

УДК 621.397
ББК 32.84

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

Ямалетдинова К.Ш., Гоц С.С., Хиразов Э.Р.

В статье рассмотрена программа, созданная с учетом специфики реализации цифровой обработки двумерных цветных изображений в оптических микроскопах. Программа имеет полный набор стандартных средств для статистического анализа яркостных профилей выделенных строк изображения. Кроме этого, в программу введены такие функции, как построение трехмерного изображения и отдельный анализ цветовых компонент исходного изображения.

Несмотря на бурное развитие электронной и зондовой микроскопии [1] оптическая микроскопия (ОМ) продолжает оставаться важным информационным звеном в автоматизированных системах управления качеством (АСУК). Неоспоримые преимущества ОМ заключаются в возможности наблюдения и полноценного количественного анализа в цвете динамики изменения объемной и поверхностной структуры микроскопических объектов в реальном масштабе времени. Эти преимущества, однако, предъявляют ряд известных требований к аппаратным и программным средствам, предназначенным для цифровой обработки оптических изображений [2]. Подавляющее количество известных программ цифровой обработки изображений не в полной мере учитывают ряд проблем оптической микроскопии [2]. В частности, в известных программах не реализована функция отдельного количественного анализа основных цветовых компонент. В данной работе описывается компьютерная программа (в дальнейшем программа), созданная с учетом специфических особенностей статистической обработки оптических изображений [3].

Программа предназначена для цифровой обработки двумерных оптических и электронных изображений, а также для построения на их основе трехмерных изображений. В качестве первичной информации используются двумерные цифровые цветные оптические изображения, а также монохромные двумерные изображения различной природы, представленные в виде 24-разрядных файлов точечного формата bmp. Первичная информация может быть получена и введена в компьютер с помощью цифровых фотоаппаратов, видеокамер, сканеров, электронных и сканирующих зондовых микроскопов. Применение данной

программы позволяет получить дополнительную количественную информацию, а также существенно улучшить детализацию и структуризацию отдельных фрагментов первичного изображения.

Первичное двумерное изображение трансформируется в трехмерное следующим образом. Численные значения двух координат и количественная информация о яркости цветовых компонент каждого пикселя первичного двумерного изображения определяют значения трех координат соответствующего четырехугольного элемента (полигона) вторичного трехмерного изображения. При кодировании первичной информации о яркости и цвете каждого пикселя используется стандартное разложение на три цветовых компоненты: красную, зеленую и синюю. Для кодирования уровня каждой из трех основных цветовых компонент используется 8-битный двоичный код. Таким образом, для полного кодирования цвета и яркости каждого пикселя первичного изображения используется 24-битный код. Особенностью данной программы является возможность как совместной, так и независимой обработки основных цветовых компонент первичного изображения.

Технические характеристики программы

Программа обеспечивает задание и оперативное изменение следующих параметров вторичного трехмерного изображения:

1. Размер изображения. Этот параметр определяет на экране в пикселях линейные размеры четырехугольного полигона трехмерного изображения. Каждый такой полигон соотносится с одним элементом (пикселем) первичного двумерного изображения.
2. Детализацию изображения. Этот параметр задает количество пикселей первичного двумерного изображения на один структурный элемент (четырёхугольный полигон) трехмерного изображения.
3. поворот трехмерного изображения вокруг вертикальной оси;
4. поворот трехмерного изображения вокруг горизонтальной оси;
5. смещение трехмерного изображения по оси x;
6. смещение трехмерного изображения по оси y;

7. количество элементов 3d изображения или количество полигонов трехмерного изображения по координатам x, y (количество анализируемых элементов по координатам первичного изображения)
8. выбор номера строки (номеров строк) первичного изображения для проведения детального статистического, корреляционного, фазового и спектрального анализа;
9. смещение маркеров вдоль выбранных строк изображения;
10. выбор окраски трехмерного изображения (одноцветная, двухцветная, трехцветная, исходная);
11. выбор одной из трех цветовых компонент или их суммы в первичном изображении для проведения анализа;
12. выбор одной из шести анализируемых функций профиля строк(и).

