

Об одном методе пороговой локальной сегментации изображения*

Давид Г. Асатрян и Григорий С. Сажумян

Институт проблем информатики и автоматизации НАН РА
e-mail dasat@ipia.sci.am

Аннотация

Рассмотрена задача локальной сегментации изображения методом его разбиения на непересекающиеся однородные связные области. Предложен новый подход к оцениванию качества сегментации, основанный на анализе поведения суммарного квадратического отклонения интенсивностей пикселей от средних по сегментам, в зависимости от принятой шкалы интенсивностей. Предложен алгоритм решения задачи. Приведены модельные примеры сегментации изображения.

1. Введение

Обработка изображений продолжает оставаться интенсивно развивающейся областью компьютерной науки на протяжении последних нескольких десятилетий [1-3]. Интерес исследователей к этой области объясняется бурным развитием техники и технологии цифрового отображения информации в современных системах коммуникаций, компьютерных систем, измерительных комплексах и др. Важными сферами приложения методов цифровой обработки изображений являются медицина, связь, интернет, системы удаленного считывания, видеопродуцирование, охранные системы и др. (см., например, [4]).

Целью обработки изображения является получение полезной и качественной информации из изображения. Ввиду громадного разнообразия типов изображений, универсальных методов обработки, одинаково хорошо извлекающих информацию из любого изображения, не существует. С другой стороны, потребители информации, как правило, накладывают на применяемые методы и алгоритмы обработки определенные, а зачастую весьма жесткие и, к сожалению, противоречивые, требования к скорости, качеству, надежности и других параметров получаемых решений. Это обстоятельство и обуславливает постоянную актуальность задачи совершенствования существующих и

* Работа выполнена в рамках госбюджетного тематического финансирования Армении по проекту 734

разработки новых методов обработки информации. Поэтому научная литература, посвященная цифровым методам обработки изображений, весьма обширна. Однако, несмотря на это, постоянно возникают новые требования и новые задачи, которые возмущают исследователей к старым задачам, чтобы решать их новыми методами, и к испытанным на деле идеям, чтобы применять их с большим успехом в новых задачах.

Настоящая работа посвящена описанию усовершенствованного метода локальной сегментации, основанного на многопороговой и многократной классификации элементов изображения с учетом их связности в пределах каждого сегмента.

Методы сегментации изображений достаточно обстоятельно рассмотрены в [1-4]. Сегментация изображений является одной из важнейших операций, применяемых при обработке изображений. Под сегментацией понимают разбиение изображения на однородные (по интенсивности) группы пикселей в смысле некоторого критерия [4-5]. Каждая группа называется сегментом. Различные сегменты не должны пересекаться между собой, а соседние группы должны быть гетерогенными. Мы будем различать сегменты, пространственно связанные или не связанные [6], независимо от степени их однородности. Другими словами, не связанные сегменты могут иметь примерно одинаковые средние интенсивности пикселей, и, тем самым могут быть обработаны различными методами, независимо друг от друга. Сегментация может быть произведена глобально, т.е. одновременно для всего изображения с одинаковыми параметрами сегментации. Локальная сегментация, в отличие от глобальной, может быть произведена для каждого участка изображения с параметрами, выбранными специально для этого участка.

Подход к сегментации, применяемый в настоящей работе, характеризуется тем, что все изображение разбивается на непересекающиеся связанные области, пиксели которых имеют интенсивности, принадлежащие одному и тому же интервалу и вводится критерий, позволяющий оценивать качество сегментации.

2. Алгоритм сегментации

Рассмотрим, для простоты, изображение в формате GrayScale (8 bit). Это означает, что изображение S с размерами $N \times M$ состоит из пикселей с интенсивностью $s(x, y) \in \{0, 1, \dots, 255\}$, где $x = 0, 1, \dots, N$; $y = 0, 1, \dots, M$. Случай изображений с другими форматами можно, с определенными оговорками, свести к рассматриваемому.

