

МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Д. С. Лебедько, Н. А. Тюкачѳв, М. Н. Мохаммед Заки Хассан

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 15.10.2015 г.

Аннотация. Рассмотрены существующие численные метрики качества выделения границ объектов на изображениях. Предлагается оригинальная альтернативная комплексная численная метрика качества выделения границ объектов на изображении основанная на существующих метриках. Приводятся результаты оптимальной сегментации по критерию максимума введѳнной метрики. Предлагаемый метод применим для любых детекторов границ в случаях обработки статических изображений.

Ключевые слова: сегментация, метрика Прѳтта, детектор границ, численные метрики качества детектора границ объектов.

Annotation. This article reviews the existent numerical metrics of quality evaluation of edge detectors. An alternative complex original metric of numerical estimation of edge detection quality based on existent metrics is suggested in this work. The results of optimal segmentation by metric maximum criteria is shown. The suggested metric may be used for any edge detectors in case of processing static images.

Keywords: segmentation, Pratt's figure of merit, edge detector, numerical metrics of edge detector quality.

ВВЕДЕНИЕ

Важное место в процессе машинного зрения занимает этап сегментации изображений. Этап сегментации находится в самом начале цепочки преобразований системы машинного зрения и является нетривиальной задачей, от качества решения которой зависит качество решения задачи машинного зрения в целом. Очень часто сегментация сводится к выделению границ или контуров объектов на изображении [1]. Границы объектов, выделяемые человеком, и границы объектов, выделяемые компьютером, очевидно, будут отличаться. Для достижения оптимального результата сегментации необходимо использовать численные методы оценки качества выделения границ объектов. В разделе 1 представлен краткий обзор существующих метрик качества выделения

границ объектов на изображении. В разделе 2 рассмотрены существующие методы численной оценки качества выделения границ объектов на изображениях. В разделе 3 предложен альтернативный метод оценки качества выделения границ объектов на изображении базирующийся на метриках, рассмотренных в разделе 2. В разделе 4 представлены результаты оптимальной сегментации, проведенной по критерию максимума представленной метрики.

1. МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

На практике широкое применение получили методы выделения границ объектов на основе операторов дифференцирования первого и второго рода [2]. Принцип работы таких методов представлен на рис. 1.

Кроме того, существуют методы основанные на выделении контуров по регионам, также известные как методы жука. В этом случае операция пороговой обработки изображения

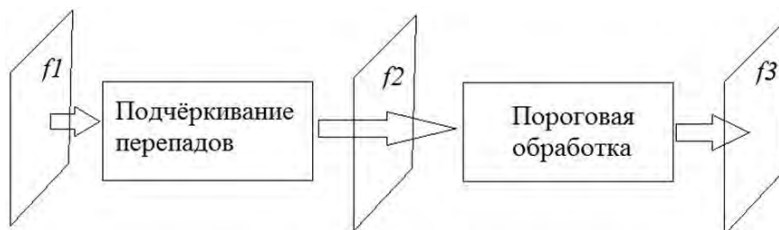


Рис. 1. Выделение контуров при помощи операторов дифференцирования

осуществляется первой, после чего изображение подвергается обработке соответствующим алгоритмом. Подробные описания данных методов можно найти в [3, 4].

2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

На практике широкое применение находят следующие метрики численной оценки качества выделения границ объектов на изображениях [5]:

$$P_{co} = \frac{TP}{\max(N_I, N_B)} \quad (1)$$

– вероятность верного детектирования, где N_I – количество граничных точек в идеальном контуре объекта, N_B – количество граничных точек в полученном в процессе детектирования контуре объекта, TP (true positive) – количество верно определённых граничных точек объекта.

$$P_{nd} = \frac{FN}{\max(N_I, N_B)} \quad (2)$$

– вероятность ошибки первого рода, где FN (false negative) – количество точек, которые являются граничными точками объекта, но которые не были обнаружены детектором границ.

$$P_{fa} = \frac{FP}{\max(N_I, N_B)} \quad (3)$$

– вероятность ошибки второго рода, где FP (false positive) – количество точек, которые не являются граничными точками объекта, но которые были определены детектором границ.

Для оценки качества выделения границ, которые могут быть смещены, применяется метрика Прэтта имеющая вид [6]:

$$IMP = \frac{1}{\max(N_I, N_B)} \sum_{i=1}^{N_B} \frac{1}{1 + \alpha * d_i} \quad (4)$$

где α – коэффициент, регулирующий величину штрафа за смещение граничной точки, d_i – расстояние от граничной точки идеального контура до граничной точки полученного в результате детектирования границ контура.

На основе всех вышеперечисленных метрик можно ввести комплексную метрику вида:

$$D4 = \sqrt{(P_{co} - 1)^2 + (IMP - 1)^2 + P_{nd} + P_{fa}} \quad (5)$$

Данная метрика может принимать значения из диапазона [0..2]. Детектор, для которого данная метрика имеет значение 0 является идеальным. Напротив, детектор, значение метрики для которого равно 2 считается наихудшим.

