же соседние области принадлежат нескольким из них, то данную область можно разделить между несколькими текстурами, используя, например, методы математической морфологии (рис. 3). Если же среди соседних областей ни одна не принадлежит данным грамматикам, то требуются более сложные алгоритмы анализа.

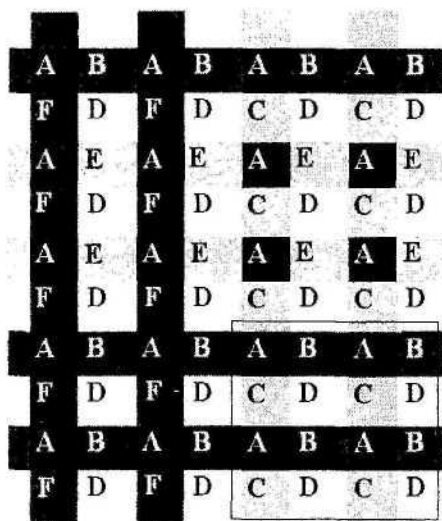


Рис.2. Пример текстуры, правила грамматики которой включают предыдущее описание (выделенный фрагмент)

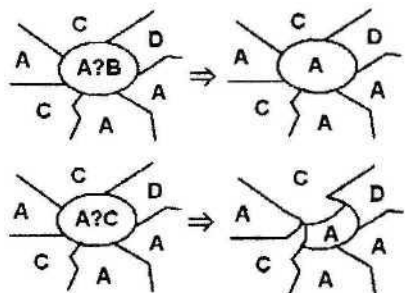


Рис.3. Принятие решения с учетом окружения

Еще один вариант решения данной проблемы – построение иерархических описаний. В этом случае выполняется обход внешнего контура области, полученной путем объединения текущей области со смежными с ней областями.

Предложенный подход не позволяет распознать цепочку в случае, если нет полного ее соответствия грамматике. Однако ошибки сегментации и классификации приводят к формированию цепочек, которые либо не будут распознаны, либо будут распознаны неверно. Такие же цепочки формируются на границах текстурных областей, когда контур включает области других текстур, а также на границе изображения, когда часть контура вообще не имеет смежных областей.

4 ГРАММАТИКА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ГРАНИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ ТЕКСТУР

В зависимости от алгоритма классификации, возможен случай, когда однородная область исходного изображения не принадлежит ни одному из имеющихся классов. Для обозначения пикселей такой области введем терминал e .

Рассмотрим вначале случай, когда область, для которой выполняется распознавание, классифицирована без ошибок. Возможны три варианта: отношение соседства полностью соответствует грамматике; имеется только частичное совпадение; отношение соседства полностью не соответствует грамматике. Первый вариант подробно рассмотрен в п. 4. Для обнаружения же частичного совпадения правила грамматики требуют дополнения. Правила вида $B_k \rightarrow b_k \mid B_k b_k$ заменяются правилами вида $B_k \rightarrow b_k \mid B_k b_k \mid E' \mid B_k E', E' \rightarrow b_1 \mid b_2 \mid \dots \mid b_n \mid e \mid \lambda$, где λ – пустая цепочка. Такое дополнение позволяет учесть как возможные включения любых других классов областей в контур класса B_k , так и полное отсутствие соседних областей. Отметим, что такие правила грамматики фактически приводят к полному перебору возможных сочетаний нетерминалов в правой части правил и к значительному увеличению объема вычислений и замедлению обработки. Вариант, когда отношение соседства полностью не соответствует грамматике, относится к изолированной однородной области.

Теперь рассмотрим случай, когда область, для которой выполняется распознавание, классифицирована с ошибкой. В этом случае требуется сравнение на соответствие для всех правил, независимо от нетерминала левой части. Пусть $P(X)$ – следующее множество правил грамматики: $P(X) = \{p_i : X \rightarrow \alpha\}$. Тогда множество правил обобщенной грамматики для рассматриваемого случая будет иметь вид: $\{I \rightarrow AI \mid A\} \cup P(A_{ij}), i = 1, 2, \dots, L; j = 1, 2, \dots, Q$, где A_{ij} – нетерминал грамматики i -текстуры j -класса. Такой подход еще больше увеличивает время обработки. Аналогично, в этом случае возможно полное совпадение с правой частью правила, частичное, либо полное несовпадение.

Рассмотрим построение системы, учитывающей частичное соответствие отношения соседства. В режиме обучения на этапе описания текстур для каждой области строится две грамматики – грамматика, описывающая полное соответствие, и грамматика, описывающая частичное соответствие.

В режиме распознавания этап распознавания выполняется по следующей схеме: выполняется проверка на полное соответствие, если оно найдено, то принимается решение о принадлежности области соответствующей текстуре.

Если полного соответствия не обнаружено, выполняется проверка на частичное соответствие в предположении, что текущая область распознана без ошибок. Здесь необходимо учитывать степень соответствия для принятия решения. Предлагается рассчитывать степень соответствия как $w = (z+1)/(m+1)$, где z – количество верно распознанных нетерминалов в правой части правила, m – количество нетерминалов в правой части правила, единица

учитывает, что исходная область распознана верно. Более точно степень соответствия можно учитывать через длину контура: $w = z'/m'$, где z' - количество терминалов входной цепочки, свернутых к верно расположенному нетерминалу, m' - количество терминалов входной цепочки (длина контура). Если w превышает некоторый порог, то решение принимается на основе максимальной степени соответствия.

