

## МЕТОДОЛОГИЯ ДВУХКАСКАДНОГО МАСКИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

---

Рассматриваются вопросы сравнительной оценки наиболее распространенных методов маскирования. Показывается использование ранее обоснованных мер количественной оценки качества детектирования и локализации контуров для сравнения методов. Приводятся результаты эксперимента по использованию методов маскирования. Обосновывается необходимость применения каскадной методологии маскирования в задачах обработки изображений. Ключевые слова: метод маскирования, количественная оценка, качество детектирования и локализации.

### 1. Постановка проблемы и анализ литературы

В различных прикладных сферах, связанных с обработкой изображений, необходимо учитывать семантическую составляющую последних. Здесь наиболее семантически значимой является информация о контурах, границах объектов. Одной из базовых составляющих семантической обработки есть методы маскирования. Такие технологии позволяют выделять информативные сведения о структурных характеристиках объектов в изображениях.

Для обнаружения контуров существует большое разнообразие технологий и методов маскирования изображений. Одним из эффективных подходов для построения методов маскирования являются методы на основе построения градиента [1 - 3, 6]. Градиентные (дифференциальные) методы основаны на определении в каждой точке пространства приближенных значений градиента яркости и направлений наибольшего их изменения. Это позволяет подчеркнуть позиции изменения яркости в изображениях и является интегрированным методом для выделения контуров, направление которых произвольное. Способом поиска контуров есть обработка изображения с помощью скользящей маски, называемой также фильтром (ядром, окном или шаблоном). В общем случае такие фильтры представляются в виде двумерной матричной структуры. Соответственно оперирование такой маской (матричной структурой) и выполнение соответствующих преобразований в целях определения контуров называется маскированием или пространственной фильтрацией.

Методы маскирования для задач обработки цифровых изображений должны удовлетворять основным требованиям, представленным в [1 - 3, 6].

Не существует универсальных методов маскирования для различных типов изображений [1, 6]. Это приводит к тому, что существующие методы являются эффективными только в пределах узкого класса изображений. Поэтому отсутствие достоверного аппарата оценки методов маскирования приводит к ограничению повышения их эффективности. В большинстве случаев оценка качества метода маскирования ограничивается только субъективной оценкой (визуальная оценка качества работы). Но такой подход применим при наличии в звене принятия решения – лица, принимающего решение. Значит, количественная оценка качества методов маскирования в системах автоматической обработки реалистических изображений является *актуальной научно – прикладной задачей*.

Одним из вариантов ее решения есть построение двухкаскадной схемы маскирования. Это позволит взаимно сократить недостатки методов маскирования, применяемых на первом и втором каскадах с выполнением поэтапной оценки качества маскирования. Поэтому *цель исследований* заключается в обосновании подхода к маскированию изображений на основе двухкаскадной технологии с использованием количественной оценки качества методов маскирования для формирования операторов преобразования каскадов.

## 2. Основная часть. Метод оценки качества маскирования для формирования его двухкаскадной технологии

Оценку качества работы исследуемых методов проведем на тестовых изображениях. В качестве последних используем GT-образы, ground truth изображения – изображения, содержащие идеальные в понимании исследователя границы, с базы данных University of California Berkeley, Computer Vision Group [4] и лаборатории компьютерной графики ВМиК МГУ [5].

Основные подходы к оценке методов маскирования рассмотрены в работах [1 - 3, 6]. В них предложены методы теоретической и эмпирической оценки качества детектирования и локализации контуров. Оценка методов маскирования проводится на основе следующих мер качества детектирования и локализации:

1) ошибка 1-го рода  $\alpha$  – отношение неправильно выделенных граничных пикселей к общему числу пикселей, не являющихся граничными:

$$\alpha(A, B) = \frac{n(B \setminus A)}{n(X \setminus A)}, \quad (1)$$

где  $n(\setminus)$  – число пикселей в соответствующем изображении (множестве);

или её производная – специфичность  $S_p$ , как отношение выделенных не граничных пикселей к общему числу не граничных пикселей GT-образа:

$$S_p = \frac{n(X / B \cup A)}{n(X / A)} = 1 - \alpha; \quad (2)$$

2) ошибка второго рода  $\beta$  – отношение невыделенных граничных пикселей к общему числу граничных пикселей:

$$\beta(A, B) = \frac{n(A \setminus B)}{n(A)} \quad (3)$$

или её производная – чувствительность  $S_e$  – отношение правильно выделенных граничных пикселей к общему числу граничных пикселей GT-образа:

$$S_e = \frac{n(B \cap A)}{n(A)} = 1 - \beta; \quad (4)$$

3) количество правильных определенных пикселей по сравнению с идеальным контуром –  $N$  прав.;

4) количество неправильных определенных пикселей по сравнению с идеальным контуром –  $N$  неправ.;

5) среднеквадратическая ошибка RMSE (Root Mean Square Error), определяемая как расстояние между двумя пикселями сравниваемых изображений [2, 3, 13]:

$$RMS(f, g) = \left[ \frac{1}{\text{card}(X)} \cdot \sum_{x \in X} (f(x) - g(x))^2 \right]^{1/2}; \quad (5)$$

6) пиковое отношение сигнал / шум - PSNR:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right), \quad (6)$$

где  $MAX_I$  — максимальное значение, принимаемое пикселем изображения; MSE – среднеквадратичное отклонение, которое для двух изображений F и G размера  $m \times n$  определяется как:

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

В качестве дополнительного параметра предлагается проводить оценку времени обработки изображения  $t_{\text{обработки}}$ . Метрики, заданные формулами (1) – (4), позволяют провести оценку качества детектирования контуров, метрики (5) и (6) – оценку качества их локали-

зации. Данные метрики также позволяют оценить основные ошибки и искажения (разрывы, локальные смещения, размазывания и утолщения контуров), вносимые методами маскирования в обрабатываемое изображение [1 – 3, 6].

Проведем тестирование методов маскирования, применяемых в системах автоматической обработки изображений. Под тестированием понимается визуализация результатов обработки и количественная оценка качества метода маскирования (вычисление предложенных метрик по формулам (1) – (7)). Для тестирования рассматривались наиболее распространенные методы, использующие градиент изображения – операторы Прюитта, Собела, Шару, Лапласа (2-х видов), Лапласиан – Гауссианн, метод Хрящева и маска метода Канни (коэффициенты рассчитаны для среднеквадратического отклонения  $\sigma = 1,4$ ) [1-3].

При оценке работы методов маскирования в качестве входных были использованы: реалистические изображения (цветные и полутоновые) одинаковых размеров и бинарные изображения в качестве GT-образов для данных реалистических изображений. При вычислении метрик сравнивались изображения – результат метода маскирования и бинарное GT изображение для обрабатываемого изображения.

При сравнении методов маскирования использовались предложенные объективные метрики качества (1) – (7), которые при всех своих недостатках по сравнению с субъективными методами оценки качества (основанными на оценке визуального качества обработки изображений) применимы в системах автоматической обработки изображений.

### 3. Результаты тестирования

В статье представлены оценки качества методов маскирования (входное изображение, результат обработки, расчётные значения метрик) для следующих изображений из базы [4, 5]: цветное и полутоновое реалистическое изображение “37073” с природным фоном, размером - 481x321 пикселей, разрешением 300x300 dpi, глубиной цвета 24bit и 8bit, и соответствующий ему GT – образ (рисунок, поз. а, б);

Результаты тестирования представляются в табличном и графическом виде. Пример обработки для полутоновых реалистических изображений (изображение “37073”) разными методами маскирования представлен на рисунке. В таблице даны рассчитанные значения метрик качества методов маскирования для реалистического изображения “37073” (жирным шрифтом выделены соответствующие минимальные и максимальные значения метрик).

В результате проведенных исследований распространенных методов маскирования можно сделать следующие выводы:

а) анализ значений метрик показывает несущественность цветности изображений для методов маскирования (сохраняется тенденция в работе методов “лучше - хуже”, значительно изменяются значения показателей качества – не более 5 – 8 %);

б) лучшие показатели качества поиска контуров у метода Собела (значения  $N_{\text{прав.}} = 150723$ ,  $N_{\text{неправ.}} = 2078$ ,  $RMSE = 0,116616411531842$ ,  $PSNR = 18,6648065325059$ );

в) лучшие показатели качества с точки зрения недобавления ложных контуров у метода Хрящева (значения ошибки 1-го рода  $\alpha = 2,89383251944294E-5$  и специфичности  $S_p = 0,999971061674806$ ) с одновременно наихудшими значениями характеристик пропуска реальных контуров и возникновения разрывов (ошибки 2-го рода  $\beta = 0,955063117453348$  и чувствительности  $S_e = 0,044936882546652$ ), что и подтверждается визуальной оценкой результата работы метода;

г) лучшие показатели качества с точки зрения непропуска реальных контуров и возникновения разрывов границ у метода Шару (ошибки 2-го рода  $b = 0,001$  и чувствительности  $S_e = 0,999$ ).

