

В работе предложен алгоритм выделения сегментов заданных текстур на изображении, основанный на вейвлетном методе описания текстур.

Основной проблемой для решения задачи сегментации является проблема определения характеристик текстуры, которые можно было бы эффективно использовать. В данной работе текстуры определяются уровнями энергии на различных частотных диапазонах, исходя из вейвлетного преобразования строк и столбцов изображения текстуры. Предложенный алгоритм является многокритериальным, причем многокритериальность строится по единственному одноканальному изображению.

**Постановка задачи**

Требуется построить алгоритм, на вход которого подается растровое полутоновое изображение и набор текстур  $T_1, \dots, T_Q$ , заданных также растровыми полутоновыми изображениями, а на выходе алгоритм должен выделить на исходном изображении сегменты текстур, присутствующих в наборе, если таковые есть на изображении.

**Общая схема решения**

Алгоритм состоит из двух основных частей: предобработки текстур (с целью сбора компактной информации о них) и выделения их на изображении.

Будем задавать текстуру усредненным вектором значений ее энергии в различных частотных диапазонах. Для этого к текстуре применяется вейвлетное преобразование, которое позволяет определить уровень данной энергии для окрестности каждого пикселя текстуры.

Далее строится вейвлетное преобразование всего изображения, и вычисляются характеристические векторы для всех его пикселей. При сопоставлении этих векторов и информации о текстурах, каждый пиксель изображения относится к сегменту той или иной текстуры.

**Предобработка текстур**

В вейвлетном преобразовании строк и столбцов изображения текстур используется вейвлета Морле  $g_m(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2}$ , так как разложение Морле хорошо выделяет спектральные составляющие сигнала. Само вейвлетное преобразование сигнала  $x(t)$  относительно вейвлеты  $g(t)$  определяется формулой [3,4]:

$$h(k, t) = \frac{1}{\sqrt{k}} \int_{-\infty}^{\infty} x(s) g^* \left[ \frac{s-t}{k} \right] ds.$$

Мгновенным вейвлетным спектром мощности называется функция  $\omega(k, t) = |h(k, t) / k|^2$ , которая характеризует мощность компоненты масштаба  $k$  в момент времени  $t$ . На практике величины  $k$  и  $t$  дискретны и изменяются в конечных пределах. Будем считать, что количество масштабных срезов  $k$  в вейвлетном преобразовании равно  $j_{\max} + 1$ , а ширина и высота изображений текстур равна  $N$ . Тогда функцию  $\omega(k, t)$  можно обозначить как  $\omega_l^j$ , учитывая, что  $\omega_l^j = \omega(k(j), t(l))$ . Индексы  $l$  и  $j$  меняются в пределах:  $0 \leq l \leq N - 1$  и  $0 \leq j \leq j_{\max}$ .

Характеристические векторы  $v_{il}$  длины  $2K$  для каждого пикселя некоторой текстуры  $T$  формируются следующим образом. Первые  $K$  компонент получаются при обработке строк текстуры, последние  $K$  — при обработке столбцов. Всего формируется  $N^2$  характеристических векторов, где  $N$  — ширина и высота изображения текстуры  $T$ . Первые  $K$  компонент характеристического вектора  $v_{il}$  формируются так (аналогично последние  $K$  компонент):

1) вычисление вейвлетного спектра мощности Морле:

$$t_i \rightarrow \omega_l^j, \quad 0 \leq l \leq N - 1, \quad 0 \leq j \leq j_{\max}, \quad \text{где } t_i \text{ — } i\text{-я строка текстуры } T;$$

2) формирование компонент характеристического вектора:

$$v_{il}^k = \sum_{j=kj_{\max}/K}^{(k+1)j_{\max}/K} \omega_l^j, \quad 0 \leq k \leq K - 1, \quad K < j_{\max} + 1,$$

где  $v_{il}^k$  —  $k$ -я компонента характеристического вектора  $v_{il}$ .

В итоге получаем суммарное значение энергии, заключенной в  $k$ -ом частотном диапазоне, в окрестности рассматриваемого пикселя текстуры.

Далее вычисляются среднее значение и дисперсия по каждой из компонент векторов:

$$M^k = M(v^k) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} v_{il}^k, \quad (\sigma^k)^2 = \sigma^2(v^k) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} (v_{il}^k - M^k)^2, \quad 0 \leq k \leq 2K - 1.$$

Таким образом, получаем набор из  $4K$  величин, характеризующих текстуру.

#### Выделение сегментов

Первые два шага этапа распознавания в точности повторяют первый и второй шаги предобработки отдельной текстуры. В результате получается набор характеристических векторов длины  $2K$ , построенных для каждого пикселя изображения.

Затем векторы пропускаются через систему разделительных функций, которая представляет собой иерархическую структуру. Самые примитивные элементы этой структуры — индикаторы попадания  $k$ -ой компоненты некоторого характеристического вектора  $v$  в заданные интервалы, построенные по значениям  $M_q^k$  и  $\sigma_q^k$  для каждой текстуры  $T_q$ :

$$d_q^k(v) = \begin{cases} 1, & \text{если } M_q^k - R\sigma_q^k < v^k < M_q^k + R\sigma_q^k, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Далее вычисляется количество сработавших индикаторов:  $D_q(v) = \sum_{k=1}^{2K} d_q^k(v)$ .