Итак, пусть изображение S необходимо подвергнуть сегментации. Пусть выбран некоторый алгоритм ξ сегментации, в результате применения которого получены сегменты $S_1, S_2, \dots, S_K$. Это означает, что

$$a) S = \bigcup_{i=1}^K S_i, \quad i = 1, 2, \dots, K,$$

$$b) S_i \cap S_j = \emptyset, \text{ если } i \neq j, \quad i, j = 1, 2, \dots, K.$$

Область пикселей S_c называется *связной*, если любые два пиксела $A \in S_c$ и $B \in S_c$ могут быть соединены через последовательность

$$(x_A, y_A), (x_{i-1}, y_{i-1}), (x_i, y_i), (x_{i+1}, y_{i+1}), \dots, (x_B, y_B), \quad (1)$$

также принадлежащих области S_c , причем каждый пиксел (x_i, y_i) является соседним с предыдущим пикселом (x_{i-1}, y_{i-1}) и с последующим пикселом (x_{i+1}, y_{i+1}) в (1).

Введем систему *порогов* следующим образом. Пусть $0 \leq \theta_1 < \theta_2 < \dots < \theta_{L-1} \leq 255$, где $\theta_1 \in \{0, \dots, 255\}$, $l=1, 2, \dots, L-1$. Тогда числа $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{L-1}$ определяют интервалы $I_1 = [0, \theta_1]$, $I_2 = [\theta_1 + 1, \theta_2]$, ..., $I_L = [\theta_{L-1} + 1, 255]$, перекрывающиеся весь диапазон изменения интенсивностей пикселей. Связную область S_c назовем *локальным сегментом* (ЛС) с l -м уровнем интенсивности, если все пиксели области S_c имеют интенсивности, принадлежащие интервалу I_l .

Задача *пороговой сегментации* состоит в том, чтобы для заданного множества порогов $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{L-1}$ найти все локальные сегменты данного изображения, каждый из которых имеет только пиксели одного и того же уровня интенсивности, определяемого заданными порогами. Для различных чисел порогов L мы можем получить не только различное число сегментов, но и существенно отличающиеся сегменты. Другими словами, один и тот же пиксел может входить в сегменты, отличающиеся по составу пикселей. Поэтому нужно определить критерий для выбора наиболее приемлемого разложения изображения на сегменты. Для обоснования и выбора такого критерия можно использовать подход, описанный в [7] и основанный на определении суммарного квадратического отклонения интенсивностей пикселей внутри сегментов от их среднего значения.

Пусть сегменты $S_1, S_2, \dots, S_{K^k}$ соответствуют алгоритму ξ сегментации, причем количество пикселей в k -м сегменте равно n_k^k , $\sum_{k=1}^{K^k} n_k^k = N \times M$. Обозначим

$$\bar{W}_k^k = \frac{1}{n_k^k} \sum_{A \in S_k} W_A^k; R_k^k = \frac{\sum_{A \in S_k} (W_A^k - \bar{W}_k^k)^2}{n_k^k}, R^k = \sum_{k=1}^{K^k} R_k^k, \quad (2)$$

где W_A^k - интенсивность пикселя A .

Величина R^k является показателем степени однородности сегментов, полученных с помощью алгоритма ξ . Чем меньше его величина, тем более однородны сегменты. Заметим однако, что существует минимальная величина этого показателя, равная нулю, что достигается тогда, когда количество сегментов равно общему количеству пикселей в изображении. Поэтому применение данного критерия разумно только в определенных пределах изменения количества порогов.

В настоящей работе предложен следующий алгоритм пороговой сегментации.

Шаг 1. Производится (при необходимости) предварительная фильтрация изображения, при которой происходит некоторое сглаживание изображения. Метод фильтрации принципиального значения не имеет. Здесь важно, чтобы в разлагаемом изображении не было слишком много сегментов с крайне малым числом пикселей.

Шаг 2. Принимается $L = 2$, т.е. область интенсивностей $[0, 255]$ разбивается на два равных интервала при помощи соответствующего порога θ_1 .

