

УДК 531.7

¹Л.А. Борковская, к.т.н.
²О.В. Кочеткова, к.т.н.
³А.В. Борковский
⁴М.И. Левандовская
⁵О.Ю. Оробей**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРЕПАДОВ ЯРКОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ
ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**^{1,2,3,4,5}Национальный авиационный университет

Рассматриваются методы выделения перепадов яркости в цифровых изображениях и эффективность результатов их работы. Анализируется возможность использования информации о границах объектов и однородных областей при кодировании изображений

Ключевые слова: видеоинформация, система технического зрения, обработка изображений, перепад яркости.

Введение и анализ проблемы

Использование видеоинформации в современном мире стремительно возрастает. Здесь и различные системы мониторинга, наблюдения, технического зрения, видеотелефонии, регистрирующие и передающие огромные объемы видеоданных, и различные автономные системы (роботы), принимающие решение на основе анализа контролируемой сцены изображения, и персонализированное телевизионное вещание, и полиграфия со значительно возросшим объемом иллюстраций в печатной продукции, и медицина, и Интернет, и многие другие направления. При этом наряду со значительным повышением уровня развития техники, весьма существенную роль играют методы обработки видеоинформации. Они обеспечивают улучшение изображений для их наилучшего визуального восприятия человеком, сжатие видеоданных для хранения и передачи по каналам связи, а также анализ, распознавание и интерпретацию зрительных образов для принятия решения и управления поведением автономных технических систем [1].

Большую роль в обработке видеоинформации играют методы цифровой обработки изображения, что обусловлено, в первую очередь, необходимостью повышения качества изображений для улучшения его визуального восприятия человеком и обработки изображений для их более эффективного хранения, передачи и представления в автономных системах технического зрения. Применяются цифровые фильтры и при решении различных производственных и технологических задач с помощью оптико-электронных методов и систем технического зрения, в основе которых лежат методы распознавания образов. Интерес к проблемам компьютерной обработки определяется расширением возможностей как самих компьютерных систем, так и разработкой новых технологий обработки, анализа и идентификации различных видов изображений.

Очертания объектов и однородных областей в изображении часто определяются резкими изменениями (разрывами) яркости. Локальные разрывы значений яркости называются яркостными перепадами. Обнаружение яркостных перепадов, применяется при решении задач сегментации изображений, выделения однородных областей контуров объектов в системах автоматического распознавания образов. При этом исходное изображение $f(x, y)$ подвергается линейной или нелинейной обработке для усиления перепадов яркости. В результате образуется массив чисел $G(x, y)$, описывающий изображение с подчеркнутыми изменениями яркости [1]. В данной статье проводится анализ линейных и нелинейных методов контрастирования, позволяющих определить положение перепадов яркости в изображении.

Линейные методы контрастирования

Одним из наиболее простых способов выделения перепадов является пространственное дифференцирование функции яркости изображения [2, 6]. Для двумерной функции яркости

$f(x, y)$ перепады в направлениях x и y регистрируются частными производными $df(x, y)/dx$ и $df(x, y)/dy$. Детектирование перепадов, перпендикулярных к оси x , обеспечивает производная $df(x, y)/dx$, а перепадов, перпендикулярных к оси y – $df(x, y)/dy$ (рис.1).

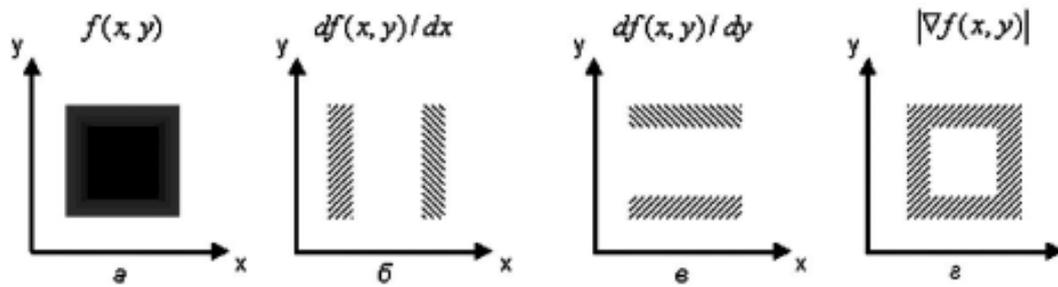


Рис. 1. Выделение перепадов яркости: а – исходное изображение, б – выделение перепадов перпендикулярных к оси x ; в – выделение перепадов перпендикулярных к оси y ; г – выделение перепадов произвольного направления

