

АЛГОРИТМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ ОДНОРОДНЫХ ТЕКСТУРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.Д. Гольцев, В.И. Гриценко

*Международный научно-учебный центр информационных технологий
и систем НАН Украины и Министерства образования и науки Украины*

Описана часть модели текстурной сегментации зрительных изображений. Модель предназначена для решения задачи сегментации произвольного изображения на однородные текстурные области при условии отсутствия какой-либо информации об изображении. Создана компьютерная программа, реализующая эту модель. Программа проверена на черно-белых естественных изображениях ландшафтного типа. Эксперименты продемонстрировали эффективность модели для текстурной сегментации естественных изображений.

Описано частину моделі текстурної сегментації візуальних зображень. Модель призначено для вирішення задачі сегментації довільного зображення на однорідні текстурні області за умови відсутності якої-небудь інформації про зображення. Створено комп'ютерну програму, що реалізує цю модель. Програму випробувано на чорно-білих природних зображеннях ландшафтного типу. В експериментах продемонстровано ефективність моделі для текстурної сегментації природних зображень.

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа является продолжением работ по обработке зрительной информации, которые были инициированы Николаем Михайловичем Амосовым в отделе Биологической и медицинской кибернетики Института кибернетики, которым он руководил в течение многих лет. Сейчас эти работы продолжаются в Отделе нейросетевых технологий обработки информации Международного научно-учебного центра информационных технологий и систем. Научные интересы Н.М. Амосова были весьма широки. Безусловно, основным направлением его исследований было познание высших интеллектуальных функций человеческого мозга и их моделирование, что, в конечном итоге, имело своей целью создание искусственного разума [1, 2]. Однако при этом Н.М. Амосов уделял значительное внимание разработке алгоритмов обработки сенсорной информации, прежде всего зрительной. Был выполнен целый ряд исследований, посвященных обработке зрительных изображений, таких как текстурная сегментация изображений, распознавание отдельных рукописных цифр и букв, а затем и слитного рукописного текста, контроль печатных плат и др. Н.М. Амосов не только руководил этими работами, но и принимал в них непосредственное участие [3, 4].

В статье рассматривается проблема текстурной сегментации, которая является ключевой для анализа естественных визуальных сцен различной природы, таких как пейзажи, спутниковые фотографии, микроскопические медицинские изображения и т.д.

Разделение изображения на текстурные области необходимо для выделения объекта из фона и его распознавания. Действительно, распознавание объекта производится, в значительной мере, по его форме. Поэтому для того, чтобы распознавать объекты на естественных изображениях, следует в первую очередь выявить их границы. Границы объектов часто совпадают с границами текстурных сегментов. Таким образом, первоочередной операцией в процессе выделения объекта из фона и его распознавания на естественном изображении должна быть сегментация изображения на текстурные области.

Множество работ, предлагающих различные алгоритмы текстурной сегментации, опубликовано к настоящему времени. В большинстве таких работ для описания, распознавания и сегментации текстур используется статистический анализ исходного изображения. В процессе анализа изображение обычно обрабатывается скользящим окном, при помощи которого измеряются различные его статистические характеристики, такие как энергия, энтропия, однородность, контрастность, дисперсия, среднее и т.д. Использование статистических методов обеспечивает очень хорошие результаты сегментации.

В работе [5] для распознавания текстур предлагаются специальные признаки, названные текстонами (textons), например смыкание линий, концы линий, углы. Отдельные связанные группы пространственно повторяющихся паттернов, называемые текселями (texels), также широко используется для описания текстуры (см., например, [6, 7]). Было сделано несколько попыток определить понятия textons и texels математически. В частности, в работе [6] предложено моделировать текстуры при помощи суперпозиции функций Габор, сгенерированных пользователем на основе заданного набора текстонов.

