

МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ФИЛЬТРОВ ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрены два различных подхода к выделению границ (контуров) изображений, предназначенных для совершенствования работ систем управления и для систем автоматического распознавания морских и речных судов в случае курсов на столкновение и при подходе к портам или узким каналам. В первом подходе предлагается новая диагональная маска к фильтру Собеля, выделяющая дискретные производные в двух взаимно перпендикулярных направлениях под углом к направлению сканирования. Для сопоставления результатов работы фильтра с различными масками предлагается количественная оценка. Вторым подходом связан с модификацией порогового фильтра и основан на послойной независимой обработке изображения. Алгоритмы реализованы в системе компьютерной математики Maple. Показано, что несмотря на существенное усложнение порогового фильтра, скорость работы и качество порогового фильтра заметно превосходят аналогичные характеристики фильтра Собеля.

Ключевые слова: фильтр, Собель, изображение, контур, Maple.

Постановка задачи

Современные системы навигации и управления [1], [2] включают в себя как одну из важных составных частей программные комплексы выделения контуров объектов. Одним из наиболее востребованных и известных методов является алгоритм Собеля, основанный на дискретном дифференцировании изображения с помощью специальной матрицы-маски. Известны работы по улучшению работы алгоритма [3] — [19] и практике его применения в различных практических проблемах и задачах. Наиболее успешной являются работы Щарра [20], предложившего свою матрицу-маску, отличающуюся от маски Собеля несколько иным (но подобным) заполнением матрицы маски. В настоящей работе предлагается принципиально иной вариант маски к алгоритму Собеля. Для оценки качества работы алгоритма и его скорости применяется так называемый пороговый фильтр, или фильтр без маски [21], [22].

Фильтр Собеля и его модификация

Фильтр Собеля в его первоначальной трактовке [20] основан на обработке изображения специальными масками A_1 и A_2 , действие которых фактически равносильно дискретному дифференцированию функции распределения интенсивностей пикселей, находящихся под ней. Эти матрицы взаимно транспонированные и имеют вид

$$A_1 = M = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad A_2 = M^T = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Изображение представляет собой матрицу интенсивностей пикселей. Первая матрица собирает информацию вокруг пикселя a_{ij} на строке i и столбце j изображения в виде суммы

$$X = \sum_{k=1}^3 \sum_{m=1}^3 A_{1,km} b_{km},$$

где b_{km} — элементы подматрицы изображения вокруг пикселя с интенсивностью a_{ij} .

Аналогичную сумму, имеющую смысл дискретной производной по направлению, перпендикулярному первому собирает вторая транспонированная матрица

$$Y = \sum_{k=1}^3 \sum_{m=1}^3 A_{2,km} b_{km}.$$

Затем интенсивность a_{ij} заменяется новым значением $\sqrt{X^2 + Y^2}$.

В настоящей работе предлагается альтернативный диагональный вариант масок:

$$A_1 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & 0 \\ -2 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & -2 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Выделение дискретных производных здесь производится не вдоль осей x и y , а под углом 45° к ним. При этом матрицы не являются взаимно транспонированными. Пример обработки изображения приведен на рис. 1 и 2.

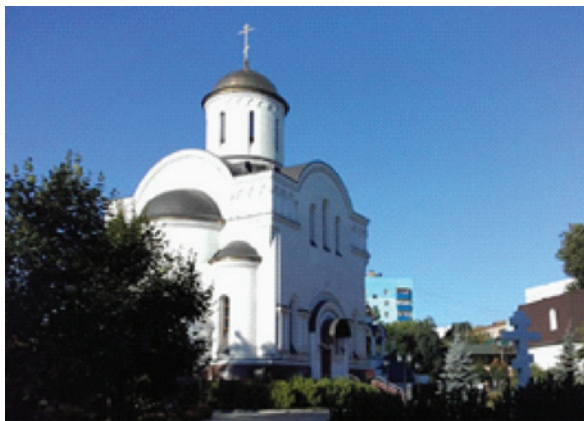


Рис. 1. Исходное изображение



Рис. 2. Результат обработки с маской (2)

Результаты обработки изображения с масками (1) и (2) различаются не сильно. Сумма модулей элементов матриц (2) равна десяти, а матриц (1) — восьми. Отсюда интенсивность линий в модифицированном варианте больше. Для более точного сопоставления результатов можно ввести поправочный коэффициент $4/5$ для всех пикселей изображения. За меру сравнения качества работы фильтра Собеля с различными видами масок можно принять параметр концентрации, имеющий смысл среднего минимума интенсивности по h строкам:

$$\gamma = \frac{1}{h} \sum_i^h \min(\alpha_{ij}),$$

где число столбцов матрицы интенсивности изображения равно w (предполагается, что черный цвет имеет интенсивность, равную нулю).

