

УДК 004.93'1:514.142



ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАВСА ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Е.В. Яковлева¹, И.А. Панченко²¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, yakovleva@kture.kharkov.ua² ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, irina_panchenko@mail.ru

Проведен анализ энергетических характеристик Лавса. Исследована возможность применения данных характеристик для решения задачи сегментации текстурных изображений. Разработаны, программно реализованы и исследованы алгоритмы сегментации текстурных изображений на базе использования характеристик Лавса. На основе анализа экспериментов сделаны выводы о целесообразности использования данных характеристик для сегментации изображений.

СЕГМЕНТАЦИЯ, ТЕКСТУРА, ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАВСА, МАСКИ

Введение

Сегментация обычно понимается как процесс поиска интересующих объектов на изображении. Она является базовой процедурой практически во всех задачах обработки изображений с помощью систем компьютерного зрения. Для сегментации изображений различных типов применяются разные методы, например, корреляционные, пороговые методы, методы анализа цвета, текстурные методы [1, 2, 3].

Текстура является характерным признаком, применяемым для сегментации изображений на области интереса и для классификации этих областей. Текстура описывает пространственное распределение цветов или значений интенсивности на изображении.

На рис. 1 приведены примеры различных текстур, природных и синтезированных искусственно.



Рис. 1. Примеры текстур

Методы описания текстурных изображений делятся условно на две категории: статистические (например, вычисление матриц совпадений, энергетических характеристик Лавса [4]) и структурные (например, построение мозаики Вороного) [2].

Анализ современного состояния вопроса сегментации текстурных изображений позволяет сделать вывод, что, несмотря на существующие успехи в его решении, на сегодняшнее время он решен лишь для частных задач при определенных ограничениях на тип изображений, наличие геометрических и яркостных искажений и т. д., и необходимо проводить дальнейшие исследования в области разработки методов сегментации текстурных изображений на базе статистического и структурного описания текстур [2, 6].

Целью исследований данной работы является вопрос сегментации изображений методом энергетических характеристик Лавса и целесообразность его применения для изображений с ярко выраженной текстурой.

1. Получение энергетических характеристик Лавса

Данный метод предполагает обнаружение различных типов текстур с помощью локальных масок. Лавс (Laws) предложил энергетический подход [4], в котором оценивается изменение содержания текстуры в пределах окна фиксированного размера. Для вычисления энергетических характеристик используется набор из девяти масок размерами 5 × 5. Затем энергетические характеристики каждого пикселя анализируемого изображения представляются в виде вектора из 9 чисел. Для вычисления масок используются следующие векторы:

$$\begin{aligned} L &= [1, 4, 6, 4, 1], \\ B &= [-1, -2, 0, 2, 1], \\ S &= [-1, 0, 2, 0, -1], \\ R &= [1, -4, 6, -4, 1]. \end{aligned} \quad (1)$$

Названия векторов описывают их назначение. Вектор L (level) предназначен для вычисления симметричного взвешенного локального среднего значения. Вектор B (border) предназначен для обнаружения границ, S (spots) — для обнаружения пятен, R (ripples) — для обнаружения образа в виде ряби. Двумерные маски вычисляются умножением пар векторов [5].

На первом шаге получения характеристик Лавса устраняется влияние интенсивности освещения. Для этого по изображению перемещается небольшое окно и из значения каждого пикселя вычитается локальное среднее значение. В результате данной предварительной обработки формируется изображение, на котором средняя интенсивность каждой пиксельной окрестности близка к нулевому значению. Размер окна зависит от типа изображе-

ний. Для естественных сцен было выбрано окно размерами 15×15 .

После предварительной обработки к полученному изображению применяется каждая из шестнадцати масок 5×5 . В результате формируются шестнадцать профильтрованных изображений. Обозначим через $F_k[i, j]$ результат фильтрации пикселя $[i, j]$ с использованием k -й маски. Тогда энергетическая текстурная карта E_k для фильтра k определяется выражением:

$$E_k(r, c) = \sum_{j=c-7}^{c+7} \sum_{i=r-7}^{r+7} |F_k(i, j)|. \quad (2)$$

Таким образом, формируются 16 текстурных карт.