Задача текстурной сегментации зрительных изображений имеет разную сложность в зависимости от наличия информации об обрабатываемом изображении. Так, решение этой задачи значительно облегчается, если указаны характерные точки для тех текстур, области которых должны быть сегментированы на изображении. Используя эти точки, можно определить адекватные текстурные признаки и соответствующим образом настроить параметры алгоритма сегментации. Настройка параметров сегментации может быть выполнена посредством обучения. Этот подход относится к категории обучения с учителем, он в значительном количестве публикаций представлен в литературе [7–16].

Другой подход к проблеме текстурной сегментации подразумевает, что алгоритм сегментации использует некоторые универсальные текстурные признаки для выделения любых текстурных областей и делает это без обучения по заранее заданному набору текстурных классов. Этот подход относится к категории текстурной сегментации без учителя (см., например, [17–21]). В рамках этого подхода многие предложенные алгоритмы демонстрируют очень хорошие результаты, хотя для большинства из них необходимо задать количества выделяемых сегментов. Однако также предложены алгоритмы текстурной сегментации без учителя, не требующие никакой информации о сегментируемых изображениях (в том числе [7, 22,

23). В частности, в работе [7] текстура характеризуется функцией плотности вероятности, определяющей статистические вариации свойств текстеля.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Алгоритм, представленный в данной работе, предназначен для анализа изображения, о котором отсутствует какая-либо предварительная информация. В идеале требуется выделить из фона все объекты, присутствующие на таком неизвестном изображении, распознать их, определить их взаиморасположение и составить описание сцены. Ясно, что решение столь сложной задачи должно состоять из нескольких этапов. В качестве первого этапа предлагается выделить на изображении все однородные текстурные сегменты. После выделения однородных сегментов, оставшиеся области будут содержать границы между областями и участки неоднородной текстуры. В результате такой сегментации изображения, очевидно, значительно облегчается задача его последующего анализа.

Для разделения изображения на однородные текстурные области создана компьютерная модель, работа которой была экспериментально проверена на естественных изображениях ландшафтного типа. Однако эта модель весьма сложна и алгоритмы ее функционирования требуют для своего объяснения многостраничного описания. Поэтому в данной статье рассматривается только ее часть, а именно алгоритм последовательного определения наиболее характерных текстурных признаков для каждой из однородных текстурных областей, имеющих на изображении.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Таким образом, цель данной работы состоит в разработке алгоритма, позволяющего определять набор текстурных признаков, характеризующих наибольший однородный текстурный сегмент, имеющийся на изображении. В дальнейшем выявленный набор признаков используется для очерчивания границ соответствующего текстурного сегмента.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕКСТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ В ДВОИЧНОМ ФОРМАТЕ

Для того чтобы оценить текстурные характеристики различных участков изображения, используется набор пересекающихся друг с другом текстурных окон, покрывающих всю исходную двумерную матрицу яркостей. Каждое текстурное окно представляет собой квадрат, включающий определенное количество пикселей. Пусть требуется сегментировать изображения одного и того же размера. В таком случае для всех входных изображений набор текстурных окон имеет постоянную конфигурацию с неизменными координатами. Обозначим через F количество текстурных окон, используемых для обработки изображения, и пронумеруем их. В данной работе все процедуры, выполняемые над исходной матрицей яркостей, соотносятся только с текстурными окнами. Поэтому для локализации всех рассматриваемых участков изображения вместо исходной яркостной

матрицы вводится (в качестве новой координатной системы) растр текстурных окон, для краткости T -растр. T -растр содержит $F = I \cdot J$ пикселей, координаты которых задаются индексами i и j ($i = 1, 2, 3, \dots, I; j = 1, 2, 3, \dots, J$). Текстурное окно с порядковым номером f представляется в T -растре пикселем с координатами i и j : $i = f \% I, j = f / I$.