Опыт показывает, что фильтр с матрицей маски диагонального вида (2) имеет лучшие (меньшие) показатели по сравнению с матрицей (1). Так, для изображения шириной $w = 100$ px это, соответственно, $\gamma_{(2)} = 0,128$ и $\gamma_{(1)} = 0,203$. Для изображений большего размера разрыв показателей растет. При ширине $w = 400$ px имеем $\gamma_{(2)} = 0,0614$ и $\gamma_{(1)} = 0,125$.

Отметим, что у фильтра Собеля есть одна характерная черта — он выделяет не только контуры, но и полутона изображений, тени. С точки зрения художественной, это, конечно, только украшает картину. Однако, если целью фильтрации является получение упрощенного изображения для его дальнейшего распознавания или коррекции (например, нейронной сетью Хопфилда), то такое «украшение» образа является только помехой, некоторым дефектом фильтрации. Качество фильтрации *edge detection* обычно сказывается на контрастности контура, и полутона снижают качество работы фильтра. Кроме того, скорость работы фильтра Собеля с любой матрицей маски невелика. Для динамических задач, например, для распознавания движущегося судна или, тем более, самолета, он пригоден только в случае достаточно быстродействующих компьютеров. Фильтру Щарра [20] присущи те же особенности. Известен пороговый фильтр, лишенный недостатков алгоритмов на основе дискретного дифференцирования изображения [21], [22].

Пороговый фильтр и его модификация

Алгоритм фильтра реализован в системе компьютерной математики Maple [23], [24]. Используется специальный пакет этой системы ImageTools, предназначенный для обработки изображений. Принята следующая система обозначений: белый цвет пикселя соответствует интенсивности 1, черный — 0. Пороговый фильтр работает по принципу сканера. Сначала изображение переводится в черно-белое и применяется пороговое преобразование пикселей с заранее выбранным порогом H . Значение порога подбирается опытным путем, обычно, для изображений со средней контрастностью $H = 0,5$. Затем пиксели, интенсивность которых меньше порога, переводятся в черные, остальные — в белые. Сканируя построчно изображение попиксельно в одном направлении, фильтр выделяет в каждой строке границы частей изображения, заменяя внутренние его части белыми пикселями и расставляя на границах черные. Аналогичное сканирование производится в перпендикулярном направлении. Затем результаты складываются. В системе Maple это эквивалентно перемножению интенсивностей пикселей. Скорость фильтра, оценка которой выполнена в работе [21], значительно превышает скорость работы фильтра Собеля и эффект от его применения растет с увеличением размера изображения. Однако и у этого фильтра имеется заметный недостаток. При обработке изображений со слабо выделенными границами он плохо работает, пропуская совершенно очевидные границы (рис. 3).



Рис. 3. Пороговая фильтрация



Рис. 4. Модификация пороговой фильтрации

Для улучшения работы алгоритма предлагается операцию перевода изображения в черно-белое (команда RGBtoGray в Maple) заменить на операцию расслоения (GetLayer) цветного изображения на три слоя, с дальнейшей работой с каждым слоем в отдельности. Затем результаты работы с каждым слоем следует сложить. В цикле по строкам и столбцам имеем $\alpha_{ij} = \alpha_{ij}^{(1)} \alpha_{ij}^{(2)} \alpha_{ij}^{(3)}$, где $\alpha_{ij}^{(k)}$ — интенсивность пикселя ij слоя: $k = 1, 2, 3$. Изображение (рис. 4) получается тщательно проработанным и без теней, присущих фильтру Собеля. Сравнивая скорость работы фильтров на одном и том же объекте, но с разными размерами W (в пикселях по горизонтали — рис. 5), следует отметить, что запас быстродействия у порогового фильтра, несмотря на то, что модификация в три раза увеличила время счета, еще значителен по сравнению с фильтром Собеля. Скорость работы фильтра особенно важна в работе систем