В практических задачах требуется выделить перепады, направление которых является произвольным. Для этого используют модуль градиента функции яркости [2]:

$$|\nabla f(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{df(x, y)}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df(x, y)}{dy}\right)^2}. \quad (1)$$

Повышение контраста перепадов яркости можно получить путем свертки массива изображения с корреляционной маской, элементы которой пропорциональны коэффициентам корреляции элементов изображения:

$$H = \begin{bmatrix} \rho_r \rho_c & -\rho_c(1 + \rho_r^2) & \rho_r \rho_c \\ -\rho_r(1 + \rho_c^2) & (1 + \rho_c^2)(1 + \rho_r^2) & -\rho_r(1 + \rho_c^2) \\ \rho_r \rho_c & -\rho_c(1 + \rho_r^2) & \rho_r \rho_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

где ρ_r , ρ_c – коэффициенты корреляции между соседними по строке и столбцу элементами изображения. Если $\rho_c = \rho_r = 0$, то корреляция между соседними элементами отсутствует и корреляционная маска не оказывает влияния на изображение; в другом случае, когда $\rho_c = \rho_r = 1$, корреляционная маска сводится к маске оператора Лапласа.

Использование весовых функций гауссовой формы для контрастирования перепадов было предложено Арджаилом и Маклеодом. Функция, предложенная Арджаилом, представляет собой расчлененную функцию Гаусса, определяемую в одномерном случае как:

$$h(x) = \begin{cases} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{p}\right)^2\right\}, & x \geq 0 \\ -\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{p}\right)^2\right\}, & x < 0 \end{cases}, \quad (3)$$

где p – постоянная рассеивания. Функция Маклеода, которая задается выражением:

$$H(x, y) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{t}\right)^2\right\} \cdot \left[\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-p}{t}\right)^2\right\} - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x+p}{t}\right)^2\right\} \right], \quad (4)$$

где p и t – постоянные рассеивания, подавляет влияние элементов изображения в области перепада яркостей и влияние других перепадов, расположенных выше или ниже основного перепада, который необходимо обнаружить.

Основным недостатком описанных выше линейных методов контрастирования является усиление высокочастотного пространственного шума. Сглаживание шума можно ввести в линейные методы контрастирования путем линейного маскирования областей, а не отдельных элементов изображения. Это достигается формированием линейной маски свертки, являющейся комбинацией одной из определенных ранее масок подчеркивания перепадов $H_s(j, k)$ с усредняющей маской $H_E(j, k)$:

Такое пространственное усреднение ведет к сглаживанию как шумов, так и перепадов, определяющих границы объектов и однородных областей [1].

Нелинейные методы контрастирования

В нелинейных системах обнаружения перепадов для контрастирования используются нелинейные комбинации значений яркости элементов изображения. Робертс для контрастирования перепадов предложил использовать следующую нелинейную операцию двумерного дифференцирования:

$$G_r(x, y) = ((f(j, k) - f(j+1, k+1))^2 + (f(j, k+1) - f(j+1, k))^2)^{0.5} \quad (5)$$

Другая операция дифференцирования, требующая меньшего объема вычислений, определяется формулой:

$$G_r(x, y) = |f(j, k) - f(j+1, k+1)| + |f(j, k+1) - f(j+1, k)| \quad (6)$$

Собел предложил использовать для контрастирования нелинейный оператор с окном 3×3 элементов. На рис.2 показаны использованные им обозначения элементов окна:

A_0	A_1	A_2
A_7	$f(j, k)$	A_3
A_6	A_5	A_4

Рис. 2. Обозначение элементов для нелинейных операторов выделения перепадов с размером окна 3×3

Для контрастирования перепадов вычисляется величина:

$$G(x, y) = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (7),$$

где $X = (A_2 + 2A_3 + A_4) - (A_0 + 2A_1 + A_6)$; $Y = (A_0 + 2A_1 + A_2) - (A_6 + 2A_5 + A_4)$.