На последнем уровне происходит выбор, к какой текстуре отнести пиксель, соответствующий характеристическому вектору  $v$ :

$$q^* = \begin{cases} q_{\max}, & \text{если } D_{q_{\max}}(v) = \max_{1 \leq q \leq Q} D_q(v) > S, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Значение  $D_q(v)$  есть уровень принадлежности рассматриваемой точки изображения текстуре  $T_q$  и может меняться в пределах от 0 до  $2K$ . Рассматриваемая точка соответствует больше всего текстуре  $T_{q_{\max}}$ . Если уровень принадлежности  $D_{q_{\max}}(v)$  мал, то считаем, что текстура в данной точке не распознана:  $q^* = 0$ . Порог  $S$  можно выбрать, например, равным  $K$ .

Сегменты каждой распознанной текстуры удобно «рисовать» на отдельном изображении тех же размеров, что и входное. Условимся, что точки, соответствующие какой-то конкретной текстуре, будут отмечаться белым цветом на черном фоне. В результате у нас получится  $Q$  выходных бинарных изображений, в каждом из которых будут содержаться сегменты соответствующих текстур.

#### Улучшение сегментов

В полученных сегментах будут присутствовать дефекты: ошибочная сегментация и, наоборот, пропуски в сегментации.

Каждое из  $Q$  выходных изображений представляет собой бинарное изображение, на котором пиксели сегментов помечены белым цветом. Причем, области, соответствующие реальным сегментам на входном изображении, будут отмечены более «плотным» скоплением белых точек. Следовательно, для улучшения качества сегментации можно применить методы, предназначенные для выделения стохастических текстур и дающие в результате сплошную заливку сегментов [1].

#### Оценка трудоемкости сегментации изображения

Для предложенного алгоритма сегментации подсчитана трудоемкость:

$$T = O(j_{\max} N^2 \log_2 N),$$

где  $N$  — ширина и высота изображения, а  $j_{\max}$  — количество масштабных срезов в вейвлетном преобразовании.

#### Некоторые возможные пути снижения трудоемкости

Поскольку вейвлетное преобразование производится отдельно по каждой строке и каждому столбцу, то очевидна возможность распараллеливания этого процесса и выполнения его на нескольких машинах.

Кроме того, можно отсеять малоинформативные для распознавания компоненты в характеристическом векторе и вычислять вейвлетный спектр мощности только для оставшихся компонент.

Для этого можно применить различные статистические методы, описанные, например, в [2]. При этом, кроме выигрыша в скорости, может повыситься и качество распознавания.

#### Экспериментальные данные

Предложенный алгоритм был запрограммирован, и были проведены эксперименты по распознаванию сегментов различных изображений. Идея описания текстур их мощностью на различных частотных интервалах оказалась достаточно состоятельной, в том числе, и для естественных текстур природных объектов, таких, как лес и поле. На рисунках 1 и 2 приведен пример распознавания текстур на изображении участка земной поверхности.

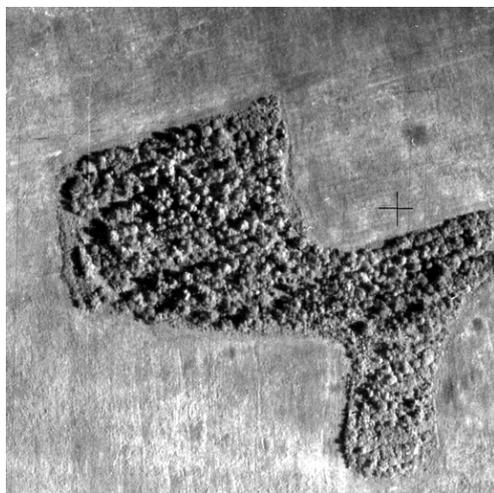


Рис. 1. Изображение

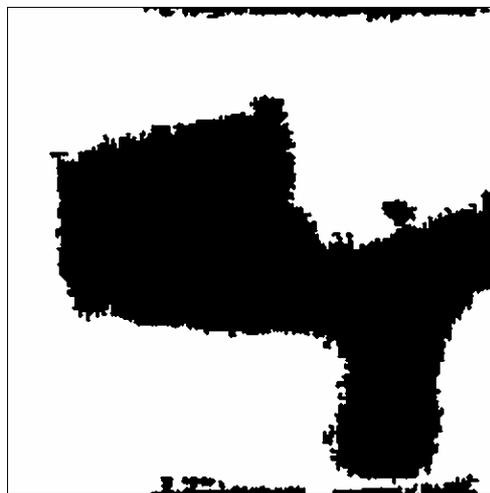


Рис. 2. Сегментация

#### Литература

- [1] Горьян И.С., Кац Б.М., Цуккерман И.И. Выделение статистически однородных участков изображений // Цифровая голография. Обработка изображений. — Иконика. — М.: «Наука», 1975.
- [2] Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. — М.: «Мир», 1978.
- [3] Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // УФН, № 11, т. 166, 1996.
- [4] Мячин М.Л. Быстрый алгоритм вычисления обратного интегрального вейвлетного преобразования // Математические методы в геоинформационных технологиях. — Сб. науч. тр. — Ярославль: ЯрГУ, 2000.