Метрика (4), как и базирующаяся на ней метрика (5), имеют алгоритмическую сложность $O(kN)$, где k – размер окна, в котором происходит поиск смещённых относительно идеального положения точек. Такая сложность приводит к значительным временным затратам. В то же время метрики (1), (2), (3) имеют алгоритмическую сложность $O(N)$, но не могут быть по отдельности эффективно использованы для выбора оптимальных порогов сегментации.

3. ПРЕДЛОЖЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

На основе метрик (1), (2), (3) была предложена альтернативная метрика качества выделения границ объектов на изображениях.

Пиковое отношение сигнала к шуму (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) – широко используемая метрика для оценки качества выде-

ления сигнала, позаимствованная из теории сигналов.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\max_f^2}{MSE} \right). \quad (6)$$

Общепринятое определение среднеквадратичной ошибки имеет следующий вид:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|f(i, j) - g(i, j)\|^2. \quad (7)$$

В данной работе предлагается определить MSE как:

$$MSE \equiv RE \quad (8)$$

$$RE \equiv (b * P_{co} + \alpha)^{-1} + c * P_{fa} + d * P_{nd} \quad (9)$$

– относительная ошибка, определённая через рассмотренные ранее примитивные метрики, где α – константа, ограничивающая RE сверху. b, c, d – весовые коэффициенты, являющиеся мерами значимости примитивных метрик.

Критерий оптимальной сегментации предлагается рассматривать в виде:

$$PSNR \rightarrow \max \quad (10)$$

Предложенная метрика имеет алгоритмическую сложность $O(N)$.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМАЛЬНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМУМА ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕТРИКИ

На рис. 2 представлены результаты эксперимента по применению определённой ранее метрики, проведённого в среде Matlab.

Для каждого из методов обнаружения границ выделены локальные максимумы значений вычисленной метрики. Соответствующие данным максимумам пороги сегментации принимаются за оптимальные. Полученные пороги сегментации могут быть использованы для последующей автоматической обработки с целью решения конкретной прикладной задачи.

Изображение было обработано четырьмя методами выделения границ объектов с различными порогами сегментации. Шаг дискретизации порогов сегментации составил 10 единиц. В результате были получены четыре набора изображений с выделенными границами объектов. Каждый из наборов содержит 17 изображений. Из каждого набора было выбрано одно изображение, для которого значение метрики PSNR является наибольшим. Данные четыре изображения содержат оптимально выделенные границы объектов в смысле максимума определённой выше метрики.

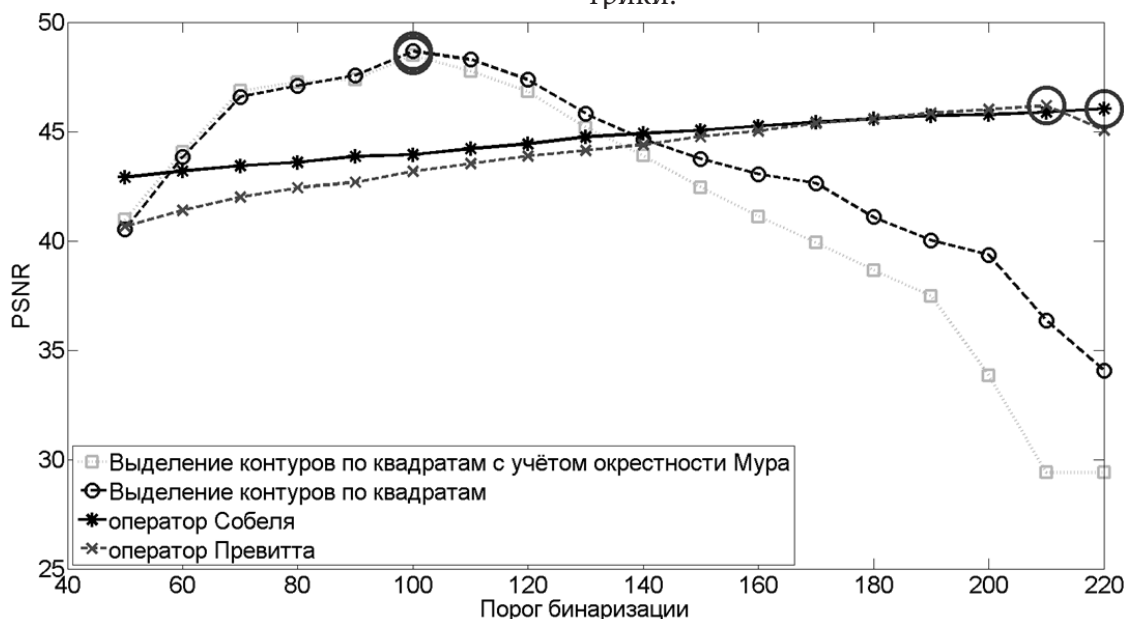


Рис. 2. Выбор оптимальных порогов сегментации согласно критерию максимума пикового соотношения С/Ш

Для проведения эксперимента были использованы изображения из набора BSDS (Berkley Segmentation Data Set). На рис. 3 представлено изображение под номером 106025, входящее в состав набора BSDS. Сегментация представленного изображения является тяжёлой задачей в силу незначительного отличия значений интенсивности части точек объекта от значений интенсивности точек фона.

