

*Д. А. Рошин, аспирант Московского государственного технологического университета «СТАНКИИ»*

# Повышение эффективности оптических систем распознавания образов на основе цветовой гистограммы

*Благодаря увеличению производительности и постоянному развитию информационно-измерительных систем цветовая обработка изображений становится более доступной и открывает новые возможности для применения оптических систем в качестве средств измерений.*

## Введение

На сегодняшний день оптические датчики являются одним из главных элементов в системах распознавания образов, а также находят широкое применение в системах автоматизированного контроля производства. Качественное выделение объектов на цветном изображении — важный этап на пути решения стоящих перед системой задач. В настоящее время существует множество способов реализации программного алгоритма, которые с разной степенью эффективности применимы для конкретных случаев, в определенных условиях и при использовании специализированных инструментов. Алгоритмы решения данной задачи, в основном, построены на пространственных методах обработки цифрового изображения. От того, насколько точно подобраны программные методы и насколько хорошо алгоритм использует возможности оптических датчиков, зависит результат работы системы в целом.

## Источники шума на изображении

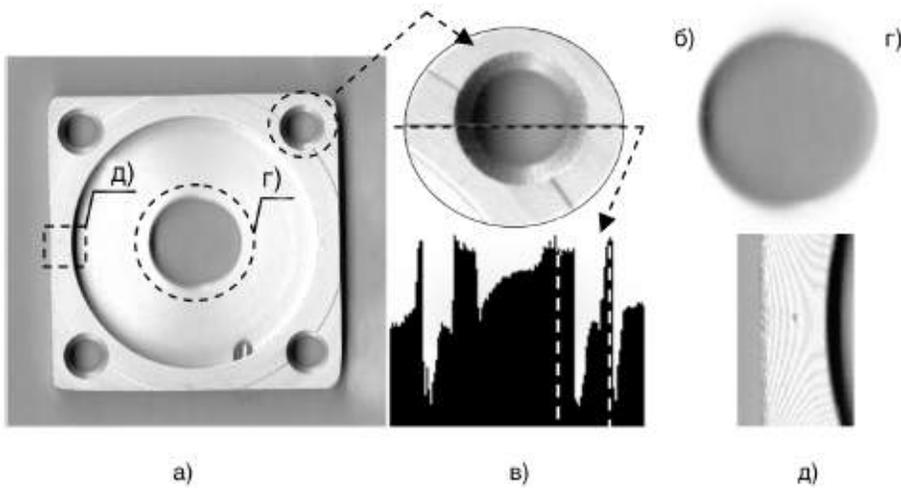
Недостатком оптических датчиков, формирующих исходную информацию, является их высокая чувствительность к отражающим свойствам поверхности исследуемого объекта и его освещенности.

Рассмотрим изображение детали на цветном фоне, полученное путем сканирования (рис. 1). На изображении представлены основные источники шума, которые препятствуют выделению объекта на фоне и последующему распознаванию.

Для минимизации подобных эффектов были включены следующие пространственные методы обработки изображения: выделение объекта с применением цветовой гистограммы, обозначение контуров объекта с использованием градиента, локализация и проведение обработки зашумленных областей, фильтрация изображения для устранения остаточного шума. Такая последовательность действий позволила добиться большей точности в выделении образа объекта на цветном изображении и значительно уменьшить неоднозначность в распознавании его геометрической формы при незначительном понижении производительности системы.

## Выделение объекта с помощью цветовой гистограммы

Изображение может быть представлено в виде двумерной функции  $f(x, y) = \tau(x, y) \cdot k(x, y)$ , где  $\tau(x, y) - \tau(x, y)$  — функция освещенности и  $k(x, y) - k(x, y)$  — функция коэффициента отражения в точке изображения  $(x, y)$  декартовой системы координат. В модели *RGB* функция представления цве-



