

Двухуровневый метод повышения качества сегментации изображений

Д.М. Мурашов

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук
Москва, Россия
d_murashov@mail.ru

Аннотация—Предложен новый двухуровневый метод комбинирования карт сегментации изображений на основе критерия минимума информационной избыточности. Метод позволяет улучшить результат сегментации. При этом комбинированные разбиения показали информационное отличие от эталонных разбиений, соизмеримое с отличием, порожденным результатами традиционных алгоритмов сегментации.

Ключевые слова— сегментация изображений, комбинирование карт сегментации, мера избыточности информации, энтропия, вариация информации.

1. ВВЕДЕНИЕ

Представляемая работа посвящена решению одной из задач, связанных с обеспечением качества сегментации цифровых изображений. Ряд работ по сегментации изображений посвящен подходу, который связан не с поиском на ансамбле разбиений изображения такого разбиения, которое обеспечивало бы оптимальное значение выбранной меры качества, а основан на комбинировании карт сегментации для получения нового разбиения, позволяющего улучшить значение меры качества. Задача комбинирования кластеров разбиений данных достаточно давно рассматривается в публикациях. Например, в работе [1] предложен метод построения консенсусного разбиения из ансамбля разбиений, полученных при кластеризации набора данных. Новое разбиение формируется при оптимизации величины средней нормализованной взаимной информации между консенсусным разбиением и анализируемым ансамблем разбиений. В работе [2] предложено использовать критерий на основе матрицы коассоциации (co-association matrix) элементов (образов) кластеров. Подход, связанный с комбинированием разбиений данных, успешно применяется при решении задачи сегментации изображений. В статье [3] представлен итерационный метод комбинирования множества грубо сегментированных изображений (карт сегментации или разбиений), полученных в разных цветовых пространствах при различных значениях параметров алгоритма сегментации. Для обеспечения качества используется критерий минимума средней вариации информации (mean variation of information criterion) между комбинированным изображением и каждой из грубых карт сегментации. Ряд статей посвящен применению различных показателей качества сегментации изображений [4] к задаче комбинирования карт сегментации.

В представляемой работе предлагается еще один метод комбинирования карт сегментации на стадии постобработки. Метод основан на критерии минимума информационной избыточности. Ранее этот критерий успешно применялся в задаче обеспечения качества

сегментации с помощью процедуры выбора из множества доступных разбиений входного изображения разбиения, минимизирующего информационную избыточность [5]. Была показана эффективность такого критерия.

2. ДВУХУРОВНЕВЫЙ МЕТОД КОМБИНИРОВАНИЯ КАРТ СЕГМЕНТАЦИИ

Комбинирование карт сегментации на стадии постобработки выполняется на двух уровнях. На первом уровне осуществляется комбинирование сегментов. На втором производится коррекция границ сегментов комбинированного изображения на пиксельном уровне. Двухуровневое комбинирование позволит получить более точное разбиение оригинального изображения и сохранить информационно важные области, которые могут быть утрачены при работе традиционных алгоритмов сегментации.

Задача формулируется следующим образом. Пусть из оригинального изображения U получено множество карт сегментации $V = \{V^1, V^2, \dots, V^q, \dots, V^Q\}$, где $V^q = \{S_1^q, S_2^q, \dots, S_{k_q}^q\}$ состоит из k_q сегментов. Пусть изображение $V^{q_{\min}}$ обеспечивает минимум меры информационной избыточности $R(U, V^q)$ [5]. Требуется сформировать разбиение V^* в виде комбинации Q разбиений V^q из V такое, что $R^* = R(U, V^*) < R(U, V^{q_{\min}})$.

А. Комбинирование сегментов

Процедура комбинирования на этом этапе реализуется следующим образом. В качестве начального приближения изображения V_0^* из множества карт сегментации V выбирается изображение $V^{q_{\min}}$. Далее выполняется последовательное сравнение сегментов из V^* и одного из изображений V^q , $q \neq q_{\min}$. Если какой-либо сегмент S_i^q из V^q отсутствует на V_0^* , то он копируется в V_0^* , и формируется новое изображение V_1^* . Если выполняется условие $R(U, V_{j+1}^*) < R(U, V_j^*)$, то полученное разбиение V_1^* сохраняется, и проверяется следующий сегмент, который в комбинации с изображением V_1^* порождает новое разбиение V_2^* . Если условие убывания избыточности информации не выполняется, то с использованием следующего сегмента формируется новое изображение V_2^* , и так далее. После проверки всех сегментов изображения V^q , выбирается следующее разбиение из множества V , и процедура повторяется.

