

Рисунок 3 – Экранная форма для просмотра информации о преступлениях

Внедрение АРМ следователя в делопроизводство уголовного процесса позволит:

- Вести учет по уголовным делам, материалам проверок и участникам процесса, контролировать сроки хода расследования и вести календарь судебной работы.
- Организовать удобную работу с информацией и тем самым повысить качество и эффективность работы следователя.

Л.В. Романов, М.А. Кудрина

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ И ВЕКТОРИЗАЦИИ МЕТОДОМ ХАФА

(Самарский университет)

Системы компьютерного зрения и распознавания образов широко входят в обыденную жизнь современного человека. На практике при обработке цифровых изображений часто возникает проблема обнаружения простых фигур, таких как прямые или окружности. Например, поиск прямолинейных сегментов изображений может использоваться в задаче навигации робота в незнакомой окружающей обстановке на основе видеоинформации от монокулярного источника. Изначально такие системы, применялись исключительно в военных и медицин-



ских целях, но сейчас существует спектр задач, где компьютерное зрение позволяет эффективно решать задачи управления и оповещения.

Методы выделения границ объектов на изображении основываются на производных различных степеней, т.е. на перепадах яркости пикселей в границах объектов на изображении.

Для решения задачи выделения границ и векторизации изображений была разработана автоматизированная система. Автоматизированная система позволяет выделять границы следующими методами:

- метод на основе градиента;
- метод на основе лапласиана;
- оператор Собеля;
- оператор Прюитта;
- оператор Робертса;
- оператор Шарра;
- метод Кэнни;
- метод Марр-Хилдрет.

Также система позволяет проводить векторизацию изображений с помощью преобразования Хафа.

Система предоставляет возможность пользователю загружать изображения с помощью соответствующего диалогового окна или с помощью функции Drag-and-drop. Далее пользователю предоставляется возможность выбора одного из вышеперечисленных методов обработки изображения, задания параметров обработки: выбора способа задания маски для Гауссовского размытия – стандартная матрица или непосредственное задание  $\sigma$  для расчета этой матрицы; возможность отключения Гауссовского размытия; задание верхнего и нижнего порогов фильтрации в пределах от 0 до 255. После обработки изображения пользователь может сохранить его в выбранном формате: \*.jpg, \*.png, \*.bmp и \*.gif. Кроме этого система предоставляет возможность просмотра справочной информации.

Система реализована в среде Microsoft Visual Studio 2017 на языке программирования C# и функционирует под управлением операционной системы Windows 7 и выше.

Среди выше перечисленных методов выделения границ наиболее эффективным признан метод Кэнни.

Оператор Кэнни в дисциплине компьютерного зрения – оператор обнаружения границ изображения. Был разработан в 1986 году Джоном Кэнни и использует многоступенчатый алгоритм для обнаружения широкого спектра границ в изображениях [1].

Этапы алгоритма выделения границ методом Кэнни:

#### **1 этап. Сглаживание**

Сглаживание функцией Гаусса (фильтром Гаусса) происходит посредством применения процедуры фильтрации. Маской фильтра является матрица, заполненная по нормальному закону распределения.



Уравнение для ядра фильтра Гаусса размером  $(2k+1) \times (2k+1)$  определяется следующим образом:

$$H_{ij} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(i-(k+1))^2 + (j-(k+1))^2}{2\sigma^2}}, 1 \leq i, j \leq (2k+1). \quad (1)$$

Маска «скользит» по изображению попиксельно, умножая значения яркости данного пикселя на значение ячейки матрицы фильтра и суммируя полученные значения. В итоге получается сглаженное изображение, в котором количество шума уменьшено и границы приближены к ступенчатым [2].

## 2 этап. Поиск градиентов

Поиск основан на свертке изображения целочисленными фильтрами в вертикальном и горизонтальном направлениях. Такими фильтрами в операторе Кэнни являются фильтры Собеля. Границы отмечаются там, где градиент изображения приобретает максимальное значение [2].

Ядро горизонтального и вертикального фильтра Собеля:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Модуль градиента вектора определяется следующим образом:

$$|\nabla f| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}. \quad (3)$$

Направление вектора градиента находится следующим образом:

$$\alpha(x, y) = \operatorname{arctg}\left(\frac{G_y}{G_x}\right), \quad (4)$$

где  $\alpha(x, y)$  – угол между направлением  $\nabla f$  в точке  $(x, y)$  и осью  $x$ .

## 3 этап. Подавление не-максимумов

Следующий этап алгоритма, это подавление не-максимумов. Кэнни ввел это понятие, означающее, что пикселями границ объявляются пиксели, в которых достигается локальный максимум градиента яркости в направлении вектора градиента. Значения направлений вектора градиента яркости округляются до значений кратных 45 градусам [2].

Условия объявления пикселями границ:

- а) для  $\alpha = 0^\circ$  и  $180^\circ$ :  $\nabla f(x-1, y) < \nabla f(x, y) > \nabla f(x+1, y)$ ;
- б) для  $\alpha = 90^\circ$  и  $270^\circ$ :  $\nabla f(x, y-1) < \nabla f(x, y) > \nabla f(x, y+1)$ ;
- в) для  $\alpha = 45^\circ$  и  $225^\circ$ :  $\nabla f(x-1, y+1) < \nabla f(x, y) > \nabla f(x+1, y-1)$ ;
- г) для  $\alpha = 135^\circ$  и  $315^\circ$ :  $\nabla f(x+1, y+1) < \nabla f(x, y) > \nabla f(x-1, y-1)$ .

## 4 этап. Двойная пороговая фильтрация

Пиксели со значениями яркости больше или равными верхнему порогу могут считаться достоверными граничными пикселями. Пиксели со значениями яркости меньше или равными нижнему порогу, будут подавлены. Пиксели значения яркостей, которых попали в область между верхним и нижним порогом, принимают фиксированное среднее значение и их отношение к границе будет уточнено на следующем этапе [2].



### 5 этап. Трассировка области неоднозначности

Задача сводится к выделению пикселей, получивших на предыдущем этапе промежуточное значение и отнесению их к границе или подавлению.

Пиксель добавляется к группе, если он соприкасается с ней по одному из восьми направлений.

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{P(x,y)} = 100 \Rightarrow P(x,y) = \text{buf}P \\ I_{P(x+k,y+k)} = 255 \\ \alpha(x,y) = \alpha(x+k,y+k) \end{array} \right\} \Rightarrow I_{P(x,y)} = 255, \quad (5)$$

где  $k \in \{-1; 0; 1\}$ .

Если для исследуемого пикселя выполняются описанные выше условия, то он становится граничным пикселем, то есть ему присваивается яркость 255 [2].

### Разработка автоматизированной системы

На рисунке 1 можно видеть скриншот разработанной автоматизированной системы. В верхней и левой частях расположены элементы, позволяющие настраивать параметры обработки (1), имеется панель, на которой отображаются промежуточные этапы обработки (2), и результат обработки (3).

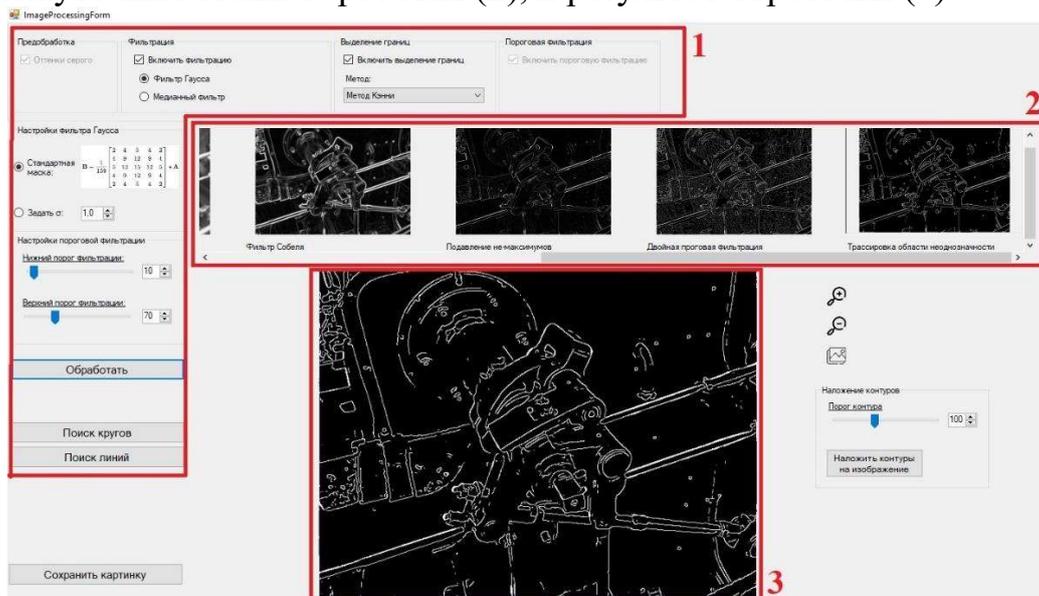


Рисунок 1 – Скриншот разработанной системы

На рисунке 2а представлен результат выделения границ методом Кэнни с помощью реализованной программы, а на рисунке 2б – результат выделения границ детектором Кэнни, который удалось найти в интернете и который взят нами в качестве эталонного.

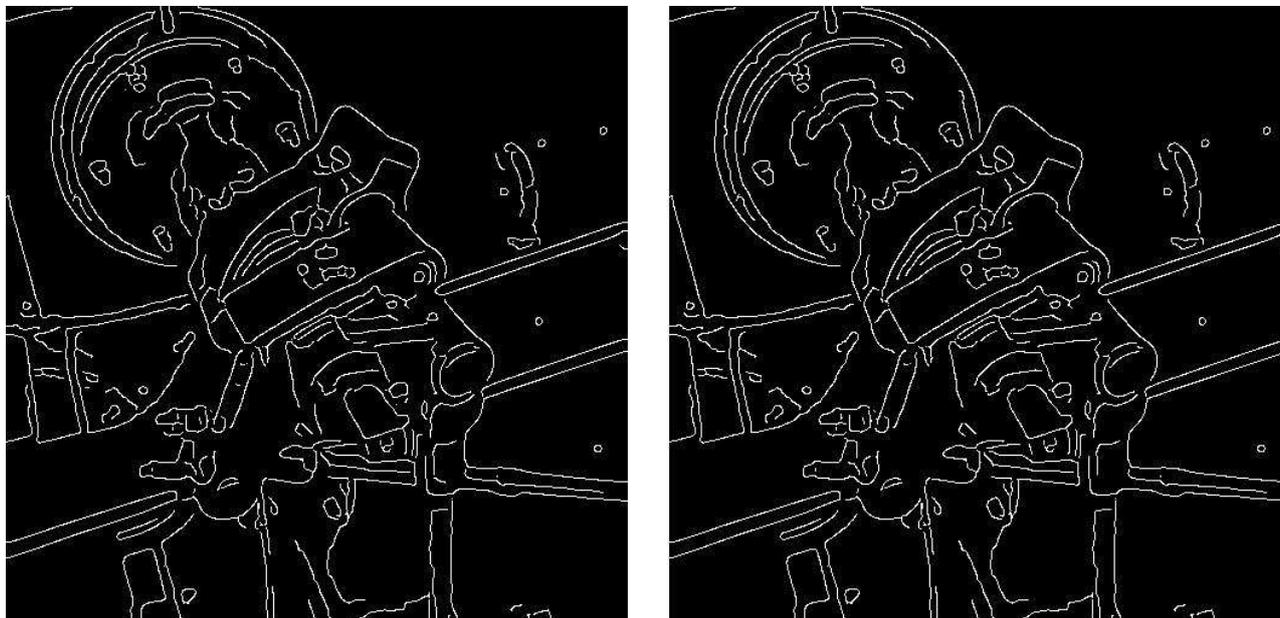
### Численная оценка качества выделения границ

Для численной оценки качества выделения границ используется комплексный критерий [3]:

$$D4 = \sqrt{(P_{co} - 1)^2 + (IMP - 1)^2 + P_{nd} + P_{fa}}. \quad (6)$$



Данный критерий может принимать значения из диапазона [0..2]. Детектор, для которого данный критерий имеет значение 0, является идеальным. И наоборот, детектор, значение критерия для которого равно 2, считается наихудшим.



а - с помощью разработанной системы

б - результат из интернета в качестве эталона

Рисунок 2 – Выделение границ методом Кэнни

Для вычисления данного критерия используются следующие метрики:

- 1) Вероятность верного детектирования:

$$P_{co} = \frac{TP}{\max(N_I, N_B)}, \quad (7)$$

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 определенных граничных точек объекта.

- 2) Вероятность ошибки первого рода:

$$P_{nd} = \frac{FN}{\max(N_I, N_B)}, \quad (8)$$

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

- 3) Вероятность ошибки второго рода:

$$P_{fa} = \frac{FP}{\max(N_I, N_B)}, \quad (9)$$

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

- 4) Для оценки качества выделения границ, которые могут быть смещены, применяется метрика Прэтта имеющая вид [3]:



$$IMP = \frac{1}{\max(N_I, N_B)} \sum_{i=1}^{N_B} \frac{1}{1 + \alpha \times d_i}, \quad (10)$$

где  $\alpha$  – 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.

### Проведение эксперимента

Для изображений контуров на рисунке 2 получаем численные значения метрик:  $P_{co} = 0,981$ ;  $P_{nd} = 0,001$ ;  $P_{fa} = 0,015$ ;  $IMP = 1,057$ , а значение критерия D4 при этом равно 0,14. Таким образом значение комплексного критерия D4 довольно близко к нулю, значит выделение границ можно считать качественным.

Также по рисунку 2 визуально видно, что результаты, полученные с помощью реализованной системы, очень похожи на результаты, найденные в интернете. Но нам не были заранее известны входные параметры обработки для эталона. То есть неизвестно, с какими порогами производилось выделение, с какой настройкой производилось размытие по Гауссу, поэтому полностью в точности такой же результат получить довольно сложно. Однако удалось получить результаты, совсем немного отличающиеся от найденного, в чем также можно убедиться и по полученной численной оценке.