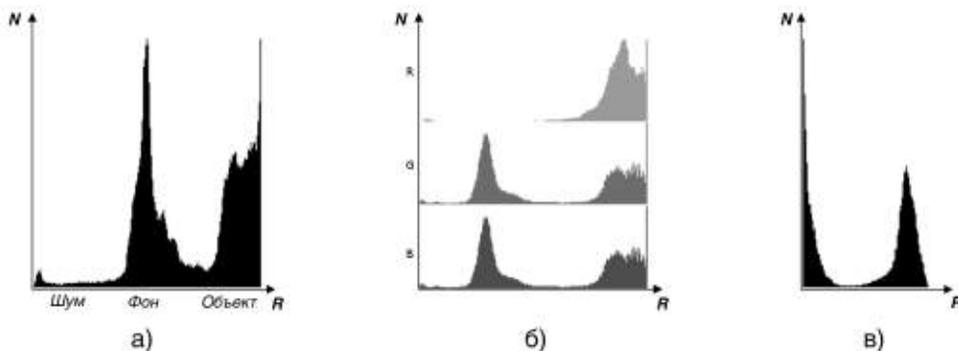
**Рис. 1.** Основные источники шума на изображении:

а) общий вид детали; б) затененный участок поверхности; в) профиль яркости сечения детали, где штриховкой отмечен участок поверхности, соответствующий б); г) участок поверхности с оптическим искажением; д) участок поверхности с муаровым узором

та выражается через четырехкомпонентный вектор  $\vec{A} = (c_\alpha, c_R, c_G, c_B)^t$ , где  $\alpha$  — интенсивность цвета,  $R, G, B$  — красный, зеленый и синий цветовые тона, соответственно. Уровень каждой компоненты дискретно распределен и составляет обычно 256 градаций. Выделение объекта на фоне представляется возможным вследствие отличающихся значений цветовой интенсивности, насыщенности и уровня тонов. Задача серьезно упрощается, если яркость объекта сильно отличается от яркости фона или же фон имеет ярко выраженный цветовой тон, отсутствующий в изображении объекта.

Одним из наиболее эффективных методов отделения объекта от фона является статистический метод, основанный на построении гистограммы изображения (рис. 2), которая представляет собой функцию плотности распределения вероятности случайной величины.

Основная часть пикселей, сосредоточенная в центре гистограммы, формирует образ детали на изображении. Точка локального максимума функции определяет основную яркость изображения, амплитуда которой тем выше, чем более однородным является цвет объекта. Второй пик функции



**Рис. 2.** Гистограммы рассматриваемого изображения. Яркости с условным распределением: а) объекта, фона и шума; б) цветовых тонов; в) насыщенности цвета

в области пикселей с высоким уровнем яркости определяет основную яркость фона, ширина диапазона яркости которого также зависит от его однородности. Малая часть пикселей, сосредоточенная в левой части гистограммы, формируется присутствующим шумом вследствие теневого эффекта. Таким образом, функция плотности распределения вероятности  $P(r)$  является совокупностью функций плотности распределения вероятностей яркости объекта, фона и шума:  $P(r) = G(r) + S(r) + H(r)$ . Вероятность появления каждого пикселя определенного цвета вычисляется на основании выраже-

ния:  $P(r) = \sum_{y=0}^n \sum_{x=0}^m \frac{R(x,y)}{m \cdot n}$ , где  $m, n$  — разме-

ры изображения,  $R(x,y) - R(x,y)$  — пиксель с заданным уровнем яркости. Шум, присутствующий на изображении, накладывается и на фон, и на участки объекта, из-за чего яркость пикселей, искаженных шумом, значительно понижается. При этом создается неоднородность фона и объекта. Зашумленные пиксели образуют отдельное множество  $H \subseteq I$  из множества пикселей изображения  $I$ , которое подлежит обработке и разделению. Зная диапазон яркости фона, можно определить по гистограмме его математическое ожидание в диапазо-

не яркости изображения:  $m = \sum_{i=a}^b r_i P(r_i)$ , где

$\{i \in R : a \leq i \leq b\}$  — доверительный интервал яркости фона. Среднеквадратическое отклонение (СКО) яркости можно определить при сканировании фона следующим обра-

зом:  $\sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^L (R_i - m)^2 P(r_i)}$ , где  $L$  — уровень

градаций яркости отсканированного изображения.

Полученный диапазон яркости изображения содержит яркость пикселей, составляющих ту часть изображения, которая принадлежит фону. Если функции плотности распределения вероятности объекта и фона имеют нормальные распределения, то раз-

деляющая граница пройдет через точку  $r_0$ , в которой значения обеих функций совпадают  $P(G|r_0) = P(S|r_0)$ , где  $P(G|r_0)$  и  $P(S|r_0)$  — вероятности того, что значения яркости принадлежат множеству точек объекта или фона соответственно.