$$\begin{aligned} E_1 &= E^{LL}; E_2 = E^{LB}; E_3 = E^{LS}; E_4 = E^{LR}; \\ E_5 &= E^{BL}; E_6 = E^{BB}; E_7 = E^{BS}; E_8 = E^{BR}; \\ E_9 &= E^{SL}; E_{10} = E^{SB}; E_{11} = E^{SS}; E_{12} = E^{SR}; \\ E_{13} &= E^{RL}; E_{14} = E^{RB}; E_{15} = E^{RS}; E_{16} = E^{RR}. \end{aligned} \quad (3)$$

После получения энергетических карт (3) некоторые симметричные пары комбинируются и в результате строятся девять окончательных карт. Каждая симметричная пара карт заменяется усредненной картой, которую обозначим добавочным индексом T . Ниже перечислены девять окончательных энергетических карт:

$$\begin{aligned} E_1 &= E^{LBT}; E_2 = E^{LST}; E_3 = E^{LRT}; E_4 = E^{BST}; \\ E_5 &= E^{BRT}; E_6 = E^{SRT}; E_7 = E^{BBT}; E_8 = E^{SST}; \\ E_9 &= E^{RRT}. \end{aligned} \quad (4)$$

В работе предлагается использовать полученные энергетические карты в качестве характерных признаков при сегментации текстурных изображений.

2. Применение энергетических карт для сегментации текстурных изображений

Математическая модель задачи сегментации изображений на основе характеристик Лавса имеет следующий вид:

$$D \rightarrow \{D_1, \dots, D_S\}, \quad (5)$$

где область $D = \bigcup_{r=1}^S D_r$;

$$\begin{aligned} D_r &= \{(i, j) | \rho(\bar{E}(x_r, y_r), \bar{E}(i, j)) < \delta\}, r = \overline{1, S}, \\ \rho(\bar{E}(x_r, y_r), \bar{E}(i, j)) &< \delta \end{aligned} \quad (6)$$

– критерий, определенный как мера сходства, которую можно вычислить по одной из известных формул [3]; δ – некоторое пороговое значение; $\bar{E}(x_r, y_r)$ – вектор $\bar{E}(x_r, y_r) = (E_1(x_r, y_r), \dots, E_9(x_r, y_r))$ энергетических карт (4) эталона класса r ; (x_r, y_r) – точка-эталон класса текстур r ; (i, j) – точка, при-

надлежность которой к классу текстур r определяется в данный момент; $(i, j), (x_r, y_r) \in D / D_{r-1}$.

На основе модели (5) были разработаны алгоритмы поточечной и фрагментарной сегментации изображений.

При поточечной сегментации для всего изображения строятся энергетические карты (4), в результате этого каждый пиксель $(i, j) \in D$ характеризуется вектором $\bar{E}(i, j)$ из 9 значений, которые используются в качестве признаков для сегментации изображения.

При принятии решения о принадлежности точки (i, j) одному классу текстур r использовался критерий (6), где мера сходства вычислялась по формуле

$$\rho_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^9 |E_k(i, j) - E_k(x_r, y_r)|}{9}, \quad (7)$$

где $E_k(i, j), E_k(x_r, y_r)$ – значения пикселей $(i, j), (x_r, y_r)$ на текущей и эталонной соответственно k -ой энергетической карте; $(i, j), (x_r, y_r) \in D / D_{r-1}$.

Аналогично проводится фрагментарная сегментация. Изображение разбивается на фрагменты размером 15×15 пикселей. Для всех фрагментов строятся векторы характеристик $\bar{E}(i_f, j_f)$, где i_f и j_f – порядковые номера фрагмента по вертикали и горизонтали соответственно. Векторы $\bar{E}(i_f, j_f)$ для фрагментов получаются путем усреднения значений энергетических характеристик для каждого пикселя этого фрагмента. Полученные векторы текстурных признаков фрагментов используются для вычисления меры сходства между ними. Тогда в формуле (7) координаты (i, j) и (x_r, y_r) являются координатами определяемого и эталонного фрагментов соответственно.

3. Результаты сегментации

На основе разработанного алгоритма сегментации создана программная система, которая позволила ознакомиться с экспериментально полученными результатами применения характеристик Лавса и провести их анализ.

В качестве тестового материала использовались полутоновые изображения с ярко выраженной текстурой размером 105×105 пикселей в формате bmp (рис. 1).

Результаты поточечной сегментации представлены в табл. 1.