Б. Коррекция границ сегментов

На втором уровне уточняются границы комбинированного изображения V^* . В качестве базового алгоритма использована итерационная процедура, предложенная в работе [3]. В предлагаемом алгоритме, в отличие от оригинала, вместо критерия минимума средней вариации информации применяется мера избыточности информации, содержащейся в сегментированном изображении. Процедура состоит в следующем. Последовательно пикселям, которые находятся на границе сегмента, присваивается метка соседнего сегмента. Вычисляется приращение меры избыточности. Если приращение отрицательно, то сохраняется новая метка сегмента. Если приращение положительно, метка восстанавливается. Далее меняется метка у следующего пикселя на границе сегмента, и описанные выше операции повторяются. Получены формулы для вычисления приращения меры избыточности.

$$\Delta R = R(U, V^{**}) - R(U, V^*) = \frac{H(U, V^{**}) - H(V^{**})}{H(V^{**})} - \frac{H(U, V^*) - H(V^*)}{H(V^*)}, \quad (1)$$

где $R(U, V^{**})$ и $R(U, V^*)$ - величины информационной избыточности, вычисленные для карт сегментации V^{**} и V^* ; V^{**} получена из V^* модификацией метки сегмента пикселя на границе сегментов; $H(U, V^{**})$, $H(V^{**})$, $H(U, V^*)$ и $H(V^*)$ - оценки совместных и маргинальных энтропий, вычисленные для карт сегментации V^{**} и V^* , соответственно:

$$H(U, V^{**}) = H(U, V^*) + \frac{n_k}{N} \log \frac{n_k}{n_k - 1} + \frac{n_m}{N} \log \frac{n_m}{n_m + 1} + \frac{1}{N} \log \frac{n_k - 1}{n_m + 1}, \quad (2)$$

$$H(V^{**}) = H(V^*) + \frac{n_k}{N} \log \frac{n_k}{n_k - 1} + \frac{n_m}{N} \log \frac{n_m}{n_m + 1} + \frac{1}{N} \log \frac{n_k - 1}{n_m + 1}, \quad (3)$$

где N - количество пикселей в изображениях U и V^* , l - значение уровня яркости пикселя изображения U с координатами, соответствующими координатам модифицируемого пикселя в V^* , k и m - метки сегментов разбиений V^{**} и V^* , которым принадлежал пиксель до и после модификации, n_k , n_m , n_k и n_m - количество пикселей в двумерных и одномерных гистограммах изображений U , V^{**} и V^* с уровнем яркости l и метками сегментов k и m , соответственно. Уравнения (1-3) позволяют быстро вычислить приращение избыточности ΔR при модификациях меток сегментов без полного сканирования изображений для построения гистограмм при вычислении энтропий.

В. Вычислительный эксперимент

Проведен вычислительный эксперимент на изображениях из базы BSDS500 [4]. Значения информационной избыточности, вычисленной на разных

стадиях комбинирования, представлены в Таблице 1, а значения нормированной вариации информации $VI(U, V)$ характеризующей информационное различие комбинированных разбиений и оригинала, - в Таблице 2.

Таблица I. ЗНАЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ КОМБИНИРОВАНИЯ РАЗБИЕНИЙ

| Изображение | $R(U, V^{qmin})$ | $R(U, V^*)$ | $R(U, V^{**})$ |
|-------------|------------------|-------------|----------------|
| 35010.jpg | 0,6784 | 0,6762 | 0,6476 |
| 124084.jpg | 0,6623 | 0,6578 | 0,6223 |
| 42049.jpg | 0,4660 | 0,4558 | 0,4335 |
| 67079.jpg | 0,4810 | 0,4809 | 0,4477 |

Таблица II. ЗНАЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО РАЗЛИЧИЯ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ КОМБИНИРОВАНИЯ РАЗБИЕНИЙ

| Изображение | $VI(U, V^{qmin})$ | $VI(U, V^*)$ | $VI(U, V^{**})$ |
|-------------|-------------------|--------------|-----------------|
| 35010.jpg | 0,8846 | 0,8823 | 0,8758 |
| 124084.jpg | 0,9182 | 0,9138 | 0,9133 |
| 42049.jpg | 0,8805 | 0,8745 | 0,8725 |
| 67079.jpg | 0,8886 | 0,8885 | 0,8867 |

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен новый двухуровневый метод комбинирования карт сегментации изображений на основе критерия минимума информационной избыточности. Метод позволяет получить более точное разбиение оригинального изображения и сохранить информационно важные области, которые могут быть утрачены при работе традиционных алгоритмов сегментации. Результаты эксперимента показали, что предложенный метод позволяет улучшить результат сегментации изображений с точки зрения минимизации информационной избыточности и информационного различия с оригиналом. Комбинированные разбиения незначительно меняют величину информационного различия с эталонными сегментациями относительно различия разбиений, полученных традиционным алгоритмом.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Strehl, A. Cluster Ensembles - A Knowledge Reuse Framework for Combining Multiple Partitions / A. Strehl, J. Ghosh // Journal of Machine Learning Research. - 2002. - Vol. 3. - P. 583-617.
- [2] Fred, A. Robust data clustering / A. Fred, A.K. Jain // Proc. of the IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, Madison, USA. - 2003. - Vol. 2. - P. 128-133.
- [3] Mignotte, M. A Label Field Fusion Model With a Variation of Information Estimator for Image Segmentation / M. Mignotte // Information Fusion. - 2014. - Vol. 20. - P. 7-20.
- [4] Martin, D. A database of human segmented natural images and its application to evaluating segmentation algorithms and measuring ecological statistics / D. Martin, C. Fowlkes, D. Tal, J. Malik // Proc. 8th Int. Conf. Comput. Vis. (ICCV), Vancouver, Canada. - 2001. - Vol. 2. - P. 416-423.
- [5] Murashov, D.M. An Information Model for Digital Image Segmentation / D.M. Murashov // Pattern Recognit. Image Anal. - 2021. - Vol. 31. - P. 632-645.