В тех случаях, когда цвета объекта и фона неоднородны, а результат выделения объекта по гистограмме яркости или компонентов цвета не удовлетворяет заданным нормам, можно воспользоваться соотношением разностей компонент цвета объекта и фона. Значение разностей должно определяться между всеми цветовыми тонами:

$$\gamma(x,y) = |R(x,y) - G(x,y)| + |R(x,y) - B(x,y)| + |G(x,y) - B(x,y)|.$$

На основе данного выражения можно построить гистограмму разности цветовых тонов по аналогии с построением гистограммы яркости. Как видно из гистограммы (рис. 2в), основная часть пикселей, определяющих объект и фон, сосредоточена в ее крайних частях. Поскольку соотношение разностей компонент цвета объекта и фона более весомо, чем соотношение их яркостей, можно в значительной степени упростить процедуру выделения объекта. Гистограмма разности цветовых тонов имеет увеличенный диапазон, который в два раза превышает диапазон гистограммы яркости. Так, например, если диапазон гистограммы яркости обычно квантуется 256 уровнями, то диапазон гистограммы разности цветовых тонов составит 512 уровней. Это позволяет еще больше отдалить друг от друга средние значения разности цветовых компонент объекта и фона, уменьшая при этом СКО, что также облегчает их разделение.

### Распознавание контуров объекта на цветном изображении

Методы выделения объекта с использованием цветовой гистограммы показывают хорошие результаты при обработке изображения с ярко выраженной цветовой компо-

нентой объекта или фона, но они не избавляют от присутствия шума, вызванного теневым эффектом (рис. 3а). Области, оказавшиеся под влиянием этого шума, окрашены на рисунке в серый цвет. Для устранения теневого эффекта необходимо применить преобразования связанные с выделением контуров объектов на основе использования значений производных первого и второго порядков. Такие преобразования способны изолировать локальную область объекта от влияния шума. Определение контура на цветном изображении производится методом Ди Зензо. Точка  $(x, y)$  считается принадлежащей контуру, если величина скорости изменения функции  $F(\theta)$  в точке превышает пороговое значение. Значение функции определяется по формуле

$$F(\theta) = \frac{1}{2} \sqrt{[(g_{xx} + g_{yy}) + (g_{xx} - g_{yy}) \cos 2\theta + 2g_{xy} \sin 2\theta]^2}$$

где угол  $\theta$  задается выражением

$$\theta = \frac{2g_{xy}}{(g_{xx} - g_{yy})}$$

$g_{xx}, g_{yy}, g_{xy}$  — частные производные, значения которых могут быть найдены операторами Собела или Превитта. Для этого используется выражение:

$$G(x, y) = \sum_{n=\frac{1-h}{2}}^{\frac{h-1}{2}} \sum_{m=\frac{1-l}{2}}^{\frac{l-1}{2}} F(x+m, y+n) \cdot k(m, n),$$

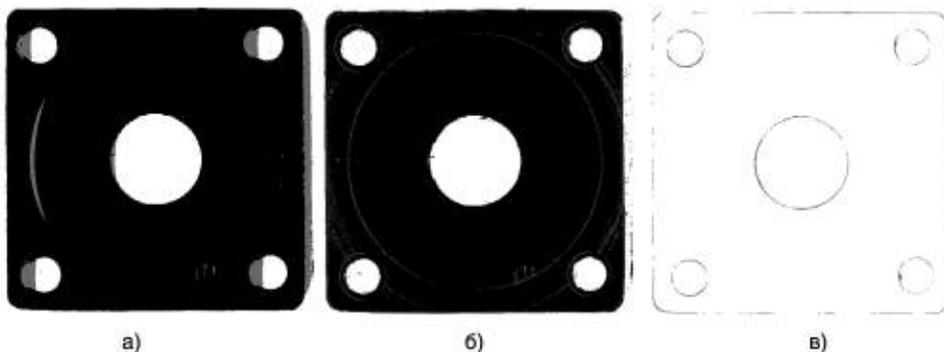
где  $F(x, y)$  — функция яркости исследуемого объекта;  $G(X, Y)$  — градиент в точке  $(x, y)$ ;  $k(m, n)$  — весовые коэффициенты маски оператора;  $L, H$  — длина и высота изображения;  $l, h$  — длина и высота маски.