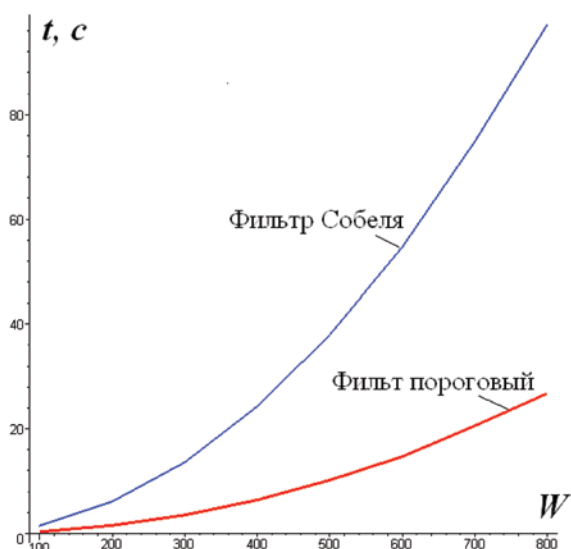


Рис. 5. Сравнение времени работы фильтров

распознавания при опасном сближении морских судов в сложных погодных условиях и, тем более, в авиации.

Выводы

1. Предложены и исследованы варианты алгоритмов выделения контуров изображений. Количественное сравнение качества работы фильтра Собеля с различными вариантами масок проводится с помощью скалярного коэффициента концентрации.

2. Проведенные опыты с несколькими вариантами изображений показывают, что маска диагонального вида выделяет более четкий контур. Пороговый фильтр принципиально отличается от фильтра Собеля и по качеству работы, и по скорости. С увеличением размера изображения преимуществ порогового фильтра только увеличиваются.

3. Система компьютерной математики Maple использована в работе как удобная платформа для моделирования. Практическое использование рассмотренных алгоритмов предполагает применение алгоритмических языков высокого уровня. Maple-программа для пороговой фильтрации доступна по адресу [25], программа для фильтра Собеля с матрицей маски (1) описана в источнике [23].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нырков А. П. Автоматизированное управление транспортными системами / А. П. Нырков, С. С. Соколов, А. А. Шнуренко. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013.
2. Кузнецов В. Н. Алгоритм построения вектора признаков при распознавании судов / В. Н. Кузнецов, А. А. Матвеев, А. П. Нырков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 3 (31). — С. 187–192.
3. Демин А. Ю. Распараллеливание алгоритма выделения границ объектов на основе структурно-графического представления / А. Ю. Демин, В. А. Дорофеев // Известия Томского политехнического университета. — 2013. — Т. 323. — № 5. — С. 159–164.
4. Гашиников М. В. Методы компьютерной обработки изображений / М. В. Гашиников, Н. И. Глумов, В. А. Сойфер. — М.: Физматлит, 2003. — 784 с.
5. Ying-Dong Q. A fast subpixel edge detection method using Sobel–Zernike moments operator / Q. Ying-Dong, C. Cheng-Song, C. San-Ben, L. Jin-Quan // Image and Vision Computing. — 2005. — Vol. 23. — № 1. — Pp. 11–17.
6. Yang W. Efficient registration of optical and infrared images via modified Sobel edging for plant canopy temperature estimation / W. Yang, X. Wang, B. Moran, A. Wheaton [etc.] // Computers & Electrical Engineering. — 2012. — Vol. 38. — № 5. — Pp. 1213–1221.
7. Kittler J. On the accuracy of the Sobel edge detector / J. Kittler // Image and Vision Computing. — 1983. — Vol. 1. — Issue 1. — Pp. 37–42.
8. Topal C. Edge Drawing: A combined real-time edge and segment detector / C. Topal, C. Akinlar // Journal of Visual Communication and Image Representation. — 2012. — Vol. 23. — № 6. — Pp. 862–872.
9. Ватутин Э. И. Программная оптимизация оператора Собеля с использованием SIMD-расширений процессоров семейства x86 / Э. И. Ватутин, С. Ю. Мирошниченко, В. С. Титов // Телекоммуникации. — 2006. — № 6. — С. 12–16.
10. Арбузов С. А. Использование градиентных фильтров для автоматизированного дешифрирования антропогенных объектов / С. А. Арбузов // Вестник Сибирской государственной геодезической академии. — 2011. — № 15 (2). — С. 62–66.
11. Тараненко С. С. Методика подготовки данных для восстановления трёхмерной структуры сцены / С. С. Тараненко, О. Ф. Ковалёв // Вестник Донского государственного технического университета. — 2014. — Т. 14. — № 3 (78). — С. 145–151.
12. Меженин А. В. Реконструкция трехмерных моделей по растровым изображениям / А. В. Меженин, В. Т. Тозик // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2007. — № 45. — С. 203–207.
13. Бойко Д. А. Метод визуализации патологических структур на маммограммах / Д. А. Бойко, А. Е. Филатова // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. — 2013. — № 39 (1012). — С. 9–14.