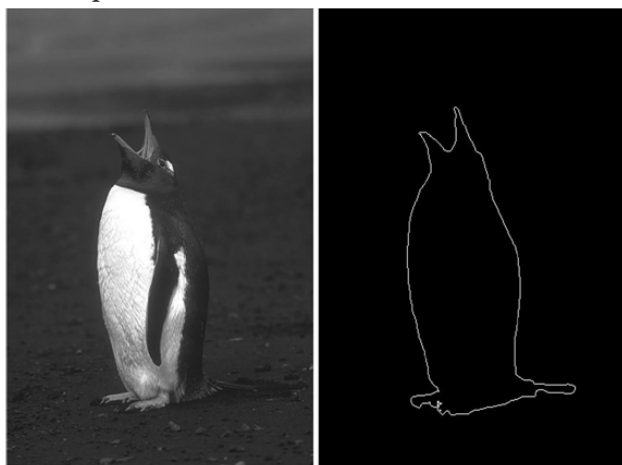


Рис. 3. Оригинальное изображение и контур

Для вычисления значений метрик были использованы изображения из того же набора, содержащие контуры объектов, сегментированных человеком [8]. На рис. 4 изображены результаты проведённой оптимальной сегментации. На представленном рисунке можно видеть выделенный контур объекта, который в данном случае представляет собой животное.

Полученные контуры объекта, сегментированного автоматически, визуально согласуются с ожидаемым результатом, что позволяет сделать вывод о состоятельности проведённого эксперимента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были рассмотрены существующие метрики качества выделения границ объектов на изображениях. Была предложена альтернативная существующим численная метрика оценки качества выделения границ объектов на изображениях. Предложенная метрика позволяет производить оценку качества выделения границ объектов на изображениях различными методами, а



Рис. 4. Результаты оптимальной сегментации по критерию максимума пикового отношения С/Ш

также автоматически выбирать оптимальные пороги сегментации по критерию максимума значения данной метрики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М. : Техносфера, 2005 – 1070 с.

2. Сойфер В. А. Теоретические основы цифровой обработки изображений / В. А. Сойфер, В. В. Сергеев, С. Б. Попов, В. В. Мясников. – Самара, 2000 – 255 с.

3. Toussaint G. Introduction to pattern recognition / G. Toussaint. – Режим доступа: <http://cgm.cs.mcgill.ca/~godfried/teaching/mir-reading-assignments/Chapter-1-Introduction-Pattern-Recognition.pdf>

4. Toussaint G. Grids, connectivity and contour tracing / G. Toussaint. – Режим доступа: <http://cgm.cs.mcgill.ca/~godfried/teaching/>

Лебедько Д. С. – студент 1 курса магистратуры кафедры Программирования и информационных технологий факультета компьютерных наук, Воронежский государственный университет.

Тел. +79042141846

E-mail: lebedko.dmitrii@gmail.com

Тюкачев Н. А. – к.ф.-м. н., доцент кафедры Программирования и информационных технологий факультета компьютерных наук, Воронежский государственный университет.

Тел. (473)220-84-70.

E-mail: nik@cs.vsu.ru

Мохаммед Заки Хассан М.Н. – аспирант кафедры Программирования и информационных технологий факультета компьютерных наук, Воронежский государственный университет.

Тел. +79601184273.

E-mail: hmnzm@yahoo.com

[mir-reading-assignments/Chapter-2-Grids-Connectivity-Contour-Tracing.pdf](http://cgm.cs.mcgill.ca/~godfried/teaching/mir-reading-assignments/Chapter-2-Grids-Connectivity-Contour-Tracing.pdf)

5. Gonzaga A. Method to Evaluate the Performance of Edge Detector / A. Gonzaga // The XXIInd Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing – 2009 – P. 87–91.

6. Прэнтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэнтт. – М. : Мир, 1982. – 790 с.

7. Теоретические основы цифровой обработки изображений / В. А. Сойфер, В. В. Сергеев, С. Б. Попов, В. В. Мясников. – Самара: Самарский Государственный Аэрокосмический Университет им академика С. П. Королева, 2000. – 255 с.

8. Martin D. A database of human segmented natural images and its application to evaluating algorithms and measuring ecological statistics / D. Martin, C. Fowlkes, D. Tal, J. Malik // 8th International Conference Computer Vision. – 2001. – Vol. 2 – P. 416–423.

Lebedko D. S. – student of the first year of Master's program, the dept. of Programming and Information Technologies of Computer Science Faculty, Voronezh State University.

Tel. +7(904)2141846.

E-mail: lebedko.dmitrii@gmail.com

Tyukachev N. A. – Candidat of Physics-math. Sciences, Associate Professor, the dept. of Programming and Information Technologies of Computer Science Faculty, Voronezh State University.

Tel. (473)220-84-70.

E-mail: nik@cs.vsu.ru

Mohammed Zaki Hassan M.N. – student Ph.D., the dept. of Programming and Information Technologies of Computer Science Faculty, Voronezh State University.

Tel. +79601184273.

E-mail: hmnzm@yahoo.com