

УДК 531.7

В.П. КВАСНИКОВ, А.В. ДЗЮБАНЕНКО

*Национальный авиационный университет «НАУ», Киев, Украина*

## УЛУЧШЕНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО КАЧЕСТВА ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПУТЁМ ПОЭЛЕМЕНТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

*В статье рассмотрены основы компьютерной обработки изображений. Рассмотрены процедуры дискретизации и дискретные представления изображений с помощью двумерных последовательностей. Изложены основные методы компьютерной обработки изображений. Рассмотрены поэлементные преобразования изображений, которые включают линейное контрастирование, соляризацию и препарирование. Именно на этих свойствах, как правило, основано использование обработки изображений в системах автоматического анализа с целью извлечения количественной информации об исследуемых объектах. Введены модели помех при регистрации изображений и предложены соответствующие им методы и алгоритмы фильтрации помех.*

**Ключевые слова:** цифровое изображение, контрастирование, сегментация, соляризация, препарирование.

### Введение

Многие отрасли техники, имеющие отношение к получению, обработке, хранению и передаче информации, в значительной степени ориентируются в настоящее время на развитие систем, в которых информация имеет характер изображений и видеоданных. Изображение, которое можно рассматривать как двумерный сигнал, является значительно более емким носителем информации, чем обычный одномерный (временной) сигнал. Вместе с тем, решение научных и инженерных задач при работе с визуальными данными требует особых усилий, опирающихся на знание специфических методов, поскольку традиционная идеология одномерных сигналов и систем мало пригодна в этих случаях. В особой мере это проявляется при создании новых типов информационных систем, решающих такие проблемы, которые до сих пор в науке и технике не решались, и которые решаются сейчас благодаря использованию информации визуального характера [2].

В большом числе информационных систем применяется представление результатов обработки данных в виде изображения, выводимого на экран для использования наблюдателем. Процедуру, обеспечивающую такое представление, называют визуализацией. Желательно при помощи обработки придать выводимому изображению такие качества, благодаря которым его восприятие человеком было бы по возможности комфортным. Часто бывает полезным подчеркнуть, усилить какие-то черты, особенности, нюансы наблюдаемой картины с целью улучшения её субъективного восприятия.

### 1. Поэлементная обработка изображений

При цифровой обработке изображения обычно используется его представление в памяти в виде матрицы пикселей  $f(m_1, m_2)$ ,  $0 \leq m_1 \leq M_1 - 1$ ,  $0 \leq m_2 \leq M_2 - 1$ . Обработка изображения в общем случае заключается в выполнении какого-либо преобразования указанной матрицы, в результате которого формируется набор ее числовых характеристик или новое, обработанное изображение —  $g(n_1, n_2)$   $0 \leq n_1 \leq N_1 - 1$ ,  $0 \leq n_2 \leq N_2 - 1$ . Преобразование может касаться значений элементов или их координат (индексов), выполняться над матрицей в целом группой элементов или над каждым элементом в отдельности [3].

Сущность поэлементной обработки изображений сводится к следующему. Пусть  $x(i, j) = x_{ij}$ ,  $y(i, j) = y_{ij}$  — значения яркости исходного и получаемого после обработки изображений соответственно в точке кадра, имеющей декартовы координаты  $i$  (номер строки) и  $j$  (номер столбца). Поэлементная обработка означает, что существует функциональная однозначная зависимость между этими яркостями позволяющая по значению исходного сигнала определить значение выходного продукта. В общем случае, как это учтено в данном выражении, вид или параметры функции  $f_{i,j}(x_{i,j})$ , описывающей обработку, зависят от текущих координат. При этом обработка является неоднородной. Однако в большинстве практически применяемых процедур используется однородная поэлементная обработка. В этом случае индексы  $i$  и  $j$  в выражении (1) могут отсутствовать. При этом зависимость между яркостями ис-

ходного и обработанного изображений описывается функцией:

$$y_{i,j} = f_{i,j}(x_{i,j}), \quad (1)$$

позволяющая по значению исходного сигнала определить значение выходного продукта. В общем случае, как это учтено в данном выражении, вид или параметры функции, описывающей обработку, зависят от текущих координат. При этом обработка является *неоднородной*. Однако в большинстве практически применяемых процедур используется *однородная* поэлементная обработка. В этом случае индексы  $i$  и  $j$  в выражении (1) могут отсутствовать. При этом зависимость между яркостями исходного и обработанного изображений описывается функцией:

$$y = f(x), \quad (2)$$

является одинаковой для всех точек кадра [5].