Если порог не превышен, есть вероятность, что исходная область была классифицирована с ошибкой. Выполняется поиск максимальной степени соответствия уже для всего набора правил всех имеющихся грамматик. Степень соответствия может быть рассчитана по формуле $w = z/m$. Хотя расчет степени соответствия через количество нетерминалов несколько менее точен, чем через длину контура, но в этом случае есть возможность сравнивать степени соответствия в случае с верно распознанной исходной областью со степенями соответствия в случае с ошибочно распознанной исходной областью, что позволяет отказаться от принятия решения по порогу и получить более точное решение. Если степень соответствия превышает некоторый порог, то решение принимается на основе максимума степени соответствия. В противном случае данная область не соответствует ни одной из эталонных текстур.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод описания текстур на основе контекстно-свободных грамматик. Описание строится путем обхода контура связанных однородных областей текстуры. Метод допускает использование различных алгоритмов для предварительной сегментации, кластеризации и классификации и учитывает степень соответствия описанию, что не только позволяет принимать более точное решение вблизи границ текстур или изображения, но и в ряде случаев корректирует ошибку, внесенную на этапе сегментации и классификации. Кроме того, имеется возможность построения иерархических текстурных моделей.

В качестве направлений дальнейшего исследования можно рассматривать поиск наиболее эффективных в рамках данного подхода алгоритмов сегментации, кластеризации и классификации, построение алгоритмов распознавания цепочек, учитывающих особенности грамматик предложенного вида, автоматический выбор порогов на этапе принятия решения и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Haralick, R. M. Textural features for image classification / R. M. Haralick, K. Shanmugan, I. Dinstein // IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. – 1973. – Vol. 3. – P. 610-621.
- [2] Laws, K. L. Textured Image Segmentation: PhD thesis / K. L. Laws. – Los Angeles, 1980.
- [3] Jain, A. K. Texture analysis: representation and matching / A. K. Jain, K. Karu // Image Analysis and Processing: 8th International Conferences. Lecture notes in computer science. – 1995. – Vol. 974. – P. 3-10.
- [4] Noriega, L. The fractal analysis of texture / L. Noriega, S. Westland // Pattern Recognition and Information Processing: Proc. of 6th Intern.Conf. – Minsk, 2001. – P. 121-125.
- [5] Zhou, F. Texture classification and texture-based image segmentation / F. Zhou, J. Feng, Q. Shi // Pattern Recognition and Information Processing: Proc. of 6th Intern.Conf. – Minsk, 2001. – P. 41-45.
- [6] Абламейко, С. В. Обработка изображений: технология, методы, применение / С. В. Абламейко, Д. М. Лагуновский. – Минск, 2000.
- [7] Лукашевич, М. М. Алгоритм текстурной сегментации с использованием энергетических характеристик / М. М. Лукашевич, Р. Х. Садыхов // Доклады БГУИР. – Минск, 2008. – № 6 (36). – С. 109-116.
- [8] Автоматическая классификация локальных особенностей полей данных с использованием скрытых Марковских моделей / В. В. Мотгль [и др.] // Обзорные прикладной и промышленной математики. – 1996. – Т. 3. – Вып. 1. – С. 104-108.
- [9] Мишулина, О. А. Распознавание текстурных изображений на векторной нейронной сети / О. А. Мишулина, Т. Вин // IX всероссийская науч.-техн. конф. «Нейроинформатика-2007»: Сб. науч. трудов. – М., 2007. – Ч. 1. – С. 146-157.
- [10] Лукашевич, М. М. Алгоритм текстурной кластеризации спутниковых изображений с использованием конкурентной нейронной сети / М. М. Лукашевич, Р. Х. Садыхов // Доклады БГУИР. – Минск, 2008. – № 8 (38). – С. 68-74.
- [11] Lukashevich, M. M. Texture Clustering of Satellite Images Using Self-Organizing Neural Network. / M. M. Lukashevich, R. Kh. Sadykhov // The International Journal of Computing. – 2008. – Vol. 7. – Issue 3. – P. 15-21.
- [12] Старовойтов, В. В. Локальные геометрические методы цифровой обработки и анализа изображений / В. В. Старовойтов. – Минск, 1997.
- [13] Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М., 2006.
- [14] Форсайт, Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М., 2004.
- [15] Сулейменов, Е. Р. Рекуррентная грамматика для описания и распознавания некоторых классов объектов / Е. Р. Сулейменов // Математические методы распознавания образов: Доклады 9 Всероссийской конф. – М., 1999. – С. 230-231.
- [16] Прытков, В. А. Метод распознавания текстур на основе синтаксического описания / В. А. Прытков // Доклады БГУИР. – Минск, 2008. – №4. – С. 115-120.
- [17] Yarmolik, A. P. Description of textures in problems of image segmentation basing on the syntactic approach / A. P. Yarmolik, Y. A. Bartashevich, V. A. Prytkov // Proc. of the 10th Int. Conf. «Pattern Recognition and Information Processing». – Minsk, 2009. – p. 112-114.