Текстурные характеристики (признаки) вычисляются посредством выполнения некоторого набора операций над яркостями всех пикселей текстурного окна. В литературе встречаются описания множества различных текстурных признаков. В данной работе набор текстурных признаков, используемый для работы алгоритма сегментации, не конкретизируется, обозначим только общее количество типов используемых признаков буквой H . Таким образом, из каждого текстурного окна выделяется H текстурных признаков, причем каждый выделенный признак является некоторой аналоговой величиной. Для представления всех выделенных текстурных признаков в единообразном виде они нормируются. Совокупность значений всех H текстурных признаков, выделенных из текстурного окна, описывает текстуру соответствующего локального участка изображения и служит для оценки сходства и различия между элементами изображения.

Все значения H текстурных признаков, выделенных из текстурного окна, представляются в двоичном формате. Для представления одного признака используется двоичный вектор, содержащий S нумерованных элементов. В этом векторе нормированное аналоговое значение D рассматриваемого признака кодируется присваиванием единицы элементу вектора с порядковым номером s , $s = D / S$, в то время как все остальные элементы вектора имеют нулевые значения. Таким образом, если значение D данного признака близко к нулю, то единичный элемент располагается в начале двоичного вектора, а с увеличением D единичный элемент перемещается в конец вектора. Такой метод кодирования известен в литературе под названием «поплавкового кодирования» [9–13, 24].

Для единообразного представления в двоичном формате всех H признаков текстурного окна используется комплекс из H одинаковых двоичных векторов. В каждом векторе такого комплекса текстурный признак представляется единичным значением соответствующего элемента, согласно методу поплавкового кодирования. Таким образом, в каждом комплексе из H двоичных векторов содержится двоичное признаковое описание текстуры локального участка изображения, соответствующего данному текстурному окну.

Для представления всех признаков, выделенных из всех F текстурных окон, используемых для обработки изображения, вводится двоичная четырехмерная матрица \mathbf{W}_{ijhs} : ее индексы (i, j) определяют координаты текстурного окна в T -растре, индекс h ($h = 1, 2, 3, \dots, H$) задает номер (тип) текстурного признака (и номер двоичного вектора в соответствующем комплексе), а индекс s ($s = 1, 2, 3, \dots, S$) указывает номер единичного элемента h -го двоичного вектора данного комплекса. Таким образом, исходная матрица яркостей преобразуется в двоичную четырехмерную матрицу \mathbf{W}_{ijhs} , в которой в двоичном формате представлено признаковое

описание всего изображения, т.е. все значения признаков, выделенные из исходного изображения с помощью F текстурных окон.

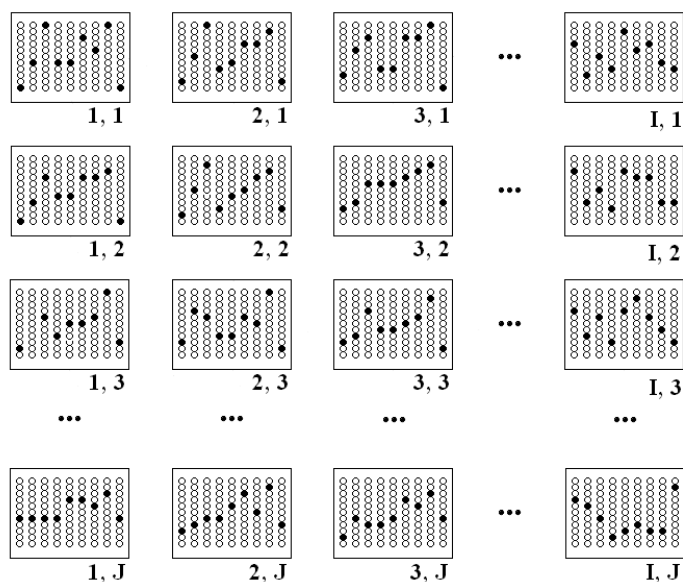


Рис. 1. Схематическое изображение F комплексов двоичных векторов.