14. Topal C. Edge drawing: a heuristic Approach to Robust Real-Time Edge Detection / C. Topal, C. Akinlar, Y. Genc // Pattern Recognition (ICPR), 2010 20th International Conference on. — IEEE, 2010. — Pp. 2424–2427.
15. Topal C. Edge drawing: a combined real-time edge and segment detector / C. Topal, C. Akinlar // Journal of Visual Communication and Image Representation. — 2012. — Vol. 23. — №. 6. — Pp. 862–872.
16. Perona P. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion / P. Perona, J. Malik // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on. — Vol. 12. — №. 7. — Pp. 629–639.
17. Kanopoulos N. Design of an image edge detection filter using the Sobel operator / N. Kanopoulos, N. Vasanthavada, R. L. Baker // Solid-State Circuits, IEEE Journal. — 1988. — Vol. 23. — №. 2. — Pp. 358 – 367.
18. Yasri I. Performance analysis of FPGA based Sobel edge detection operator / I. Yasri, N. H. Hamid, V. V. Yap // Electronic Design. ICED. International Conference. — 2008. — Pp. 1–4.
19. Wang W. Reach on Sobel operator for vehicle recognition / W. Wang // Artificial Intelligence, 2009. JCAI '09. International Joint Conference on. — IEEE, 2009. — Pp. 448–451.
20. Оператор Собеля // Википедия. 2013. Дата обновления: 13.03.2013. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=53441014> (дата обращения: 19.08.2015).
21. Kirsanov A. Processing Contours / A. Kirsanov, A. Vavilin, Jo K-H. // Proceedings. The 5th International Forum on Strategic Technology. Oct. 13 – 15. — Ulsan, Korea, 2010.
22. Груничев А.В. Детектирование границ объекта методом пороговой фильтрации карты насыщенности цветного изображения / А. В. Груничев, Д. В. Демкин, М. Н. Кирсанов // Инновационные технологии: Материалы междунар. науч.-практ. конф. — М.: Московский ин-т электроники и математики НИУ ВШЭ, 2013. — Т. 2. — С. 183–187.
23. Кирсанов М. Н. Maple и Maple. Решение задач механики / М. Н. Кирсанов. — СПб.: Изд-во «Лань», 2012. — 512 с.
24. Голоскоков Д. П. Практический курс математической физики в системе Maple / Д. П. Голоскоков. — СПб.: Изд-во «ПаркКом», 2010. — 644 с.
25. <http://vuz.exponenta.ru/b-filter.rar> (дата обращения: 19.08.2015).

MODIFICATION AND ANALYSIS OF EDGE DETECTION FILTERS

We considered two different approaches to the edge detecting of images intended for the improvement of work management systems and systems for automatic recognition of marine and river vessels in case of crash courses and at the approach to the ports or narrow channels. In the first approach proposes a new diagonal mask to the Sobel filter, allocating discrete derivative in two mutually perpendicular directions at an angle to the scanning direction. The quantitative assessment to compare the results of the filter operation with different masks is proposed. The second approach is associated with a modification of the threshold filter based on layer-by-layer independent image processing. The algorithms are implemented in the computer algebra system Maple. It is shown that despite significant complication of a threshold filter, the speed and the quality threshold filter markedly superior to similar characteristics of the Sobel filter.

Keywords: filter, edge detecting, Irvin Sobel, Maple.

REFERENCES

1. Nyrkov, A. P., S. S. Sokolov, and A. A. SHnurenko. *Avtomatizirovannoe upravlenie transportnymi sistemami*. Sankt-Peterburg: Izd-vo GUMRF imeni admirala S.O. Makarova, 2013.
2. Kuznecov, V. N., A. A. Matveev, and A. P. Nyrkov. “The signs detection algorithm in ship recognition solution.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(31) (2015): 187-192.
3. Demin, A. YU., and V. A. Dorofeev. “Parallelization of algorithm for detecting borders on the basis of structural and graphic presentation.” *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University* 323.5 (2013): 159-164.
4. Gashnikov, M. V., N. I. Glumov, and V. A. Sojfer. *Metody komp'yuternoj obrabotki izobrazhenij*. M.: Fizmatlit, 2003.
5. Ying-Dong, Q., C. Cheng-Song, C. San-Ben, and L. Jin-Quan. “A fast subpixel edge detection method using Sobel–Zernike moments operator.” *Image and Vision Computing* 23.1 (2005): 11-17.

