УДК 004.932.2

Т.Н. БАЛАБАНОВА, Н.В. ВАСИЛЬЕВА
T.N. BALABANOVA, N.V. VASILEVA

ОПТИМАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПРОИЗВОДНОЙ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

OPTIMAL ESTIMATION OF THE DERIVATIVE AND ITS USE IN DIGITAL IMAGE PROCESSING

В данной статье рассмотрена задача выделения границ на изображениях на основе оценки производных. Предложено использование вариационного метода оценки производных для выделения контуров объектов на изображении. Приведены результаты экспериментов по выделению контуров лица человека на изображениях с использованием различных методов, которые показывают эффективность использования вариационного метода оценки производных.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, выделение контуров, вариационный метод оценки производных.

In this article, we consider the problem of selecting borders on images based on the estimation of derivatives. The use of a variational method for evaluating derivatives for selecting the contours of objects in the image is proposed. The results of experiments on highlighting the contours of a person's face in images using various methods are presented, which show the effectiveness of using the variational method of evaluating derivatives.

Keywords: digital image processing, contour selection, variational method for estimating the derivative.

В настоящее время цифровые изображения используются практически во всех сферах жизнедеятельности человека. Однако получаемые изображения не всегда бывают приемлемого качества. В связи с этим получили развитие различные методы и алгоритмы цифровой обработки изображений. Одной из задач является повышение резкости изображений и выделение контуров объектов на изображении. Для решения этой задачи существует ряд алгоритмов, основанных на оценивании производной изображения. Следует отметить, что результат работы таких алгоритмов напрямую зависит от качества оценки производной.

Использование выделения границ объектов на изображении довольно обширно.

Одной из основных задач при реализации компьютерного зрения является выделение границ на изображении. Решение данной задачи позволяет, с одной стороны, получить полезную информацию из изображения, а с другой - существенно сократить вычислительную нагрузку при дальнейшей обработке изображения за счет обнаружения перепадов яркости.

Выделение границ на изображении является актуальным при решении большого числа задач в области цифровой обработки изображений. Например, для решения задачи распознавания лиц или эмоций необходимо выделить на изображении контур лица, а также контуры его отдельных частей - глаз, губ, бровей и т. д. Значительное количество исследований в области обработки изображений показывает, что основная часть информации об объекте содержится в его контуре.

Наряду с наличием и количеством объектов еще одним существенным источником информации об объекте на изображении является его морфология. Например, по морфологии иммунных клеток на изображении можно оценить состояние иммунной системы, а определение морфологии зерен минералов позволяет установить условия их формирования и общность происхождения. Следует отметить, что процесс определения морфологических признаков является трудоемким и требует предварительного определения контуров объектов.

Сложность рассматриваемой задачи значительно увеличивается для объектов, которые не имеют четких контуров на изображении в виду своей природы или особенностей регистрации. Примером таких объектов могут служить:

- объекты с размытыми контурами (загрязнения атмосферы, дым);
- объекты с «рваным» контурами (границы лимфоцитов, деревья);
- объекты на расфокусированных изображениях.

Следует отметить, что при выделении контуров на изображении с использованием оценки производной используемые алгоритмы являются чувствительными к наличию шумовой составляющей, которая довольно часто присутствует на обрабатываемых изображениях.

В данной статье для выделения контуров применяется вариационный метод оценки производных, который более качественно позволяет осуществлять оценку производной при наличии шумовой составляющей.

Рассмотрим математические основы метода.

Математическое представление метода оценки производных первого и второго порядка.

Предлагаемый метод основан на использовании известной из математического анализа формулы, позволяющей выразить дифференцируемую функцию через производную (обозначения очевидны) [Жиляков Е.Г., 2007]:

$$u(t) = \quad) + 1^{t} f(x)dx, t > \wedge .$$

В качестве исходного вектора значений будет выступать вектор u =

эквидистантных отсчётов сигнала, где $u\wedge = u(iAt), i = 1,..., N,$ At - интервал дискретизации.

Пусть вектор v = будет представлять собой разность, где

$$Vi = u_i - u_{i-l}, i = 1,...,N \qquad (1)$$

Будем рассматривать интервалы частотной области:

$$Q = (-\wedge, -Ц) и[Ц, \wedge) \qquad (2)$$

$$Q = [-Ц, -Ц) U [Ц, Ц)$$

$$\wedge = At * Ц = \wedge \qquad Q\wedge = At * Ц = q \qquad (3)$$

Основой построения является представление искомой функций через ее первую производную:

$$w(0 = w,\_i + j_{(i-1) At}^{t} f\{r)dz \qquad (4)$$

для At $(i -1) < t < iAt.$

Преобразуем равенство (4) к виду:

$$V = u_i - u_{i-1} = \int_{(i-1)At}^{iAt} f(A> d T \qquad (5)$$

$f (m)$ представляет собой первую производную аппроксимирующей функции.

Для получения оценки производной, которая бы была устойчива к шумам различного происхождения, используется ее представление через трансформанту Фурье:

$$f (m) = \frac{:\wedge}{2n} \int F(a)e^{\wedge T}da, \qquad (6)$$

где $F(a)$ - трансформанта Фурье

$$F(o) = I f(T)e\text{--}\wedge\wedge\wedge dr.$$
ад

В качестве области определения трансформанты Фурье предлагается использовать частотный интервал, в котором сосредоточена основная доля энергии сигнала [Жиляков Е.Г. 2010].

Соотношение, позволяющее определить интерполирующую функцию, несложно записать, если подставить выражение (6) в правую часть выражения (4).

$$u(t) = u.\wedge + \text{-}\wedge \frac{1}{2\wedge} \int_{in} F(G))(exp(jGt)-exp(jGAt(i-iy))dG)/ jco, \quad (7)$$

таким образом, интерполирующие равенства можно представить в следующем виде:

$$\frac{1}{} \int_{\circledR eQ} F(o) \frac{oAt}{oAt/} \frac{V2)}{У} \wedge x P(joAt - o,5))do = \wedge \frac{v/}{\text{а}} \quad (8)$$

Эти аппроксимирующие функции будут принадлежать к целым функциям.

Для решения поставленной задачи используется вариационный принцип минимизации евклидовой нормы первой производной:

$$\int_{-\text{ад}}^{\text{ад}} f\wedge(T)dr = \frac{1}{} \int_{\circledR eQ} |F(o) do = \min.$$

При использовании этого принципа получим функции с наименьшей скоростью изменения получаемых значений.

Так же следует отметить, что данный принцип дает возможность увеличить устойчивость вычислений к действию шумов различного происхождения, например, шумов измерения.

Решение вариационной задачи, представленной выражениями (8), (7), может быть представлено в виде:

$$F(o) \text{ -2Д}_{i=\backslash} \frac{\sin(o At Л)}{oAt/} \text{ - } \exp(-jo At(i - 0,5)) . \quad (9)$$

когда o sQ, и $F(o) = 0$ в противном случае.

Результирующую формулу для вычисления оценки первой производной можно получить при подстановке последнего представления в соотношение (6):

$$f(J) = Y.Pk \text{ *-1}_{k=!}^{N} \int \frac{1\ Q/ \sin()}{\wedge Qj\ (/2)} \cos(x(\frac{}{At} k + 0.5))dx. \quad (10)$$

Представленные в выражении (10) коэффициенты Р должны удовлетворять системе уравнений (8), на основании чего получаем:

$$Ap = v,$$

где $A = \{a_{ik}\}$ - квадратная матрица с элементами вида

$$a_{ik} = \frac{At}{\kappa Д} \int Q \frac{2\sin2(x2)}{(\text{-}У\ V2)^2} \cos(x(i - k))dx; i, k = 1,..., N. \quad (11)$$

Пусть нам заранее известен набор значений

$$= (i - 0.5)At, i = 1,..., N, \quad (12)$$

в которых есть необходимость вычислять оценку производной, тогда выражение (10) преобразуется к виду:

$$fi = f(m,) = \sum_{\wedge=1}^{N} a - \frac{1}{\wedge} \frac{1 \wedge 2}{Qj} \frac{\varphi^2 \sin((y^\wedge)}{(/2)} \cos(x(i - k'))dx. \quad (13)$$

Или для вектора / = (/i, • • - , ,/ = /(т,),

(14)

где $Bj = \{b^\wedge lk\}$,

$$bbk = -\frac{1}{n} \int_{1} \frac{Q^2 \sin()}{(\%)} \cos(x(i - k))dx. \quad (15).$$

Производные второго, третьего и более высоких порядков можно получить, если осуществить дифференцирование выражения (10):

$$\frac{df(\tau)}{dr} \geq .У2) = u^{\wedge\wedge\wedge}(г) = -V\, Bv - \frac{1 Q^2 \sin(\%)}{Qj\,(y/)} 4^\wedge x \sin\left(x\left(\frac{}{At} - k + 0.5\right)\right)dx. \quad (16)$$

Если рассматривать те же точки, что и в выражении (13), можно получить

$$B2 = \{b,k\}:b] = \frac{}{nAt}\wedge 1 \frac{1\, “^2 \sin(\%)}{Qi\,(X2)} /2\, x \sin(x(i - k))dx. \quad (17)$$

Оценка второй производной вычисляется по выражению

$$?(1)\_//■(!) \quad /-(1)\backslash Г\, z = \{n\backslash -, m = B, A^{\wedge\wedge}v = Bj. \quad (18)$$

Для определения эффективности предложенного метода оценки производных изображений были проведены эксперименты по выделению структуры лица. В них контуры, полученные с помощью различных методов, сравнивались с заранее размеченным контуром лица для данного изображения.

Исходными данными для экспериментов выступали изображения с заранее размеченными контурами лиц из специализированной базы данных LFPW (Labeled Face Parts in the Wild). Данная база является открытой и размещена на сайте группы Intelligent behavior understanding group, которая занимается машинным анализом человеческого поведения в различных ситуациях (анализ лица, анализ жестов тела). Заранее размеченный контур на данных изображениях состоит из 68 точек, общий вид разметки изображен на рисунке 1.

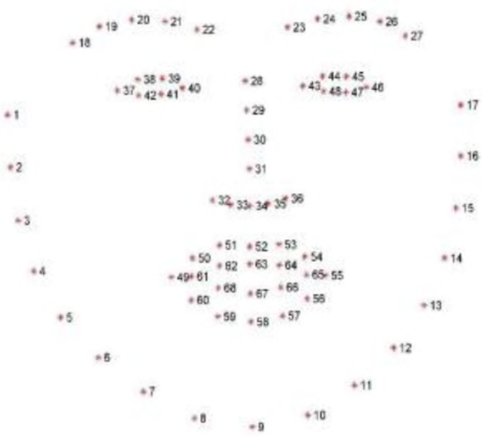

Рисунок 1 - Общий вид разметки в базе LFPW (всего 68 точек)

Отметим, что данная разметка в базе корректируется оператором под каждое конкретное изображение лица.

Рисунок 2 - Результат разметки изображения из базы LFPW

Для проведения экспериментов по определению эффективности методов выделения контуров объектов на изображении случайным образом были выбраны 100 различных изображений лиц людей из базы LFPW. На данных изображениях осуществлялось выделение контуров с помощью различных методов.

Результат эксперимента оценивался по количеству точек полученного контура, точно совпавших с точками контура, заранее размеченными на изображении.

При проведении эксперимента для определения контуров лица использовались различные вариации преобразования Кэнни, а также вариационный метод оценки производных. Преобразование Кэнни использовалось для сравнения, так как, согласно научным исследованиям, данный алгоритм является наиболее эффективным.

Результаты эксперимента представлены на рисунке 3 и в таблице 1.

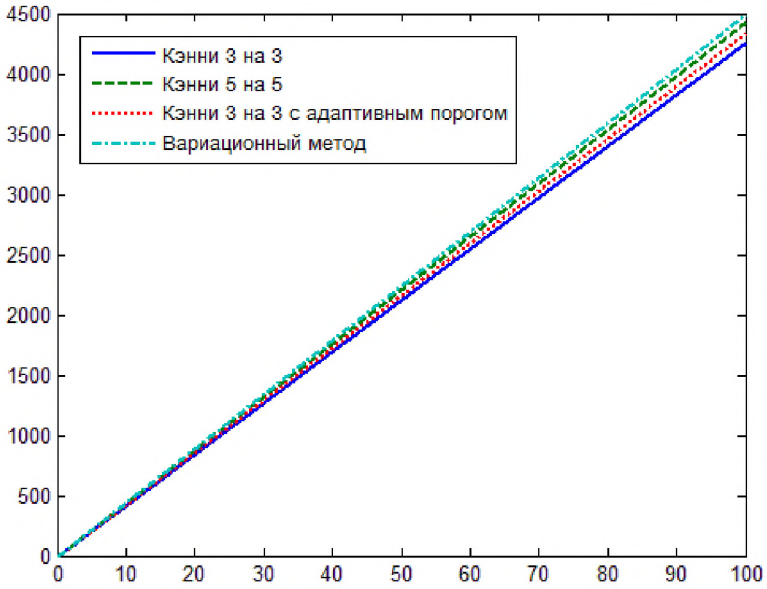

Рисунок 3 - Суммарное количество совпавших точек в зависимости от количества изображений

Таблица 1 - Минимальное, среднее и максимальное количество совпавших точек на изображении для различных методов

Метод	Минимум	Среднее	Максимум
Кэнни 3x3	23	46,1	63
Кэнни 5x5	25	48,6	66
Кэнни 3x3 с переменным порогом	26	50,4	67
Вариационный метод	28	51,9	67

По результатам эксперимента можно заключить, что все исследуемые методы хуже всего выделяют области глаз, подбородка и носа, то есть тех точек, которые располагаются внутри контура лица, исключение составляют только точки, которые располагаются во внутренних углах глаз.

На следующем этапе эксперимента осуществлялось зашумление исходных изображений путем наложения на них шумовой составляющей. Далее проводился поиск контура изображения с фиксацией попадания контура на разметку точками. Результаты эксперимента приведены на рисунке 4 и в таблице 2.

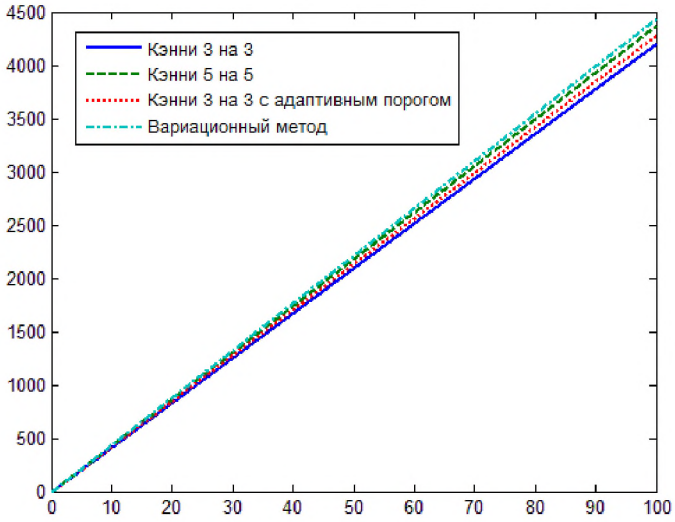

Рисунок 4 - Суммарное количество совпавших точек в зависимости от количества изображений, содержащих шумовую составляющую

Таблица 2 - Минимальное, среднее и максимальное количество совпавших точек на изображении, содержащих шумовую составляющую, для различных методов

Метод	Минимум	Среднее	Максимум
Кэнни 3x3	21	44,2	61
Кэнни 5x5	25	46,8	63
Кэнни 3x3 с переменным порогом	23	50,3	65
Вариационный метод	27	41,3	67

По результатам эксперимента можно заключить, что при присутствии шумовой составляющей на изображении метод Кэнни работает ненамного хуже, но следует заметить, что во всех случаях метода Кэнни, содержащих шумовую составляющую, появилось значительно большее количество ложных контуров, обусловленных наличием шумов. Однако при поиске контуров вариационным методом наблюдается значительно меньшее количество ложных точек.

Таким образом, вариационный метод оценки производных целесообразно применять для цифровой обработки изображений, особенно в том случае, если изображение содержит шумовую составляющую.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жиляков, Е.Г. Вариационный метод оценивания производных и интерполяции сигналов по эмпирическим данным / Е.Г. Жиляков, Т.Н. Созонова, И.Ю Мисливец // «Вестник ВГУ», сер. Системный анализ и информационные технологии, 2006, № 2, с. 70-73.

2. Созонова Т.Н. Разработка алгоритмов численного дифференцирования и интерполяции сигналов на основе частотных представлений: дисс. канд. тех. наук: 05.13.18 / Созонова Т.Н. - Белгород, 2008. - 157 с.: ил. РГБ ОД, 61 09-5/503.

Балабанова Татьяна Николаевна
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.т.н., доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий
Тел.: +7-(4722)302022
E-mail: sozonova@bsu.edu.ru

Васильева Надежда Владимировна
Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий
Тел.: 89040811326
E-mail: vasileva@bsu.edu.ru