Каждый прямоугольник изображает один комплекс из H двоичных векторов (на рисунке из девяти векторов), представляющий все H значений текстурных признаков, выделенных из соответствующего текстурного окна. Единичные компоненты двоичных векторов отмечены черными кружками, в отличие от их нулевых компонентов. Номера, расположенные ниже прямоугольников, указывают координаты текстурных окон в T -растре

Рис. 1 иллюстрирует это описание. На нем схематически изображены F комплексов двоичных векторов, каждый из которых представляет признаковое описание соответствующего текстурного окна.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАТТЕРНА ЗНАЧЕНИЙ ТЕКСТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ, ИМЕЮЩЕГО НАИБОЛЬШЕЕ КОЛИЧЕСТВО ПОХОЖИХ ПАТТЕРНОВ

Процесс сегментации изображения на однородные и односвязные текстурные области является итерационным: текстурные сегменты выделяются один за другим, по одному в каждой итерации. После выделения сегмент исключается из последующего анализа. Рассмотрим n -ю итерацию, т.е. процесс выделения n -го сегмента. Для представления области, обрабатываемой в n -й итерации, вводится двоичная двумерная матрица $U_{ij}(n)$, каждый (i, j) -й элемент которой соответствует (i, j) -му пикселю T -растра. Область изображения, подлежащая обработке в n -й итерации, задается единичными элементами двоичной матрицы $U_{ij}(n)$. Естественно, в начале процесса сегментации всем элементам матрицы U_{ij} присваиваются единичные значения.

Процесс выделения каждого текстурного сегмента начинается со следующей процедуры. Среди всех паттернов текстурных признаков, выделенных из анализируемой области изображения $U_{ij}(n)$, вычисляется

такой паттерн, который имеет максимальное количество похожих на него паттернов. Эта процедура выполняется в двумерном двоичном пространстве, которое соответствует комплексу из H двоичных векторов, служащих для представления значений всех текстурных признаков одного текстурного окна. Таким образом, это пространство состоит из $H \cdot S$ двоичных элементов.

Введем целочисленную двумерную матрицу $\mathbf{P}_{ij}(n)$, каждый (i, j) -ый элемент которой служит для подсчета количества паттернов значений текстурных признаков, похожих на (i, j) -ый паттерн, среди всех паттернов, выделенных из текстурных окон, представленных единичными элементами матрицы $\mathbf{U}_{ij}(n)$. В начале каждой итерации все элементы матрицы \mathbf{P} обнуляются. С функциональной точки зрения, каждый элемент матрицы \mathbf{P} является счетчиком, служащим для подсчета соответствующего количества похожих паттернов.

Для формального описания данной процедуры вводится дополнительная, целочисленная, трехмерная матрица \mathbf{G}_{ijh} . Матрица \mathbf{G}_{ijh} создается посредством преобразования четырехмерной двоичной матрицы \mathbf{W}_{ijhs} в формат целых чисел следующим образом. Каждому (i, j, h) -му элементу матрицы \mathbf{G}_{ijh} присваивается номер s -го единичного элемента h -го двоичного вектора, входящего в состав (i, j) -го комплекса двоичных векторов. Напомним, что каждый двоичный вектор (i, j) -го комплекса содержит только один единичный элемент, представленный соответствующей единицей в матрице \mathbf{W}_{ijhs} .

Матрица $\mathbf{P}_{ij}(n)$ формируется из матрицы \mathbf{G}_{ijh} посредством последовательного перебора всех возможных пар комплексов двоичных векторов, соответствующих единичным элементам матрицы $\mathbf{U}_{ij}(n)$. Рассмотрим этот процесс на примере формирования (i, j) -го элемента матрицы $\mathbf{P}_{ij}(n)$. В процессе такого последовательного перебора, каждый комплекс двоичных векторов (состоящий из H векторов) сравнивается с (i, j) -м комплексом. Эта процедура заключается в сравнении всех соответствующих (т.е. имеющих одинаковый индекс h) двоичных векторов этих двух комплексов. Для каждой пары сравниваемых векторов вычисляется абсолютная разность между номерами их единичных элементов. Вычисленная разность соотносится с заданным целочисленным порогом L : $0 \leq L < Sk$, где $k < 0,25$. Если величины разностей всех H сравниваемых пар двоичных векторов лежат внутри интервала L , то значение (i, j) -го элемента (счетчика) матрицы $\mathbf{P}_{ij}(n)$ увеличивается на единицу. Таким образом, процедура формирования матрицы $\mathbf{P}_{ij}(n)$ описывается следующей формулой:

$$\mathbf{P}_{ij}(n) = \mathbf{U}_{ij}(n) \sum_{x=1}^I \sum_{y=1}^J \mathbf{U}_{xy}(n) \mathbf{1} \left(\left(\sum_{h=1}^H \mathbf{1}(L - |\mathbf{G}_{ijh} - \mathbf{G}_{xyh}|) \right) - H + 1 \right), \quad (1)$$

где i и $x = 1, 2, 3, \dots, I$; j и $y = 1, 2, 3, \dots, J$; $h = 1, 2, 3, \dots, H$; $\mathbf{1}(z)$ – единичная ступенчатая функция (функция Хэвисайда), которая определяется формулой

$$\mathbf{1}(z) = \begin{cases} 1, & \text{при } z > 0, \\ 0, & \text{при } z \leq 0. \end{cases}$$

Очевидно, интервал L является границей сходства (i, j) -го комплекса

двоичных векторов со всеми остальными рассматриваемыми комплексами, он определяет, какие комплексы считаются похожими (близкими), а какие нет. Другими словами, интервал L задает меру сходства между паттернами значений текстурных признаков, выделенных из разных текстурных окон.

Затем в сформированной матрице $\mathbf{P}_{ij}(n)$ вычисляется элемент, имеющий максимальное значение, и тем самым определяется соответствующее текстурное окно, т.е. координаты пикселя T -растра; обозначим эти координаты (i^{\max}, j^{\max}) .

Таким образом, паттерн значений текстурных признаков, выделенный из (i^{\max}, j^{\max}) -го текстурного окна, имеет наибольшее количество похожих паттернов среди паттернов, выделенных из рассматриваемой области $\mathbf{U}_{ij}(n)$. Логично предположить, что этот паттерн является характерным (типичным) для наибольшего по площади и примерно однородного текстурного сегмента, содержащегося в анализируемой области $\mathbf{U}_{ij}(n)$ (вместе с неизвестным количеством других текстурных сегментов). Поэтому выявленный паттерн значений текстурных признаков рассматривается в качестве признакового описания такого сегмента.

Следующее предположение касается расположения (i^{\max}, j^{\max}) -го текстурного окна относительно границ наибольшего сегмента. Представляется маловероятным, что максимальный элемент матрицы $\mathbf{P}_{ij}(n)$ может лежать на границе такого сегмента. Более вероятно, что координаты (i^{\max}, j^{\max}) принадлежат текстурному окну, расположенному ближе к центру сегмента. Из этого предположения следует, что признаковое описание наибольшего текстурного сегмента может быть расширено за счет паттернов значений признаков, выделенных из текстурных окон, непосредственно окружающих (i^{\max}, j^{\max}) -ое окно. Скомпонованная таким образом совокупность значений признаков, более полно описывающая характерные особенности искомого сегмента, служит в качестве образца (шаблона) в процессе последующей процедуры выделения этого сегмента, в частности для оценки сходства между найденной сердцевинной искомого сегмента $((i^{\max}, j^{\max})$ -ое текстурное окно) и всех других участков изображения.

На основе использования совокупности значений признаков, характеризующих искомый текстурный сегмент, могут быть предложены различные алгоритмы выделения этого сегмента. В данной работе они не рассматриваются. Очевидно, что результаты работы таких алгоритмов в определяющей степени зависят от того, насколько адекватно найденная совокупность значений признаков характеризует этот сегмент. Стоит отметить, что выбор некорректной совокупности значений признаков приводит не только к неточности выделения n -го текстурного сегмента, но также, с большой вероятностью, к ошибочному выделению всех последующих сегментов.

Введем двоичную матрицу $\mathbf{R}_{ij}(n)$ для представления n -го текстурного сегмента: выделенный сегмент представляется единичными элементами этой матрицы. Финальная операция n -той итерации, смысл которой заключается в исключении найденного сегмента из дальнейшей обработки, описывается следующей формулой:

$$U_{ij}(n+1) = U_{ij}(n) \oplus R_{ij}(n), \quad (2)$$

где \oplus — это операция «исключающего ИЛИ» (XOR); $i = 1, 2, 3, \dots, I; j = 1, 2, 3, \dots, J$.

В начале $(n + 1)$ -ой итерации формируется новая матрица $P_{ij}(n + 1)$ по уменьшенной области $U_{ij}(n + 1)$, в которой производится определение нового паттерна значений текстурных признаков, имеющего наибольшее количество похожих паттернов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В данной работе предложен алгоритм определения паттерна значений текстурных признаков, имеющего наибольшее количество похожих паттернов среди выделенных из анализируемого изображения. В результате работы этого алгоритма определяется набор значений признаков, характеризующий максимальный по размеру, однородный текстурный сегмент, содержащийся в изображении. На основе использования найденного набора значений признаков в качестве образца (шаблона) могут быть предложены различные алгоритмы очерчивания границ данного сегмента. В частности, разработан алгоритм, в процессе функционирования которого область, занимаемая искомым текстурным сегментом, последовательно расширяется вокруг пикселя соответствующего паттерну значений текстурных признаков, имеющему наибольшее количество похожих паттернов, т.е. пикселя с координатами (i^{\max}, j^{\max}) . Оба упомянутых алгоритма: алгоритм определения характерных значений признаков текстурного сегмента и алгоритм очерчивания границ этого сегмента — составляют, в совокупности, модель текстурной сегментации изображения. Эта модель решает задачу последовательного выделения всех однородных текстурных областей на изображении, о котором отсутствует какая-либо предварительная информация.

В отличие от большинства работ, посвященных текстурной сегментации, разработанная модель не требует задания количества сегментов, на которые следует разделить изображение. Это количество выявляется в процессе работы модели и зависит как от параметров самого изображения, так и от параметров модели. Алгоритм определения паттерна значений текстурных признаков, имеющего наибольшее количество похожих паттернов, позволяет решить задачу определения совокупности значений признаков, характеризующих текстурный сегмент, и поэтому является важнейшей составной частью модели сегментации. Именно благодаря этому алгоритму модель сегментации может обходиться без задания количества сегментов, на которые следует разделить изображение.

Рис. 2 (см. вкладку) демонстрирует результаты работы модели текстурной сегментации на примере обработки черно-белого изображения (верхняя часть рисунка). В нижней половине рисунка разными цветами показаны девять самых больших текстурных сегментов, выделенных моделью. Черным цветом отмечены участки изображения, содержащие

маленькие текстурные области и границы между текстурными сегментами.

Выводы

Хорошо известно, что не существует общепринятого формального определения понятия «текстура». Таким образом, проблема текстурной сегментации относится к категории нечетких задач и все методы и алгоритмы, предлагаемые для ее решения, являются эвристическими. Соответственно алгоритм, предложенный в статье, также, является эвристическим.

Как упоминалось выше, описанный алгоритм является важнейшей частью модели, решающей задачу автоматической сегментации зрительного изображения на однородные текстурные области в условиях отсутствия какой-либо информации об изображении. Модель была реализована в виде компьютерной программы и проверена в экспериментах по обработке естественных изображений. Результаты, полученные в экспериментах, демонстрируют эффективность модели, что дает основания для вывода, что модель с экспериментально настроенными параметрами способна выполнять корректную (с человеческой точки зрения) текстурную сегментацию широкого спектра изображений. Необходимо подчеркнуть, что параметры модели не настраиваются для каждого отдельного изображения, а фиксируются после однократной настройки и сегментация любых предъявленных для обработки изображений производится моделью с одним и тем же набором параметров.