Шаг 3. Выбирается пиксел с координатами $i=0; j=0$. Определяется номер интервала интенсивностей, в который попадает интенсивность выбранного пикселя. Пусть этот номер равен l . Просматривая все пиксели, соседние с выбранным, находятся те из них, интенсивность которых попадает в тот же интервал I_l , и запоминаются их

координаты, как координаты пикселей, принадлежащих к первому ЛС. То же самое производится с пикселями, уже отнесенными к этому сегменту до тех пор, пока не выяснится, что все пиксели, соседние хотя бы с одним уже отобранным пикселем, имеют интенсивности, попадающие в другой интервал. Таким образом, формирование локального (связного!) сегмента S_i считается завершенным. Заметим, что порядок просмотра пикселей значения не имеет.

Шаг 4. Выбирается первый же пиксел изображения, не входящий в первый сегмент, и для него выполняются действия, аналогичные предусмотренным на Шаге 3 действиям. При этом пиксели, уже отобранные в качестве элементов ЛС S_1 , больше не рассматриваются. Таким образом, формируется ЛС S_2 .

Шаг 5. Действия, предусмотренные для Шага 4, производятся для всех пикселей, кроме уже вошедших в предыдущие сегменты, формируя тем самым все возможные последующие сегменты. Правилom остановки для этого алгоритма является отсутствие пикселей, еще не входящих в сформированные сегменты.

Шаг 6. Вычисляется критерий качества сегментации при помощи формул (2) и запоминается.

Шаг 7. Принимается $L = 3$ и определяются три (примерно одинаковых) интервала интенсивностей, задаваемых порогами θ_1, θ_2 .

Шаг 8. Все действия, предусмотренные для Шагов 1-6 повторяются для вновь полученных порогов.

Шаг 9. Последовательно повторяется Шаг 7 для нескольких последующих целых значений $L = 4, 5, \dots, L_{\max}$ и повторяется Шаг 8 для вновь полученных порогов $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{L-1}$, создающих L примерно одинаковых интервалов интенсивностей. Четких обоснований для выбора $L_{\max}$ нет, он осуществляется априори, исходя из конкретных результатов предварительной обработки изображения.

Таким образом, в результате применения описанного алгоритма формируется K локальных сегментов, причем может оказаться, что $K \gg L_{\max}$. После завершения работы алгоритма необходимо анализировать полученные значения критерия качества R^k для последовательных значений числа интервалов интенсивностей $L = 2, 3, 4, \dots, L_{\max}$ и проследить за поведением R^k . Количество сегментов, которые могут быть получены в результате применения описанной выше процедуры сегментации, растет довольно быстро с ростом числа интервалов интенсивностей L , поэтому может принимать слишком большие значения. Необходим метод, позволяющий остановиться раньше, чем это количество станет катастрофически большим. В качестве одного из таких методов является нахождение такого числа интервалов, дальнейшее увеличение которого не приводит к существенному увеличению однородности сегментов. Естественно ожидать, что значения R^k сначала резко уменьшаются, затем более или менее стабилизируются, начиная с определенного уровня R_0 . Количество интервалов L_0 , соответствующее найденному значению R_0 , можно зафиксировать, а дальнейший анализ изображения проводить с сегментами, соответствующими этому L_0 .

2. Модельные эксперименты

Рассмотрим численный пример, иллюстрирующий работу алгоритма. Рассмотрим модельное изображение с размерами 32×32 , приведенное на Рис. 1а, которое состоит из $4 \times 4 = 16$ однородных квадратных фрагментов с различной интенсивностью (в модели приняты четыре уровня интенсивностей: 40; 90; 150; 200). Можно ожидать, что при увеличении L значение остатков R^k будет резко уменьшаться, а при $L = 5$, когда пороги имеют, например, значения 50; 100; 150; 200, и вовсе будет равным нулю. На Рис. 1б и 1с приведен результат сегментации при $L = 2$, с интервалами интенсивностей $[0, 127]$ и $[128, 255]$ соответственно. В этом случае имеем $R^k = 594286$. При $L = 3$ интенсивности пикселей изображения полностью разделяются порогами $\theta_1 = 85$ и $\theta_2 = 170$, в результате чего получаются 2 ЛС с интенсивностью 40 и 3 ЛС с интенсивностями 90; 150 и 200 соответственно. Следовательно, для $L = 3, 4, \dots$ имеем $R^k = 0$, что и следовало ожидать, исходя из очевидных свойств этого искусственного изображения.