Согласно методике, изложенной в РТМ 25139-74 для доверительной погрешности  $P_d = 0,95$  число испытаний равно 29 [5].

Проведем вычисления для других 28 изображений. Для проведения эксперимента были использованы изображения из набора BSDS (Berkley Segmentation Data Set) [6]. Для вычисления значений метрик были использованы изображения, содержащие контуры объектов, сегментированных человеком. Контуры же, полученные с помощью разработанной системы, на каждом изображении визуально согласуются с ожидаемым результатом.

Полученные значения комплексной метрики D4 для каждого изображения можно видеть на графике на рисунке 3.

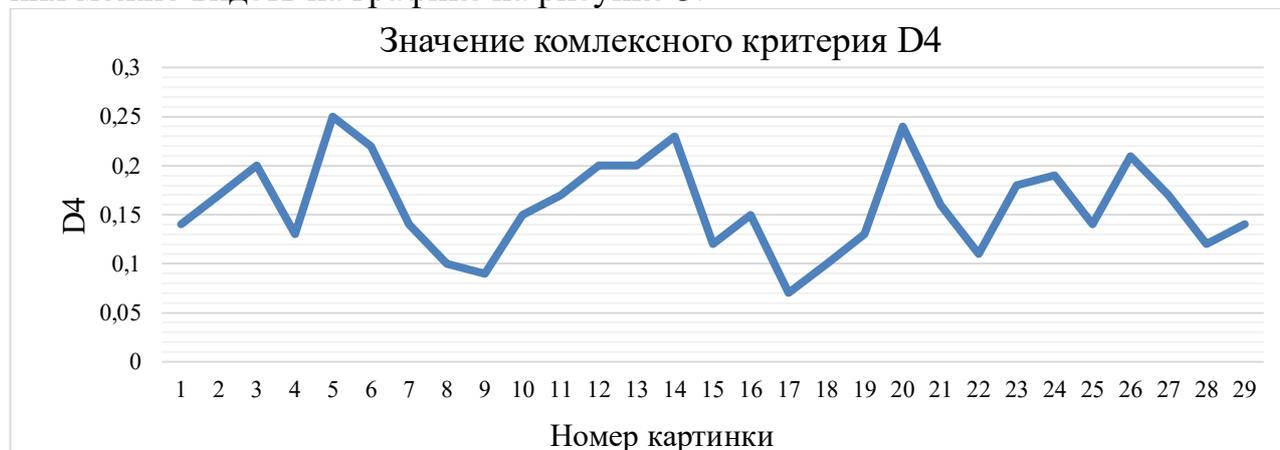


Рисунок 3 – График комплексного критерия D4 для 29 изображений

По графику видно, что минимальное значение комплексного критерия было 0,07, максимальное – 0,25, а среднее – 0,16, что довольно близко к нулю, а



значит выделение границ с помощью разработанной системы можно считать качественным.

Но в целом не стоит также забывать о том, что для каждого изображения нужно подбирать свои оптимальные параметры выделения границ. Одни и те же значения параметров не могут быть универсальным и использоваться для всех изображений.

### Литература

- 1 Оператор Кэнни [Электронный ресурс] // Википедия: электронная энциклопедия. 2001-2021. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Оператор\\_Кэнни](https://ru.wikipedia.org/wiki/Оператор_Кэнни) (дата обращения: 20.03.2021).
- 2 Клюев А. В., Аристов Г. В. Определение параметров микроструктуры металлов методами компьютерного зрения (Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, Пермь).
- 3 Прэтт У. Цифровая обработка изображений [Текст]/У. Прэтт. – М.: Мир, 1982.-790 с.
- 4 Gonzaga A. Method to Evaluate the Performance of Edge Detector [Текст]/A. Gonzaga.//The XXII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing. – 2009. – С. 87-91 с.
- 5 Методы нормирования метрологических характеристик, оценки и контроля характеристик погрешностей средств статистических измерений. РТМ 25139-74 [Текст] // Минприбор, 1974. – 76 с.
- 6 The Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark [Электронный ресурс]. – URL: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds/> (дата обращения: 15.04.2021).

П.В. Семагина, Л.С. Зеленко

## ПОДСИСТЕМА ЗАГРУЗКИ СТАНЦИОННЫХ УВЕДОМЛЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОТОВНОСТИ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ К ВЫРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

(Самарский университет)

Электроэнергетика является наиболее важной отраслью энергетики, она включает в себя производство, передачу и сбыт электроэнергии [1]. Электроэнергию вырабатывает большое количество энергетических компаний, которые имеют статус участника оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ). Все они должны вырабатывать определенные объемы мощности и электроэнергии, которые определяет Системный оператор единой энергетической системы (СО ЕЭС) России.

Одной из основных функций СО ЕЭС является планирование энергетических режимов работы энергообъектов. Под планированием понимается опреде-