1. Амосов Н.М. Моделирование мышления и психики / Н.М. Амосов. — К. : Наукова думка, 1965. — 304 с.
Amosov N.M. *Modelling of thinking and the mind*. New York: Spartan Books, 1967.
2. Амосов Н.М. Алгоритмы разума / Н.М. Амосов. — К. : Наукова думка, 1979. — 223 с.
Amosov N.M. *Algorithms of the Mind*. Kiev: Naukova Dumka, 1979. 223 p.
3. Амосов Н.М. Функциональная организация информационных процессов мозга и их связь со структурами нейронных сетей / Н.М. Амосов, А.Д. Гольцев, Э.М. Куссуль // Кибернетика. — 1988. — № 5. — С. 113–119.
Amosov N.M., Goltsev A.D., Kussul E.M. Functional organization of the brain informational processes and their relationship with the structures of neural networks. *Cybernetics*, 1988, no. 5, pp. 113–119.
4. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы / Н.М. Амосов, Т.Н. Байдык, А.Д. Гольцев и др. — К. : Наукова думка, 1991. — 269 с.
Amosov N.M., Baidyk T.N., Goltsev A.D., Kasatkin A.M., Kussul E.M., Rachovskij D.A. *Neurocomputers and intelligent robots*. Kiev: Naukova dumka, 1991. 269 p.
5. Julesz B. Textons, the elements of texture perception and their interactions. *Nature*, 1981, vol. 290, pp. 91–97.
6. Zhu S.-C., Guo C.-E., Wang Y., Xu Z. What are textons? *Int. Journal of Computer Vision*, 2005, vol. 62(1–2), pp. 121–143.
7. Todorovic S., Ahuja N. Texel-based texture segmentation. *12th IEEE Int. Conf. on Computer Vision (ICCV)*. Kyoto, 2009, pp. 841–848.
8. Kussul E.M., Rachkovskij D.A., Baidyk T.N. On image texture recognition by associative-projective neurocomputer. *ANNIE'91 Conf., Intelligent Engineering Systems through Artificial Neural Networks*. St. Louis, 1991, pp. 453–458.
9. Kussul E.M., Baidyk T.N., Lukovitch V.V., Rachkovskij D.A. Adaptive neural network classifier with multfloat input coding. *6th Int. Conf. "Neuro-Nimes 93"*. Nimes, 1993,