Метод Канни в среднем дает наиболее высокие значения метрик, однако не пригоден для использования в системах автоматической обработки изображений.

Результаты количественной оценки подтверждаются при визуализации результатов обработки тестовых изображений (рисунок).

Повысить качество обработки изображений возможно следующими способами:



1) предварительный анализ и обработка изображений, зависящая от результата анализа (фильтрация, повышение резкости, уменьшение шума). При этом повышаются качество обработки методами Хрящева, Лапласиана и маской метода Канни (все маски размером 5x5);

2) введение интеллектуальной обработки изображений, а именно:

а) проведение предварительного анализа фрагментов изображения по степени насыщенности их контурами (слабо-, средне- и сильно-насыщенные);

б) использование каскадной схемы выделения контуров с учетом класса фрагментов.

На первом каскаде – использовать метод, обеспечивающий непропуск реальных контуров (минимальное (максимальное) значение ошибки 2-го рода (чувствительности)).

На втором этапе – метод, обеспечивающий высокую локализацию и отсутствие разрывов в контурах (точное выделение граничных пикселей и их несмещенность), соответственно обеспечивающий минимальное (максимальное) значение ошибки 1-го рода (специфичности) и минимальное значение RMSE.

Для первого каскада предлагается использовать методы Собела, Шару или Лапласиана (LoG), для второго каскада – методы Лапласа 1, Собела или Хрящева.

Таким образом, не существуют универсального метода маскирования, обладающего одинаково высокими значениями метрик, для разных видов изображений.

Основные достоинства и недостатки методов маскирования представлены в [1, 2,6].

#### 4. Выводы

1. В результате тестирования методов маскирования с выполнением количественной оценки качества обработки изображений обосновано, что не существуют универсального метода маскирования, обладающего одинаково высокими значениями метрик для изображений с разным наполнением их объектами (контурами). Доказано, что существующие методы являются эффективными только в пределах узкого класса изображений. В большинстве случаев оценка качества метода маскирования ограничивается только субъективной оценкой (визуальная оценка качества работы).

2. Проведенные экспериментальные оценки качества методов маскирования выявили следующее:

а) несущественность цветности изображений для методов маскирования (незначительно изменяются показатели качества – не более 8 %);

б) лучшие показатели качества поиска контуров у метода Собела (по значениям показателей  $N_{\text{прав.}}$ ,  $N_{\text{неправ.}}$ , RMSE, PSNR);

в) лучшие показатели качества с точки зрения невнесения ложных контуров у метода Хрящева (значения ошибки 1-го рода и специфичности) с одновременно наихудшими значениями характеристик пропуска реальных контуров и возникновения разрывов (значения ошибки 2-го рода и чувствительности), что и подтверждается визуальной оценкой результата работы метода;

г) лучшие показатели качества с точки зрения непропуска реальных контуров и возникновения разрывов границ у метода Шару (значения ошибки 2-го рода и чувствительности);

3. Созданная методология применима в системах автоматической обработки изображений и базируется на интеллектуальной обработке изображений, а именно: предварительном анализе изображений по степени насыщенности их контурами с последующей классификацией: слабо-, средне- и сильно-насыщенные контурами; использование каскадной схемы обнаружения и выделения контуров в изображениях с учетом степени насыщенности их контурами.

Применение двухкаскадной технологии маскирования позволяет сократить время обработки и повысить точность маскирования, при этом позволяет устранить недостатки отдельно используемых методов с сохранением достоинств и преимуществ технологии маскирования в целом.

**Список литературы:** 1. Гонсалес Р.С., Вудс Р.Э. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006. 1072 с. 2. Prieto M.S., Allen A.R. A similarity metric for edge images, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2003. Vol. 25, № 10. P. 1265–1273. 3. Хрящев Д.А. Об одном методе выделения контуров на цифровых изображениях. // Вестник Астрахан. гос. тех. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатик. 2010. № 2. 4. *Сайт* University of California Berkeley, Computer Vision Group. <http://>

[www.eecs.berkeley.edu/Research](http://www.eecs.berkeley.edu/Research). 5. Сайт лаборатории компьютерной графики ВМиК МГУ. <http://www.compression.ru>. 6. *Баранник В.В.* Анализ методов обнаружения границ объектов на изображениях и их классификация / В.В. Баранник, А.В. Власов // Сучасна спеціальна техніка. 2012. №3. С. 17 - 27.