4. Анализ применения характеристик Лавса

Целью проведения анализа применения характеристик Лавса для сегментации изображений являлось получение экспериментального подтверждения того, что энергетические карты Лавса существенно

подчеркивают характерные особенности текстурных изображений и могут быть использованы в решении различных задач по обработке изображений, в частности, сегментации. Как известно, корреляционный метод оценки схожести изображений обладает высокой точностью [8], поэтому было решено оценить схожесть изображений двумя методами: путем вычисления меры сходства между самими изображениями по формуле

$$\rho(i, j) = \frac{\sum_{i,j} B_1(i, j) \cdot B_2(i, j)}{\sqrt{\sum_{i,j} B_1^2(i, j)} \cdot \sqrt{\sum_{i,j} B_2^2(i, j)}}, (i, j) \in D, \quad (8)$$

где B_1, B_2 — сравниваемые изображения, и путем вычисления меры сходства энергетических карт этих изображений. Для этого в формуле (8) значения яркостей заменили энергетическими характеристиками Лавса

$$\rho(i, j) = \frac{\sum_{i,j} E_1(i, j) \cdot E_2(i, j)}{\sqrt{\sum_{i,j} E_1^2(i, j)} \cdot \sqrt{\sum_{i,j} E_2^2(i, j)}}, (i, j) \in D. \quad (9)$$

В качестве тестовых изображений были взяты текстурные изображения, показанные на рис. 2.

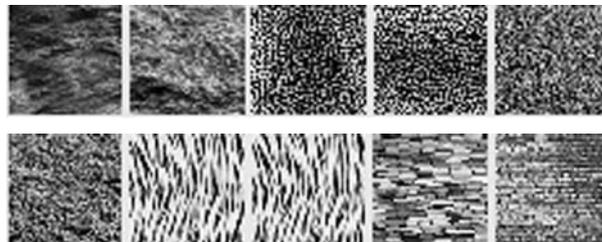


Рис. 2. Тестовые изображения

Результаты вычислений меры сходства (8) по изображениям представлены на рисунке 3. Была построена симметричная матрица 10 × 10, в которой на пересечении i -ой строки и j -го столбца стоит

Таблица 1

Исходное изображение	Промежуточный результат	Результат сегментации
 105 × 105 px	 Порог $\rho = 80$; сформировано 3 класса	 Выделение 2-го (■) и 3-го (■) классов
 105 × 105 px	 Порог $\rho = 80$; сформировано 4 класса	 Выделение 2-го (■) и 3-го (■) классов
 105 × 105 px	 Порог $\rho = 80$; сформировано 4 класса	 Выделение 2-го (■) класса
 105 × 105 px	 Порог $\rho = 70$; сформировано 3 класса	 Выделение 2-го (■) и 3-го (■) классов

значение коэффициента корреляции для i -го и j -го изображения. Только в 2-х из 10-ти экспериментов наиболее схожими оказались текстуры, содержащие визуально похожие изображения. Например в первой строке текстура воды по коэффициенту наиболее схожа с текстурой шкуры тигра ($\rho = 0,856$), а не с другой текстурой воды ($\rho = 0,847$).

1	1	0,847	0,784	0,777	0,843	0,843	0,856	0,856	0,843	0,855
2	0,847	1	0,781	0,781	0,847	0,848	0,849	0,849	0,844	0,848
3	0,784	0,781	1	0,710	0,769	0,765	0,779	0,779	0,765	0,773
4	0,777	0,781	0,710	1	0,769	0,769	0,782	0,782	0,763	0,773
5	0,843	0,847	0,769	0,769	1	0,829	0,837	0,837	0,826	0,837
6	0,843	0,848	0,765	0,769	0,829	1	0,839	0,839	0,828	0,837
7	0,856	0,849	0,779	0,782	0,837	0,839	1	1	0,839	0,851
8	0,856	0,849	0,779	0,782	0,837	0,839	1	1	0,839	0,851
9	0,843	0,844	0,765	0,763	0,826	0,828	0,839	0,839	1	0,843
10	0,855	0,848	0,773	0,773	0,837	0,837	0,851	0,851	0,843	1

Рис. 3. Коэффициенты корреляции, вычисленные по изображениям (рис. 2)

Результаты вычислений по энергетическим картам изображений (рис. 2) представлены на рис. 4 (построение матрицы аналогично предыдущей), где видно, что во всех из 10-ти экспериментов максимальный коэффициент (9) был найден между наиболее схожими визуально изображениями.