- pp. 209–216.
10. Kussul E.M, Baidyk T.N., Wunsch D.C. *Neural Networks and Micro Mechanics*. New York: Springer, 2010. 210 p.
 11. Goltsev A. An assembly neural network for texture segmentation. *Neural Networks*, 1996, vol. 9(4), pp. 643–653.
 12. Goltsev A., Wunsch D.C. Inhibitory connections in the assembly neural network for texture segmentation. *Neural Networks*, 1998, vol. 11(5), pp. 951–962.
 13. Гольцев А.Д. Нейронные сети с ансамблевой организацией / А.Д. Гольцев. — К. : Наукова думка, 2005. — 200 с.
Goltsev A.D. *Neural networks with assembly organization*. Kiev: Naukova Dumka, 2005. 200 p.
 14. Gimel'farb G. Supervised texture segmentation by maximising conditional likelihood. *Lecture Notes in Computer Science*, 2001, vol. 2134, pp. 169–184.
 15. Melendez J., Puig D., Garcia M.A. Multi-level pixel-based texture classification through efficient prototype selection via normalized cut. *Pattern Recognition*, 2010, vol. 43(12), pp. 4113–4123.
 16. Al-Kadi O.S. Supervised texture segmentation: A comparative study. *IEEE Jordan Conf. on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies*. Amman, 2011, pp. 1–5.
 17. Freixenet J., Munoz X., Raba D., Marti J., Cuff X. Yet another survey on image segmentation. *7th European Conf. on Computer Vision (ECCV)*. Copenhagen, 2002, pp. 408–422.
 18. Rousson M., Brox T., Deriche R. Active unsupervised texture segmentation on a diffusion based feature space. *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'03): June 16 – June 22 2003*. Madison, 2003, vol. 2, pp. 699–704.
 19. Clausi D.A., Deng H. Design-based texture feature fusion using Gabor filters and co-occurrence probabilities. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2005, vol. 14(7), pp. 925–936.
 20. Wei H, Bartels M. Unsupervised segmentation using Gabor wavelets and statistical features in LIDAR data analysis. *18th Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR'06): August 20 – August 24 2006*, Hong Kong, 2006. vol. 1, pp. 667–670.
 21. Yang A.Y., Wright J., Ma Y., Shakar S. Sastry Unsupervised segmentation of natural images via lossy data compression. *Computer Vision and Image Understanding*, 2008, vol. 110(2), pp. 212–225.
 22. Fauzi M.F.A., Lewis P.H. A fully unsupervised texture segmentation algorithm. *British Machine Vision Conf. Norwich*, 2003, pp. 519–528.
 23. Md. Mahbubur Rahman. Unsupervised natural image segmentation using mean histogram features. *Journal of Multimedia*, 2012, vol. 7(5), pp. 332–340.
 24. Penz P.A. The closeness code: an input integer to binary vector transformation suitable for neural network algorithms. *IEEE First Int. Conf. on Neural Networks*. San Diego, 1987, pp. 515–522.

Получено 06.07.2013

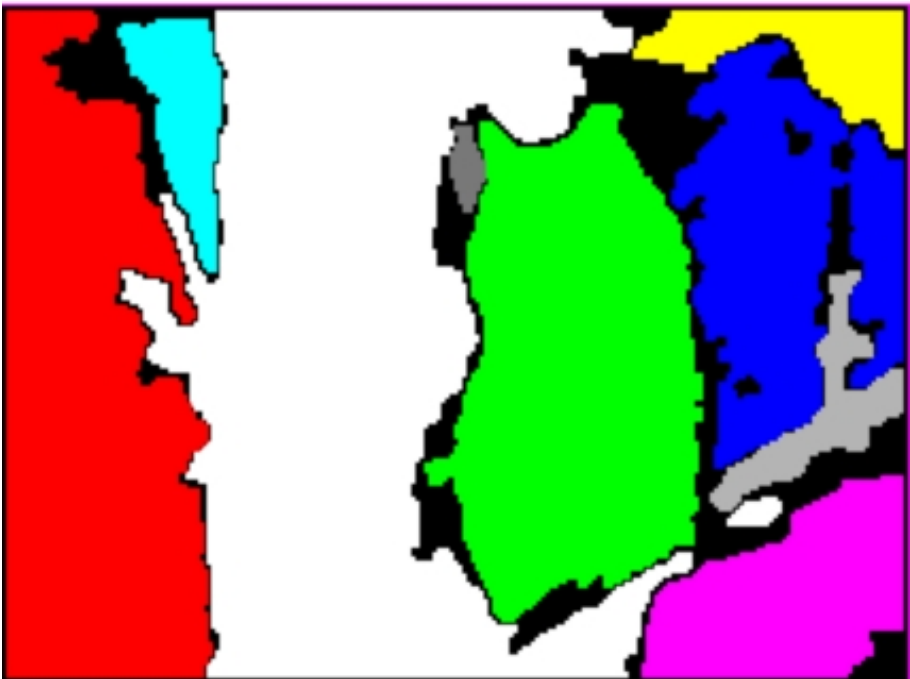


Рис. 2. Результаты работы модели текстурной сегментации на примере обработки черно-белого изображения (верхняя часть рисунка). В нижней половине рисунка разными цветами показаны девять самых больших текстурных сегментов, выделенных моделью