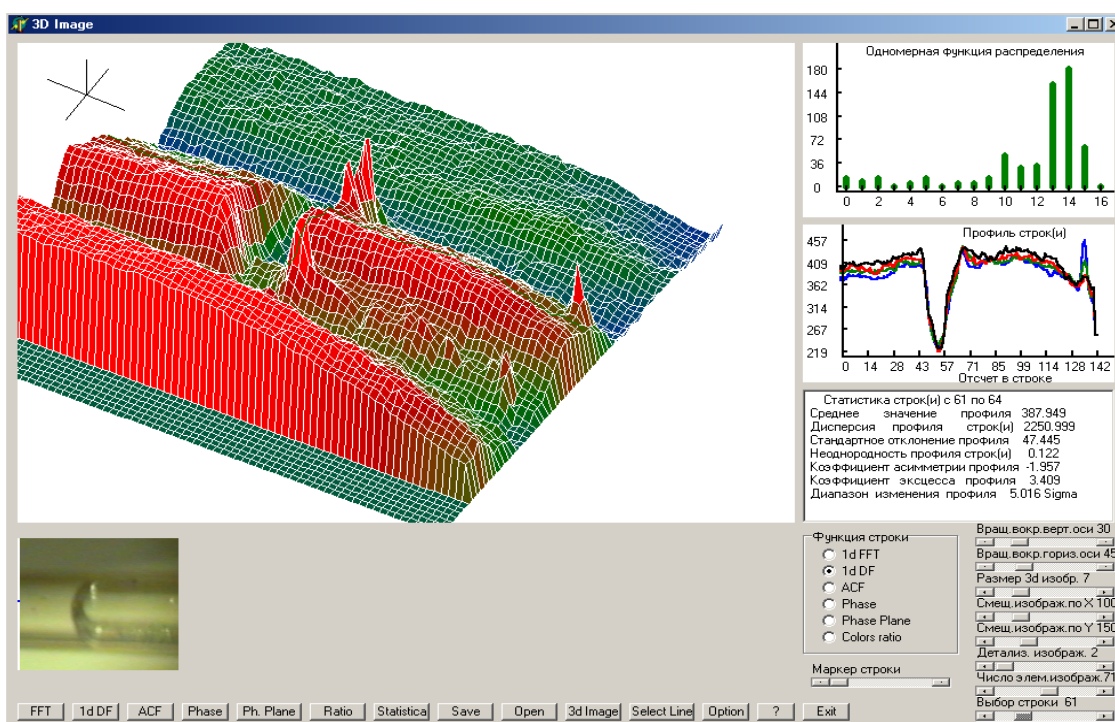


Рисунок 1. Вид рабочей панели программы после активизации основных выполняемых функций. Использован режим трехцветного отображения 3d изображения межфазовой границы жидкости и газа в капилляре диаметром 100 мкм. Анализируется профиль, одномерная функция распределения и статистика четырех выбранных строк (с 61 по 64).

Компонентный анализ яркостного и цветового профиля строк

В современных цифровых автоматизированных системах управления качеством при сборе, обработке, передаче и графическом отображении чаще всего используются растровые методы построчного считывания, передачи, приема и обработки изображений. При изучении растровых цветных оптических изображений детальный анализ яркостного и цветового профиля одной или нескольких выбранных строк позволяет существенно повысить точность представления информации об изменении яркости каждой из цветовых компонент вдоль выбранных строк первичного изображения. С учетом этого в большинстве программ, предназначенных для цифровой обработки изображений, предусмотрен построчный анализ отдельных строк. Для повышения информативности цифровой обработки и статистической точности в данной программе предусмотрена возможность выбора и анализа как одной, так и сразу нескольких строк.

Выбор номера анализируемой строки (номера первой строки в выбранной группе) осуществляется с помощью движка «Выбор строки». В процессе перемещения движка номер выбранной строки постоянно обновляется и отображается в виде числа над регулятором. Дополнительно к двумерному графику выбранной строки ее профиль можно обозначить зеленым цветом на трехмерном изображении путем двойного щелчка по клавише «3d Image». Количество выбранных строк задается в дополнительных опциях. Для изменения количества отображаемых строк необходимо на рабочей панели программы активизировать клавишу Option. На появившейся панели опций с помощью движка с надписью «Колич.обработ.строк» установить необходимое количество строк. После этого на панели Options нажать клавишу «Ok». На экране должна появиться рабочая панель программы. Изображение профиля строк можно вызвать или обновить двумя способами:

- 1) Щелчком по кнопке «Select Line»;
- 2) Путем изменения положения движка с надписью «Выбор строки» на основной панели программы.

На графике профилей строк (рис.2) по оси абсцисс откладываются порядковые номера N пикселей в строке первичного двумерного изображения. В случае анализа черно-белого первичного изображения по оси ординат откладывается

приведенный цифровой код $Y(N)$ яркости пикселей выбранной строки первичного изображения

$$Y(N)=R(N)+G(N)+B(N). \quad (1)$$

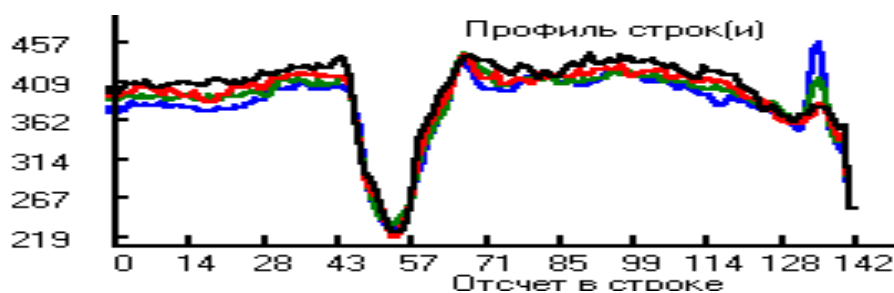


Рисунок 2. Яркостные профили четырех выбранных строк

При анализе основных цветовых компонент первичного изображения по оси ординат откладываются коды красной $R(N)$, зеленой $G(N)$ или синей $B(N)$ компонент цвета N -го пикселя каждой выделенной строки первичного изображения. Для лучшего разграничения профилей нескольких выбранных строк графики профилей отображаются разным цветом.

Для удобства сопоставления участков профиля выбранных строк с отдельными участками первичного изображения служат маркеры строк. Изменение их позиций осуществляется с помощью движка с надписью «Маркер строки».

Спектральный анализ профиля выбранной строки (строк)

Спектральный состав профиля выбранной строки позволяет обнаружить явные и скрытые периодичности изменения яркости цветовых компонент. Выбор данного режима работы программы осуществляется путем активизации клавиши 1d FFT (1d Fast Fourier Transform - одномерное быстрое преобразование Фурье) или в группе выбора опций «Функция строки». Число отсчетов K , по которым выполняется быстрое преобразование Фурье, задается равным 2^M , где M -целое (в данном варианте программы по умолчанию $M=6$). Величину K в пределах от 4 до 512 можно изменить в группе дополнительных опций. Следует учесть, что

особенности спектрального анализа таковы, что получаемое число спектральных компонент всегда в два раза меньше числа обработанных отсчетов K .