Уоллис предложил нелинейный метод обнаружения перепадов, основанный на гомоморфной обработке изображения. Согласно этому методу, точка находится на перепаде, если величина логарифма от яркости в этой точке превосходит среднее значение логарифмов яркостей четырех ближайших соседних элементов на некоторое фиксированное значение. Элемент контрастированного изображения определяется как:

$$G(j, k) = \log(f(j, k)) - \frac{1}{4} \log(A_1) - \frac{1}{4} \log(A_3) - \frac{1}{4} \log(A_5) - \frac{1}{4} \log(A_7), \quad (8)$$

Или, что эквивалентно,

$$G(j, k) = \frac{1}{4} \log \left\{ \frac{(f(j, k))^4}{A_1 A_3 A_5 A_7} \right\}. \quad (9)$$

Сравнение $G(j, k)$ с верхним и нижним пороговым значениями эквивалентно сравнению дроби в скобках выражения (9) с видоизмененным порогом. Поэтому не требуется точно вычислять значения логарифмов. Основное преимущество логарифмического детектора перепадов кроме простоты вычислений состоит в том, что он не чувствителен к мультипликативным изменениям уровня яркости.

Нелинейный метод выделения перепадов, основанный на вычислении произведения набора некоторых величин, разработал Розенфельд. В этом методе используется оператор построчного одномерного усреднения. Текущее среднее:

$$D_M(j,k) = \frac{1}{M} \cdot \left[\begin{array}{l} f(j+M-1,k) + f(j+M-2,k) + \dots + f(j,k) \\ - f(j-1,k) - \dots - f(j-M,k) \end{array} \right], \quad (10)$$

где $M = 2^m$, m – , целое вычисляется для каждого элемента изображения.

Эта операция выполняется для $M = 1, 2, 4, 8, 16, \dots$ вплоть до некоторого желаемого верхнего предела. Затем для каждого элемента изображения вычисляется произведение:

$$P_M(j,k) = D_1(j,k)D_2(j,k) \dots D_M(j,k). \quad (11)$$

Сомножители, соответствующие усреднению более высокого порядка, указывают широкие пределы локализации перепада и производят некоторое подавление шумов, тогда как сомножители усреднения низкого порядка локализируют перепад точнее, но при этом значительно чувствительнее к шуму.

Произведение средних разного порядка обеспечивает обнаружение и локализацию истинных перепадов. Это можно объяснить тем, что произведение $P_M(j,k)$ велико лишь тогда, когда велики все сомножители, а по мере удаления от точки перепада сначала уменьшаются сомножители с малыми индексами, а затем и с большими.

Эффективность методов выделения перепадов

Проблемы оценки эффективности методов выделения перепадов возникают из-за трудностей в определении наилучших параметров детекторов, а также из-за отсутствия единого критерия эффективности. Важной характеристикой детектора перепада является точность определения положения перепада. Существует три типа ошибок, связанных с определением положения перепада яркости: пропуск истинных перепадов, ошибки в определении их положения (смещение, смазывание перепада) и принятие шумовых выбросов за перепад (ложное обнаружение) [1].

Ошибки определения положения перепадов, связанные с наличием в изображениях высокочастотного шума, можно уменьшить применением предварительной шумоподавляющей фильтрации. Точность обнаружения истинного перепада можно оценить, сравнивая изображения контуров, полученные с помощью идеального и реальных детекторов перепада.

Заключение

Рассмотренные в статье методы линейного и нелинейного - выделения перепадов яркости позволяют получить информацию о положении перепада на изображении. Эффективность работы детекторов контуров на основе приведенных методов выделения перепадов яркости зависит от состояния границ объектов и однородных областей, а также наличия высокочастотного шума в изображении. Принимая во внимание важность точной передачи информации о границах объектов в изображении для визуального восприятия изображения, можно предположить, что учет информации о положении границ объектов при кодировании позволит уменьшить эффекты размытия и окантовки границ при высоких степенях сжатия и, тем самым, улучшить визуальное качество восстановленного изображения.

Список литературных источников

1. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
2. Методы компьютерной обработки изображений / Под. ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
4. Борковський О.В. Система технічного зору для вимірювання геометричних розмірів деталей в гнучких виробничих системах/ О.В. Борковський // Вісник Інженерної академії України. – 2007. – № 1.– С. 26–28.