Рис. 1. Результат сегментации при $L = 2$. а – исходное изображение, б – сегмент с интервалом интенсивностей $[0, 127]$, с – сегмент с интервалом интенсивностей $[128, 255]$.

Был также проведен эксперимент с тем же изображением, подвергнутому зашумлению аддитивными шумами. На Рис. 3 изображены результаты сегментации по предложенному алгоритму при $L = 2$. Сравнивая рисунки 1 и 2, замечаем, что интенсивности пикселей зашумленного изображения проявляют значительно большее разнообразие, чем исходное, поэтому поведение остатков R^k не может быть предсказано априори. Результаты расчетов изображены на Рис. 3 в виде графика зависимости остатков R^k от количества интервалов интенсивностей L .



Рис. 2. Результат сегментации при $L = 2$. а – зашумленное изображение, б – сегмент с интервалом интенсивностей $[0,127]$, в – сегмент с интервалом интенсивностей $[128,255]$.

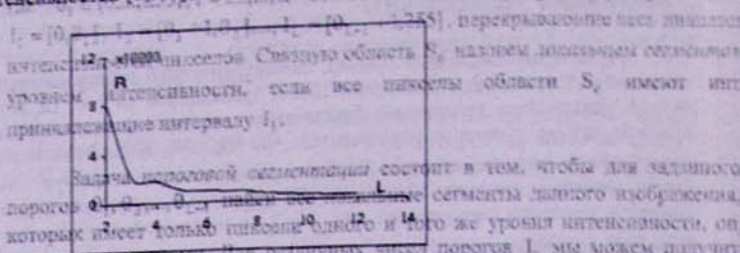


Рис. 3. Графики зависимости остатков R^k от количества интервалов сегменты, L , для зашумленного изображения.

Мы видим, что, согласно предложенному принципу оценивания качества, остатки проявляют тенденцию к стабилизации начиная со значения $L = 3$, что вполне согласуется со структурой рассматриваемого изображения.

Литература

- [1] W.Pratt. Digital Image Processing. 3-rd ed., J.Wiley & Sons, Inc., N.Y., 2001.
- [2] G.X. Ritter, J.N. Wilson. Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra. Boca Raton: CRC Press LLC, FL, 1996.
- [3] I. Pitas. Digital Image Processing Fundamentals. Thessaloniki, 1998.
- [4] Advanced Signal Processing Handbook. Editor: Stergios Stergiopoulos. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001.
- [5] Nikhil R. Pal and Sankar K. Pal. A review on image segmentation techniques. Pattern Recognition, 26(9):1277-1294, 1993.
- [6] Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro. Image segmentation techniques. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 29:100-132, 1985.
- [7] P. Hubert. The segmentation procedure as a tool for discrete modeling of hydrometeorological regimes. Stoch. Env. Res. and Risk Ass., vol. 14, pp.297-304, 2000.

Պատկերի շեմային տեղային հատվածավորման մի եղանակի մասին

Ամփոփում

Դիտարկվել է չհատվող համասեռ կապակցված տիրույթների տրոհման եղանակով պատկերի շեմային տեղային հատվածավորման խնդիր: Մտաջարկվել է հատվածավորման որակի գնահատման նոր մոտեցում՝ ինքնավար հատվածների տարրերի միջին վառույթունից գումարային բառակազմային շեղումների վարքի վերլուծության վրա, որի կախված վառույթունների համար ընդունված սանդղակից: Մտաջարկվել է խնդրի լուծման ալգորիթմ: Բերվել են պատկերի հատվածավորման մոդելային օրինակներ: