



УДК: 004.932

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА СУБПОЛОСНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ
В. А. ГОЛОЩАПОВА, А.Н. ЗАЛИВИН

*Белгородский
государственный
национальный
исследовательский
университет*

*e-mail:
zhilyakov@bsu.edu.ru
chernomorets@bsu.edu.ru
VGoloschapova @bsu.edu.ru
zalivin@bsu.edu.ru*

В работе описаны основные этапы работы алгоритма субполосного выделения контуров на изображении и приведены результаты вычислительных экспериментов, показывающие высокую эффективность его работы

Ключевые слова: изображение, контуры на изображении, дифференциальные методы, субполосный метод выделения контуров на изображении

Цифровая обработка изображений широко используется в различных системах сбора информации и наблюдения. Системы зрительного восприятия, как показывают исследования, используют главным образом очертания контуров, а не разделение объектов по яркости, что делает задачу выделения контуров двумерных изображений актуальной. Во многих случаях наиболее информативными являются характеристики границ областей - контуров. При получении и передаче изображений возникают помехи, обусловленные неравномерной освещенностью объекта, собственными шумами сенсоров, шумами каналов связи и т.д., вследствие чего границы объектов на изображении могут быть размыты. В результате действия этих факторов возникают разрывы контуров и ложные контуры.

Для выделения контуров на изображении в настоящее время используются в основном дифференциальные методы, наиболее известные из них - это оператор Робертса и оператор Собела [1]. Известные методы обычно имеют недостаток, связанный с получением результатов на основе обработки отдельных пикселей, а потому получаемые контуры зачастую не являются непрерывными линиями. При использовании операторов Робертса и Собела выделенные контуры объектов и помехи в виде точек и линий имеют одинаковую яркость. Одной из значительных проблем оператора Робертса является его чувствительность к шуму. По сравнению с оператором Робертса, оператор Собела даёт более яркие и четкие границы, но при этом является чувствительным к синусоидальной помехе [2].

Алгоритм субполосного выделения контуров на изображении использует субполосное дифференцирование [3], в котором определяются частные производные интерполирующей функции, полученной на основе вариационного принципа минимизации энергии за пределами низкочастотной области

$$\phi(f, U) = \int_{(x, y) \in W_n} |F(x, y) - U(x, y)|^2 dx dy / 4n^2 + \int_{(x, y) \in V} |U(x, y)|^2 dx dy / 4n^2 = \min \quad (1)$$

Минимум этого функционала достигается на двумерной функции

$$z(t, v) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_{nm} a_s(t-n) a_r(v-m), \quad (2)$$

где

$$f_x(t-n) = \int_{x \in D_x} \exp(-jx(t-n)) dx / 2\pi \quad \{n = 1, \dots, N; t \in [0, N]\}. \quad (3)$$

$$f_y(v-m) = \int \exp(-jy(v-m)) dy / 2\pi \quad \{m = 1, \dots, M; v \in [0, M]\} \quad (4)$$

Соотношение для производных по любой из координат, получаются при соответствующем дифференцировании соотношения (2)

$$dz(t, v) / dt = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_{nm} d[a(t-n)] / dt \cdot a(v-m). \quad (5)$$

$$dz(t, v) / dv = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f_{nm} d[a(v-m)] / dv \cdot a(t-n). \quad (6)$$

Такой подход позволяет максимально уменьшить влияние флуктуационных помех в высокочастотной области и, как следствие, повысить вероятность правильного выделения контуров на изображении.

Алгоритм субполосного выделения контуров на основе субполосного дифференцирования [3] заключается в следующем.

Обозначим Φ - матрица значений яркости обрабатываемого изображения $\phi = U''u^k$, $i = 1, 2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, M$, L - количество обрабатываемых отсчетов при вычислении производной в одной точке, $A = 2L - 1$ - апертура дифференцирующего фильтра.

Чтобы устранить возможность появления краевого эффекта в процессе преобразований, исходное изображение дополняется нулями на M отсчетов

$$\begin{aligned} f_{nm} &= 0, \quad n = 1, 2, \dots, L-1, \quad m = 1, 2, \dots, L-1, \\ f_{u+i, M+k} &= f_k, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad k = 1, 2, \dots, M, \\ f_{nm} &= 0, \quad n = N + 2L, \quad m = M + 2L. \end{aligned}$$

Дифференцирование изображений вычисляется на основе следующих соотношений. Для каждого $i = 1, 2, \dots, N$, и $m = L, \dots, M + L$, вычисляются значения частной производной по строке [3]

$$f_{im-L}^x = \sum_{j=m-L}^{m-1} f_{ij} / (j-m) + \sum_{j=m+1}^{m+L} f_{ij} / (j-m) \quad (7)$$

Для каждого $k = 1, 2, \dots, M$ и $n = L, \dots, N + L$ вычисляются значения частной производной по столбцу [3]

$$f_{Ln-k}^y = \sum_{j=n-L}^{n-1} f_{jk} / (j-n) + \sum_{j=n+1}^{n+L} f_{jk} / (j-n). \quad (8)$$

Принятие решения о принадлежности пикселя к контуру используется пороговое значение P , которое вычисляется на основе следующего соотношения

$$p = S + \alpha \delta \quad (9)$$

где $S = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m f_{ik}}{NM}$, $\delta = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m (f_{ik} - S)}{NM}$, α - коэффициент, изменяемый (интерактивно) в интервале $[0,5; 2,5]$ [4].

Вычисление пикселей контуров объектов на изображении выполняется на основе соотношения

$$\begin{aligned} |I, I| &> P, \\ |O, h| &< p. \end{aligned} \quad (10)$$

Для проверки работоспособности алгоритма субполосного выделения контуров было проведено сравнение его работы с существующими и широко распространенными методами: метод на основе конечных разностей (градиентный); оператор Робертса; оператор Собела.

Для оценки количественных показателей контрастности выделяемых контуров использовано отношение вида

$$RC = f_c / f_{pl}, \quad (11)$$

где f_c - пиксель, признанный контурным, а f_{pl} - соответствует фону.

На рис. 1 представлено исходное изображение И1.



Рис. 1. Исходное изображение

На рис. 2 представлены результаты выделения контуров изображения И1 различными методами.

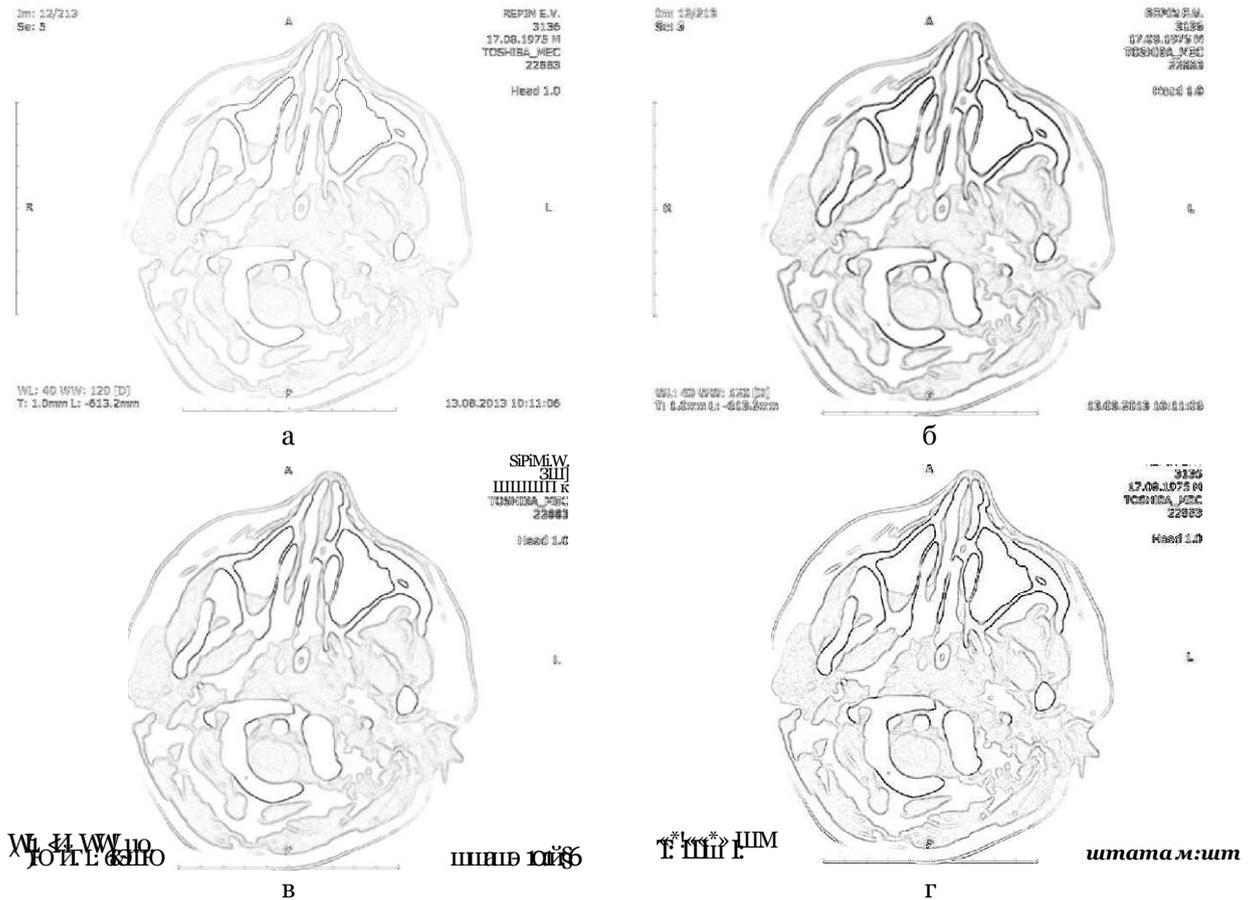


Рис. 2. Результат выделения контуров изображения: а - результат выделения контуров градиентным методом; б - результат выделения контуров оператором Робертса; в - результат выделения контуров оператором Собела; г - результат выделения контуров субполосным методом

Как видно из рис. 2, субполосный метод позволяет получить наилучший визуальный результат выделения контуров изображений по сравнению с другими методами.

В таблице 1 приведены значения показателя контрастности контуров RC (11), выделенных на изображении, приведенном на рис. 1, а также на пяти других изображениях с помощью разных методов.

Таблица 1

Показатель контрастности контуров RC , выделенных на изображениях с помощью разных методов

Изображение	Субполосный	Градиентный	Оператор Робертса	Оператор Собела
И1	2,35	1,12	1,76	1,82
И2	2,92	1,28	1,87	1,96
И3	1,58	1,06	1,14	1,29
И4	3,88	2,14	2,98	3,15
И5	1,61	1,06	1,23	1,34
И6	2,52	1,41	1,93	2,04

Данные, приведенные в табл. 1, показывают что показатель контрастности при обработке изображений субполосным методом имеет значения большие, более чем в 1,5 раза чем у других методов, что подчеркивает более эффективное применение предлагаемого метода.

Для проверки устойчивости алгоритма субполосного выделения контуров фрагментов изображений к шумам, на изображения был наложен белый шум с различным отношением сигнал/шум: 0,1 и 0,5, и для различных методов вычислено относительное

среднеквадратическое отклонение модулей градиентов, получаемых по исходному и зашумленному изображению,

$$a = \left[\frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N |f_{ik} - f'_{ik}|}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f_{ik}} \right] \quad (6)$$

где f_{ik} - массив значений результата вычисления модуля градиента исходного изображения $\Phi = f_{ik}$, $i = 1, 2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, M$. f'_{ik} - массив значений результата вычисления модуля градиента зашумленного изображения $\Phi = f'_{ik}$, $i = 1, 2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, M$.

В табл. 2, 3 приведены значения среднеквадратического отклонения модуля градиентов получаемых по исходному и зашумленному изображению с помощью разных методов при отношении сигнал/шум: 0,1 и 0,5.

Таблица 2

Среднеквадратическое отклонение модуля градиентов получаемых по исходному и зашумленному изображению с помощью разных методов при отношении сигнал/шум 0,1

Изображение	Субполосный	Градиентный	Оператор Робертса	Оператор Собела
И1	0.0876	0.2713	0.1722	0.1407
И2	0.0942	0.3533	0.1940	0.1501
И3	0.1010	1.0054	0.4939	0.3551
И4	0.4710	2.0374	0.8452	0.6466
И5	0.6690	2.3612	1.2399	0.9541
И6	0.1072	0.2754	0.1853	0.1657

Таблица 3

Среднеквадратическое отклонение модуля градиентов получаемых по исходному и зашумленному изображению с помощью разных методов при отношении сигнал/шум 0.5

Изображение	Субполосный	Градиентный	Оператор Робертса	Оператор Собела
И1	0.5132	1.4010	0.8822	0.7164
И2	0.5025	1.9943	1.0607	0.8039
И3	1.2916	5.5168	2.7064	1.9375
И4	2.4701	3.6311	4.7102	11.0842
И5	3.3484	5.0561	6.5214	12.1976
И6	0.6041	1.4475	0.9531	0.8427

Анализ данных табл. 2, 3 показывает, что алгоритм субполосного выделения контуров фрагментов изображений обладает большей устойчивостью к воздействию шумов на изображении по сравнению с другими проанализированными методами.

Таким образом, на основании сравнительных исследований работоспособности алгоритма вычисления контуров фрагментов изображений показано, что метод субполосного выделения контуров изображений позволяет получить наилучший (визуально) результат выделения контуров изображений по сравнению с другими методами, повысить контрастность контуров объектов на изображениях более чем в 1,5 раза относительно исходного и обладает меньшей чувствительностью к шумам, чем существующие методы.

Список литературы

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений в среде Matlab [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. - М.: Техносфера, 2006. - 616 с.
2. Жилияков, Е.Г. О выделении контуров объектов на изображениях земной поверхности [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, А.Н. Заливин // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. - 2011. - № 1. - Вып. 17/1. - С. 196-200.
3. Заливин, А.Н. О выделении контуров на космоснимках земной поверхности [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, А.Н. Заливин // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности: сб. ст. 11-й междунар. науч.-практ. конф. / Политехи. ун-т. - Санкт-Петербург, 2011. - С. 103-107.
4. Жилияков, Е.Г. Повышение четкости контуров и фильтрация космоснимков земной поверхности [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.Н. Заливин // Вопросы радиоэлектроники. Серия: ЭВТ. - 2010. - Вып. 1. - С. 66-72.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-07-00257-а.

**ABOUT THE EFFICIENCY OF THE ALGORITHM OF SUB-BAND EDGE DETECTION
ON THE IMAGE**

**E. G. ZHILYAKOV, A.A. CHERNOMORETS
V.A. GOLOSCHAPOVA, A.N. ZALIVIN**

*National Research
Belgorod State University*

*e-mail:
zhilyakov@bsu.edu.ru
chernomorets@bsu.edu.ru
VGoloschapova@bsu.edu.ru
zalivin@bsu.edu.ru*

In paper algorithm of subband selection of object outlines on images represented with results of computational experiments, which shows its efficiency

Keywords: image, outline objects on images, differential methods, outline objects on images subband selection method