Метод Ди Зензо позволяет создать очень четкую границу (рис. 3б), которая разделяет области объекта и фона. Граница изображена на рисунке серым цветом. Помимо внешних контуров, данный метод позволяет выявить и внутренние контуры объекта, искажающиеся под действием муара, который проявляется в виде шума (рис. 3б).

Области изображения, оказавшиеся под влиянием теневого шума, локализируются и обрабатываются отдельно. В ходе такого преобразования задаются или через собственные вектора определяются направления теневого шума. Затем формируются границы перепадов яркостей по каждой области с помощью выражения

$$[|(g_{i-1} + g_{i-2})| < 2g_i] \wedge [|(g_{i+1} + g_{i+2})| < 2g_i] \rightarrow g_i \in C,$$

где  $C$  — множество точек, составляющих границу, которая позволяет перераспреде-



**Рис. 3.** Образы объекта: а) получен после выделения цветовой гистограммой; б) получен комплексным преобразованием с применением цветовой гистограммы и выделением контуров; в) разность изображений между эталоном и изображением, полученным в результате приведенных преобразований

лить зашумленные области между областями фона и объекта.

### Эффективность выделения объекта на цветном изображении

Сопоставляя полученные данные с эталоном, произведем оценку эффективности преобразований. В качестве эталона было смоделировано двумерное изображение детали по ее чертежам с применением CAD-системы. Для визуального представления такой оценки на рис. 3в показана разность изображений между эталоном и изображением, полученным в результате приведенных преобразований.

На завершающем этапе обработки может использоваться фильтрация с применением эрозии по области объекта. Эрозия способствует утончению границы контуров и представляет собой множество  $D$  в виде примитива  $N \times N$  пикселей движущегося по множеству точек контура  $C$  и определяется как  $C \ominus D = \{z \mid (D)_z \subseteq C\}$ .

Цифровые показатели эффективности представлены на диаграмме (рис. 4).

Из диаграммы видно, что применение гистограммных методов для выделения объекта на фоне совместно с методами обнаружения контуров и последующей фильтрацией изображения повышает эффективность распознавания объекта. Наилучший результат распознавания контура дает применение

всех преобразований, но в некоторых случаях для повышения производительности систем можно отказаться от применения фильтра.

### Заключение

Современная техника достигла высокого уровня развития, что позволяет переходить на более сложные и эффективные методы обработки изображений. Цветные изображения по сравнению с монохромными имеют неоспоримые преимущества, и системы, распознающие цветные объекты, позволяют достигнуть более высоких показателей точности. Было показано, что применение комплексных методов цифровой обработки также может значительно повысить эффективность оптических информационно-измерительных систем.

### Список литературы

1. *Дмитриев А. Л.* Оптические методы обработки информации: учеб. пособие. СПб: СПбГУИТМО, 2005. — 46 с.
2. *Вежнецев В., Конушин А., Вежнецев А.* Введение в компьютерное зрение: курс лекций. М.: МГУ, 2006.
3. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
4. *Степаненко О. С.* Сканеры и сканирование. Краткое руководство. М.: Диалектика, 2004. — 288 с.

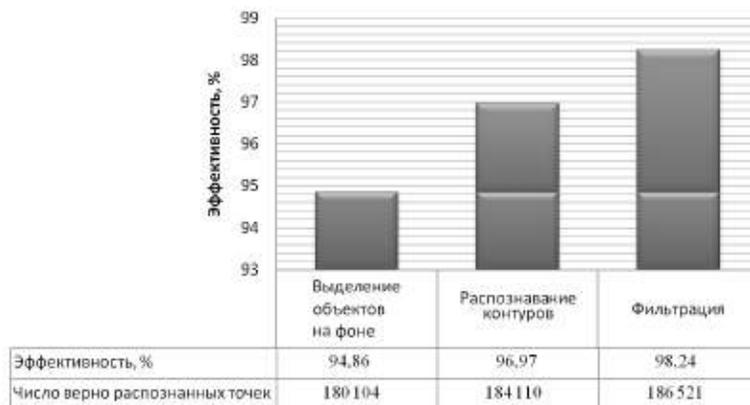


Рис. 4. Диаграмма повышения эффективности системы распознавания образов