1	1	0,9875	0,9833	0,9598	0,9793	0,8751	0,9819	0,9819	0,9716	0,7736
2	0,9875	1	0,9843	0,9682	0,9811	0,9014	0,9824	0,9824	0,9855	0,7993
3	0,9833	0,9843	1	0,9853	0,9872	0,9124	0,9882	0,9882	0,9779	0,7858
4	0,9598	0,9682	0,9853	1	0,9911	0,9591	0,9908	0,9908	0,9733	0,8665
5	0,9793	0,9811	0,9872	0,9911	1	0,9938	0,9874	0,9874	0,9767	0,8523
6	0,8751	0,9014	0,9124	0,9591	0,9938	1	0,9400	0,9400	0,9164	0,9399
7	0,9819	0,9824	0,9882	0,9908	0,9874	0,9400	1	1	0,9815	0,8583
8	0,9819	0,9824	0,9882	0,9908	0,9874	0,9400	1	1	0,9815	0,8583
9	0,9716	0,9855	0,9779	0,9733	0,9767	0,9164	0,9815	0,9815	1	0,9915
10	0,7736	0,7993	0,7858	0,8665	0,8523	0,9399	0,8583	0,8583	0,9915	1

Рис. 4. Коэффициенты корреляции, вычисленные по энергетическим картам

Анализ результатов экспериментов (рис.3, 4) позволяет сделать вывод, что для визуально схожих текстурных изображений переход к энергетическим картам существенно увеличивает коэффициент корреляции, а, следовательно, подчеркивает текстурные особенности изображений и позволяет обнаружить схожесть текстур.

Метод сегментации на базе энергетических характеристик Лавса достаточно объемный, что сказывается на его быстродействии. Как говорилось выше, он состоит из следующих этапов: получения энергетических характеристик (устранение влияния интенсивности, обработка масками, подсчет энергетических карт) и разделения изображения на области с похожими энергетическими характеристиками (на основе критерия (6)). Было выдвинуто предположение о том, что не все этапы метода необходимы, и для улучшения быстродействия каким-то этапом или этапами можно пренебречь. Было решено провести оценку влияния этапов на конечную сегментацию.

На первом шаге алгоритмов, построенных на базе энергетических характеристик Лавса, предлагается устранить влияние интенсивности освещения.

Был проведен ряд экспериментов с программной моделью, в которых энергетические карты тестовых изображений вычислялись с использованием первого шага и без него. Результаты сегментации представлены на рис. 5.

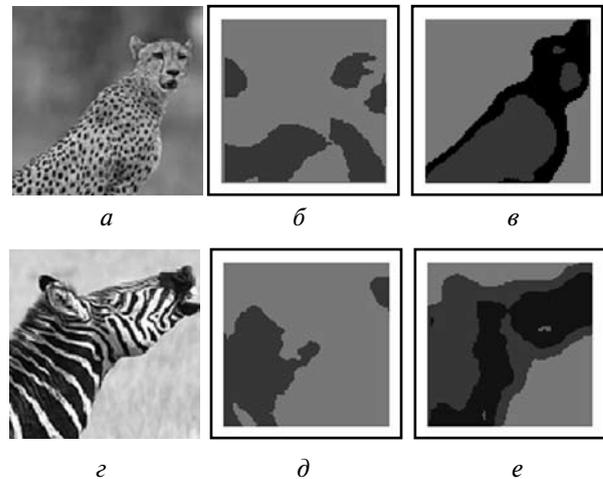


Рис. 5. Результаты поточечной сегментации: a, g – исходное изображение; b, d – сегментация без устранения влияния интенсивности освещения, порог $\delta = 80$; v, e – сегментация с устранением влияния интенсивности освещения, порог $\delta = 80$

Визуальный анализ полученных результатов показал, что устранение влияния интенсивности освещения на первом этапе обработки изображения методом энергетических характеристик является необходимым, так как изменение освещения визуально схожих текстур серьезно влияет на значения характеристик Лавса и текстуры относятся к разным классам. Данный шаг позволяет уравнивать энергетически все сравниваемые изображения, оставляя для дальнейшего исследования информацию о текстуре.

Также был исследован вопрос о необходимости перехода от отфильтрованных изображений к энергетическим картам, которые являются усреднением результатов обработки изображения масками. Для этого были проведены следующие эксперименты: сегментация тестовых изображений проводилась на основе обработанного масками изображения и на основе энергетических карт. Результат сегментации одного из изображений представлен на рис. 6.