6. Yang, W., X. Wang, B. Moran, A. Wheaton, and N. Cooley. "Efficient registration of optical and infrared images via modified Sobel edging for plant canopy temperature estimation." *Computers & Electrical Engineering* 38.5 (2012): 1213-1221.
7. Kittler, J. "On the accuracy of the Sobel edge detector." *Image and Vision Computing* 1.1 (1983): 37-42.
8. Topal, C., and C. Akinlar. "Edge Drawing: A combined real-time edge and segment detector." *Journal of Visual Communication and Image Representation* 23.6 (2012): 862-872.
9. Vatutin, E.H. I., S. YU. Miroshnichenko, and V. S. Titov. "Programmnyaya optimizaciya operatora Sobela s ispol'zovaniem SIMD-rasshirenij processorov semejstva x86." *Telecommunications and Radio Engineering* 6 (2006): 12—16.
10. Arbuzov, S. A. "Ispolzovanie gradientnyh filtrov dlya avtomatizirovannogo deshifirovaniya antropogennyh oektov." *Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj geodezicheskoy akademii* 15-2 (2011): 62-66.
11. Taranenko, S. S., and O. F. Kovalyov. "Data preparation methods for recovering three-dimensional structure of the scene." *Vestnik of DSTU* 14.3(78) (2014): 145-151.
12. Mezhenin, A. V., and V. T. Tozik. "Rekonstrukciya trekhmernyh modelej po rastrovym izobrazheniyam." *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics* 45 (2007): 203-207.
13. Bojko, D. A., and A. E. Filatova. "The method of visualization of pathological structures of mammogram." *Vestnik Nacionalnogo tekhnicheskogo universiteta Harkovskij politekhnicheskij institut. Seriya: Informatika i modelirovanie* 39(1012) (2013): 9-14.
14. Topal, C., C. Akinlar, Y. Genc. "Edge Drawing: A Heuristic Approach to Robust Real-Time Edge Detection." *Pattern Recognition (ICPR), 2010 20th International Conference on*. IEEE, 2010: 2424-2427.
15. Topal, C., and C. Akinlar. "Edge drawing: a combined real-time edge and segment detector." *Journal of Visual Communication and Image Representation* 23.6 (2012): 862–872.
16. Perona, Pietro, and Jitendra Malik. "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion." *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 12.7 (1990): 629-39.
17. Kanopoulos, Nick, Nagesh Vasanthavada, and Robert L. Baker. "Design of an image edge detection filter using the Sobel operator." *Solid-State Circuits, IEEE Journal* 23.2. (1988): 358 – 367.
18. Yasri, I., N. H. Hamid, and V. V.Yap. "Performance analysis of FPGA based Sobel edge detection operator." *Electronic Design. ICED. International Conference on*. IEEE, 2008: 1-4.
19. Wang, W. "Reach on Sobel operator for vehicle recognition." *Artificial Intelligence, 2009. JCAI '09. International Joint Conference on*. IEEE, 2009: 448 - 451.
20. Operator Sobelya//Vikipediya. 2013-2013. Data obnovleniya: 13.03.2013. Web. 19 Aug. 2015 <<http://ru.wikipedia.org/?oldid=53441014>>.
21. Kirsanov, A., A. Vavilin, and Jo K-H. "Processing Contours." *Proceedings. The 5th International Forum on Strategic Technology. Oct. 13-15. Ulsan, Korea, 2010*.
22. Grunichev, A. V., D. V. Demkin, and M. N. Kirsanov. "Detektirovanie granic ob'ekta metodom porogovoj fil'tracii karty nasyshchennosti cvetnogo izobrazheniya." *Innovacionnye tekhnologii: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Tom 2./Gl. red. S.U. Uvajsov. M.:MIEHM NIU VSHEH, 2013: 183-187*.
23. Kirsanov, M. N. *Maple i Maple. Reshenie zadach mekhaniki*. SPb.: Izd-vo Lan, 2012.
24. Goloskokov, D. P. *Prakticheskij kurs matematicheskoy fiziki v sisteme Maple*. SPb.: Izd-vo ParkKom, 2010.
25. Web. 19 Aug. 2015 <<http://vuz.exponenta.ru/b-filter.rar>>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кирсанов Михаил Николаевич –
доктор физико-математических наук, профессор.
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
C216@Ya.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kirsanov Mikhail Nikolaevich –
doctor of physico-mathematical sciences, professor.
National Research University "Moscow Power
Engineering Institute".
C216@Ya.ru