При практической реализации поэлементных преобразований можно непосредственно вычислять каждое значение преобразованного элемента в соответствии с конкретным видом функции. Однако для достаточно сложных функций такое построение процедуры обработки оказывается неудобным из-за больших затрат машинного времени на вычисления. Скорость обработки возрастает при переходе к табличному заданию функции преобразования.

## 2. Линейное контрастирование изображения

Задача контрастирования связана с улучшением согласования динамического диапазона изображения и экрана, на котором выполняется визуализация. Если для цифрового представления каждого отсчета изображения отводится 1 байт (8 бит) запоминающего устройства, то входной или выходной сигналы могут принимать одно из 256 значений. Обычно в качестве рабочего используется диапазон 0...255; при этом значение 0 соответствует при визуализации уровню черного, а значение 255 – уровню белого. Предположим, что минимальная и максимальная яркости исходного изображения равны и соответственно. Если эти параметры или один из них существенно отличаются от граничных значений яркостного диапазона, то визуализированная картина выглядит как ненасыщенная, неудобная, утомляющая при наблюдении. При линейном контрастировании используется линейное поэлементное преобразование вида:

$$y = ax + b \quad (3)$$

параметры которого  $a$  и  $b$  определяются желаемыми значениями минимальной  $y_{\min}$  и максимальной  $y_{\max}$  выходной яркости [1]. Решив систему уравнений:

$$\begin{cases} y_{\min} = a \cdot x_{\min} + b; \\ y_{\max} = a \cdot x_{\max} + b \end{cases} \quad (4)$$

относительно параметров преобразования  $a$  и  $b$  трудно привести (3) к виду:

$$y = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} (y_{\max} - y_{\min}) + y_{\min}. \quad (5)$$

## 3. Соляризация изображения

При данном виде обработки преобразование (2) имеет вид:

$$y = k \cdot x \cdot (x_{\max} - x), \quad (6)$$

где  $x_{\max}$  – максимальное значение исходного сигнала;

$k$  – константа.

Функция, описывающая данное преобразование, является квадратичной параболой, ее график при  $k = 1$  приведен на рис. 1. При  $y_{\max} = x_{\max}$  динамические диапазоны изображений совпадают, что может быть достигнуто при  $k = 4/x_{\max}$ . Другой путь нормализации динамического диапазона может состоять в применении одного из методов контрастирования, например, описанного выше линейного контрастирования.

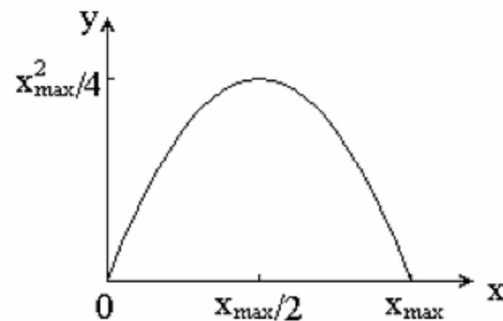


Рис. 1. Функция, описывающая соляризацию

Как следует из рис. 1, смысл соляризации заключается в том, что участки исходного изображения, имеющие уровень белого или близкий к нему уровень яркости, после обработки имеют уровень черного. При этом сохраняют уровень черного и участки, имеющие его на исходном изображении. Уровень же белого на выходе приобретают участки, имеющие на входе средний уровень яркости (уровень серого) [6].

## 4. Препарирование изображений

Широкий класс процедур обработки изображений заключается в их препарировании, то есть в приведении к такому виду, который, возможно,

весьма далек от естественного, но удобен для визуальной интерпретации или дальнейшего машинного анализа.

Прежде чем, введенное таким образом, изображение подвергнется анализу, обычно, оно должно пройти этап препарирования. Под препарированием понимается процесс приведения изображения к виду, удобному для машинной обработки и который может быть достаточно далек от естественного. На этапе препарирования изображение подвергается фильтрации, выделению контуров, сегментации. В результате препарирования сокращается информационная избыточность изображения, исключаются несущественные особенности, отделяются структурные элементы заданного класса от всей совокупности элементов микроструктуры [7].

Сегментация является одной из наиболее важных задач препарирования, именно она позволяет выделить на исходном изображении фазы для их последующего анализа. Процесс сегментации может осуществляться как на основе яркостных, так и на основе текстурных признаков. Количество областей, на которые осуществляется сегментирование, зависит от решаемой задачи анализа. Так, если перед исследователем стоит задача в определении бала зерна, то сегментация превращается в бинаризацию (сегментацию на две области), а если – в определении процентного содержания фаз, то количество областей заранее не известно и оно должно быть определено в процессе сегментации, например, по гистограмме яркостей.