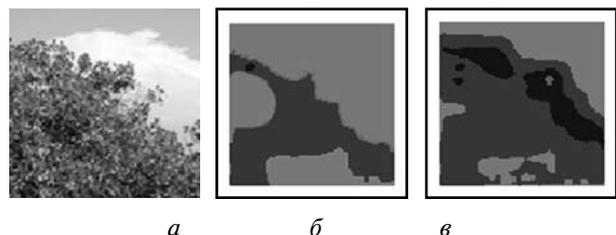


Рис. 6. Результаты поточечной сегментации: a – исходное изображение; b – сегментация на основе обработанного масками изображения, порог $\delta = 80$; v – сегментация с использованием энергетических карт, порог $\delta = 80$

Проведенные эксперименты показали, что переход от отфильтрованных изображений к энергетическим картам позволяет лучше учитывать текстурные особенности изображений, так как на значение каждой точки энергетической карты влияют отфильтрованные значения точек ее окрестности.

Следовательно, этап перехода от отфильтрованных изображений к энергетическим картам, как и этап устранения интенсивности освещения, является необходимым для построения описания текстуры изображения и применения такого описания для решения задачи сегментации.

Был посчитан коэффициент качества сегментации текстурных изображений с помощью рассматриваемого метода. Коэффициент вычислялся как отношение площади правильно сегментированных объектов к их реальной площади. Например для поточечной сегментации усредненный коэффициент качества составил 0,78. Таким образом, эксперименты по оценке качества сегментации показали целесообразность применения характеристик Лавса в решении многих практических задач, требующих проведения сегментации. Однако для повышения качества требуются дальнейшие исследования в условиях сложных яркостных и геометрических искажений, наличие которых существенно влияет на результат сегментации.

Выводы

Анализ энергетических характеристик Лавса показал целесообразность использования данных характеристик для решения задачи сегментации изображений с ярко выраженной текстурой.

В отличие от других методов обработки текстурных изображений, например, метода матриц совпадений, где сегментация изображения проводится путем разбиения изображения на схожие фрагменты фиксированного размера и формы [6], с помощью предлагаемого метода сегментацию можно проводить как фрагментарно, так и поточечно.

Преимуществом использования обладает поточечная сегментация на основе энергетического

метода Лавса, поскольку форма сегментированных объектов максимально приближена к реальной. Однако быстродействие поточечной сегментации ниже, чем у сегментации фрагментами на базе характеристик Лавса и сегментации методом матриц совпадений. Это объясняется тем, что в этом случае сравниваются векторы признаков для каждой точки, а в случае сегментации фрагментами сравниваются векторы, описывающие фрагменты. Количество сравнений при этом меньше в MN / mn раз, где M, N – вертикальный и горизонтальный размеры всего изображения; m, n – вертикальный и горизонтальный размеры фрагмента изображения соответственно.

В данной работе не был рассмотрен вопрос сегментации текстурных изображений методом характеристик Лавса в условиях геометрических искажений, что будет являться объектом последующих исследований. Также требует дальнейших исследований вопрос сегментации текстурных изображений при наличии сложных яркостных искажений.

Список литературы: 1. *Путятин Е.П., Аверин С.И.* Обработка изображений в робототехнике. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с. 2. *Шапиро Л., Стокман Дж.* Компьютерное зрение: Пер. с англ. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. 3. *Путятин Е.П., Панченко Д.С.* Сравнительный анализ методов сегментации изображений // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 4 (9). – С. 109-114. 4. *К. Laws.* Textured Image Segmentation, Ph.D. Dissertation, University of Southern California, January 1980. 5. *К. Laws.* Rapid texture identification. // In SPIE Image Processing for Missile Guidance. – 1980. – Vol. 238. – P. 376-380. 6. *Форсайт, Давид А., Понс, Жан.* Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с. 7. *Яковлева Е.В., Кускова И.В.* Исследование результатов сегментации изображений методом матриц совпадений // Вестник НТУ «ХПИ». Сб. науч. тр. Тематич. выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2006. – № 39. – С.164-171. 8. *Ковалевский В.А.* Методы оптимальных решений в распознавании изображений. – М.: Наука, 1976. – 328 с.

Поступила в редколлегию 26.10.2007