Прошедшее этап препарирования, изображение может быть подвержено анализу. Наиболее часто решаемые задачи анализа состоят в определении размера и качества изображения. В связи с тем, что объекты на изображении не дисперсные, определение их количества и размера методами счета не представляется возможным. В этом случае используются алгоритмы для определения статистического количества объектов на изображении. Один из них состоит в построении матрицы длин серий изображения, далее определении на ее основосреднего линейного размера частицы данной фазы ( $L_A$  и  $L_B$ ), являющегося среднеарифметическим числом элементов изображения, приходящихся на серию  $i$ -го уровня ( $i$ -ой фазы) по горизонтали и вертикали соответственно, и вычислении среднестатистического количества частиц, при условии, что их форма близка к круглой, по следующей формуле:

$$N_a = \frac{16P_a}{\pi[L_A + L_B]^2}, \quad (7)$$

где  $P_a$  – площадь данной фазы (суммарная длина серий  $i$ -го уровня).

Предложенный метод определения статистического количества частиц позволяет избавиться от трудоемких операций и дает незначительную ошибку по сравнению с методами точного счета [8].

Для определения количественной доли фазы в многофазной системе используется первое основное стереометрическое соотношение:  $\Sigma V_a = \Sigma F_a$ , где  $\Sigma V_a$  – количественная доля фазы в объеме системы, а  $\Sigma F_a$  – количественная доля фазы на площади шлифа. Таким образом, для определения доли фазы в системе необходимо лишь определить ее долю на плоскости шлифа. Вычисление количественной доли фазы на плоскости шлифа состоит в вычислении отношения количества пикселей, приходящихся на данную фазу, к общей площади изображения шлифа:

$$\Sigma F_a = \frac{P_a}{P}. \quad (8)$$

Еще одна из задач, решаемых с помощью описанной системы – это контроль качества обработки и идентификация структуры металла путем сравнения изображения микрошлифа с имеющимися в базе данных эталонами, что позволяет выразить в количественной форме близость структуры анализируемого и эталонного образцов. В качестве подобной величины, как правило, используются меры корреляции.

#### 4. Фильтрация изображений

Изображения, сформированные различными оптико-электронными системами и зарегистрированные с помощью разнообразных приёмников искажаются действием помех различного характера. Искажения изображения вносятся всеми компонентами изображающего прибора, начиная с осветительной системой (например, неравномерность освещенности предмета). Искажения, которые вносит оптическая система, известны еще на этапе её проектирования и называются аберрации. Искажения, которые вносят электронные приёмники излучения, например ПЗС-матрицы, называются электронный шум. Помехи затрудняет визуальный анализ изображения и его автоматическую обработку [1].

Ослабление действия помех достигается фильтрацией. При фильтрации яркость (сигнал) каждой точки исходного изображения, искаженного помехой, заменяется некоторым другим значением яркости, которое признается в наименьшей степени искаженным помехой. Для выполнения фильтрации необходимо выработать принципы таких преобразований, которые основываются на том, что интенсивность изображения изменяется по пространственным координатам медленнее, чем функция помех. В

других случаях, наоборот, признаком полезного сигнала являются резкие перепады яркости.

В методах фильтрации при оценке реального сигнала в некоторой точке кадра принимают во внимание некоторое множество (окрестность) соседних точек, воспользовавшись определенной похожестью сигнала в этих точках. Понятие окрестности является достаточно условным. Окрестность может быть образована лишь ближайшими по кадру соседями, но могут быть окрестности, содержащие достаточно много и достаточно сильно удаленных точек кадра. В этом случае, степень влияния (вес) далеких и близких точек на решения, принимаемые фильтром в данной точке кадра, будет совершенно различной. Таким образом, идеология фильтрации основывается на рациональном использовании данных как из рабочей точки, так и из ее окрестности.

При решении задач фильтрации используют вероятностные модели изображения и помехи, и применяют статистические критерии оптимальности. Это связано со случайным характером помехи и стремлением получить минимальное в среднем отличие результата обработки от идеального сигнала. Многообразие методов и алгоритмов фильтрации связано с большим разнообразием математических моделей сигналов и помех, а также различными критериями оптимальности [9].

Пусть  $X_{i,j}$  – значение яркости изображения – полезного сигнала на пересечении  $i$ -ой строки и  $j$ -го столбца, а наблюдаемое на входе фильтра изображение описывается моделью:

$$y_{i,j} = f(x_{i,j}, n_{i,j}), \quad i = \overline{0, I-1}, \quad j = \overline{0, J-1}, \quad (9)$$

где  $n_{i,j}$  – значение помехи в точке с координатами  $(i,j)$ ;

$f()$  – функция, описывающая взаимодействие сигнала и помехи;

$I$  и  $J$  – число строк и столбцов в кадре соответственно.

## Заключение

Компьютерная обработка изображений как фундаментальное научное направление является неисчерпаемой. Это направление опирается на математику, физику, биологию, информатику. Методы и средства компьютерной обработки изображений имеют самые разнообразные применения: наука, техника, медицина, социальная сфера. Практически уже сейчас прогресс общества, особенно в сфере здравоохранения, во многом зависит от достижений компьютерной обработки изображений.

Методы обработки изображений в частотной области базируются на соответствующих моделях зрения человека. Эти модели показывают, что эф-

фективное изменение визуального качества изображения можно проводить через изменение двух основных составных частей изображения – низкочастотной (фоновой) и высокочастотной (детальной). Алгоритмы обработки в частотной области имеют большую вычислительную сложность, которая ограничивает их использование для обработки изображений в масштабе реального времени. Параметры необходимых фильтров преимущественно определяют, пользуясь принципами оптимальной фильтрации, разработанной для среднеквадратического критерия качества фильтрации. Достижения теории фильтрации широко используют при обработке изображений. Так, согласующая фильтрация применяется в обработке изображений с позиций не просто повышения качества, а для выявления объектов на изображениях. Реальные системы формирования изображений не являются идеальными из-за абберации, смазывания изображения во время экспозиции, низкого контраста, наличия атмосферных неоднородностей и т.п. Поэтому для этих систем в предположении их линейности и стационарности можно значительно улучшить качество изображений, применяя поэлементное преобразование изображений.

## Литература

1. *Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин, А.А. Спектор. – Новосибирск: НГТУ, 2000. – 240 с.*
2. *Бейтс Р. Восстановление и реконструкция изображений / Р. Бейтс, М. Мак-Доннелл. – М.: Мир, 1989. – 360 с.*
3. *Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов / Р. Блейхут. – М.: Мир, 1989. – 420 с.*
4. *Даджион Д. Цифровая обработка многомерных сигналов / Д. Даджион, Р. Мерсеро. – М.: Мир, 1988. – 440 с.*
5. *Компьютеры в оптических исследованиях / Под ред. Б. Фридена. – М.: Мир, 1983. – 320 с.*
6. *Обработка изображений при помощи цифровых вычислительных машин: пер. с англ. / Под ред. Г. Эндрюса и Л. Инло. – М.: Мир, 1973. – 480 с.*
7. *Рабинер Л.Р. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л.Р. Рабинер, Б. Гоулд. – М.: Мир, 1978. – 460 с.*
8. *Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин / А. Розенфельд. – М.: Мир, 1972. – 520 с.*
9. *Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений / Л.П. Ярославский. – М.: Сов. радио, 1979. – 380 с.*

Поступила в редакцию 15.05.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. кафедры аэронавигационных систем В.В. Конин, Национальный авиационный университет, Киев.

### ПОЛІПШЕННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ ЯКОСТІ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ШЛЯХОМ ПОЕЛЕМЕНТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

*В.П. Квасников, А.В. Дзюбаненко*

У статті розглянуто основи комп'ютерної обробки зображень. Висвітлено процедуру дискретизації і дискретні представлення зображень за допомогою двовимірних послідовностей. Викладені основні методи комп'ютерної обробки зображень. Розглянуто по елементні перетворення зображень, які включають лінійне контрастування, соляризацію і препарування. Саме на цих властивостях, як правило, засновано використання обробки зображень в системах автоматичного аналізу з метою виводу кількісної інформації про досліджувані об'єкти. Введені моделі перешкод при реєстрації зображень і запропоновані відповідні ним методи і алгоритми фільтрації перешкод.

**Ключові слова:** цифрове зображення, контрастування, сегментація, соляризація, препарування.

### IMPROVEMENT OF VISUAL QUALITY OF DIGITAL REPRESENTATION PATH MEMBERWISE TRANSFORMATION

*V.P. Kvasnikov, A.V. Dzyubanenko*

This paper deals with the fundamentals of computer image processing. Computer models of images and imaging optical systems are described. The procedures of discretization and discrete image representations through 2D sequences are considered. The basic techniques of computer image processing are featured. Element-by-element image transformations, which include linear contrasting, thresholding and preparation are discussed. Exactly on these properties, as a rule, the use of processing of images is founded in the systems of automatic analysis with the purpose of extraction of quantitative information about the probed objects. The applications describing methods for the analysis of blood preparations, retina images, and finger prints are considered.

**Key words:** digital representation, contrasting, segmentation, solarization, preparing.

**Квасников Владимир Павлович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий Национального авиационного университета, Киев, Украина, e-mail: kvp@nau.edu.ua.

**Дзюбаненко Андрей Васильевич** – аспирант кафедры информационных технологий Национального авиационного университета, Киев, Украина, e-mail: dzubanenko\_av@ukr.net.