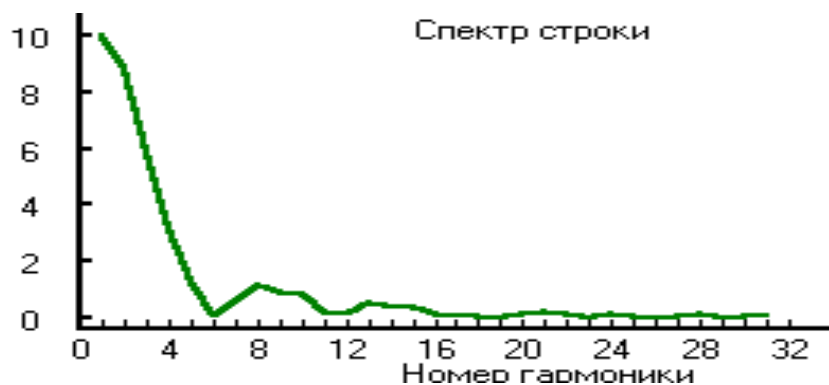


Рисунок 3. Частотный спектр яркостного профиля выбранных строк

На графике частотного спектра профиля строки (рис. 3) по оси абсцисс откладывается номер гармоники частотных составляющих, а по оси ординат - амплитуда составляющих спектрального разложения. Выбор масштаба отображения осуществляется автоматически исходя из нормировки амплитуд частотных составляющих по их максимальному значению.

Если в группе «Функция строки» была выбрана опция “1d FFT” то при каждом изменении номера строки с помощью движка “Выбор строки” автоматически обновляется спектральное разложение профиля строк(и). При выборе опции анализа нескольких строк отображаемый спектр соответствует усредненным (среднеквадратическим) значениям спектральных компонент по всем выбранным строкам.

Функция распределения яркостного профиля выбранных строк

Статистический анализ яркостного профиля выбранных строк позволяет определить вероятности появления участков поверхности с определенными градациями яркости цветовых компонент. Переход к данному режиму работы программы осуществляется путем активизации клавиши 1d DF (1d Distribution Function - одномерная функция распределения) или активизации функции 1d DF в группе выбора опций “Функция строки”. Число отсчетов K , по которым рассчитывается функция распределения, задается равным суммарному числу отсчетов во всех выбранных строках. Количество полос распределения в пределах

от 10 до 30 можно изменить в группе дополнительных опций с помощью регулятора с надписью «Число ординат 1D DF». По умолчанию количество полос распределения выбрано равным 17, что обусловлено обеспечением достаточной статистической точности анализа в пределах каждой полосы распределения.

Если в группе «Функция строки» была выбрана опция “1d DF”, то при каждом изменении номера строки с помощью движка “Выбор строки” автоматически обновляется статистическое распределение профилей строк по яркости.

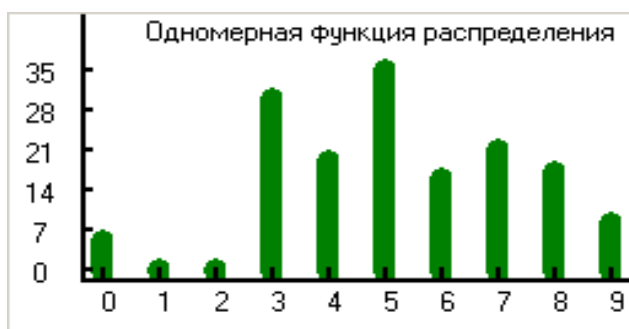


Рисунок 4. Одномерная функция распределения яркостного профиля выбранных строк

На графике функции распределения (рис. 4) по оси абсцисс откладывается номер интервала изменения градации яркости от минимальной до максимальной, а по оси ординат - число попаданий отсчетных значений яркости точек строк в интервалы (полосы) распределений. Выбор масштаба отображения осуществляется автоматически исходя из нормировки статистического распределения по максимальному значению. При статистическом анализе профилей нескольких строк отображаемая функция распределения соответствует усредненному распределению по профилям всех выбранных строк.

Отображение профилей строк на фазовой плоскости

Использование метода фазовой плоскости позволяет выявить регулярность повторяемости динамики изменения профиля строки в пространстве. Переход к данному режиму работы программы осуществляется путем активизации клавиши

Ph Plane. Фазовый портрет профиля строки отображается в координатах, у которых по одной из осей откладываются в нумерованной последовательности коды профиля строки, а по другой оси – та же последовательность, у которой номера отличаются на фиксированное число, устанавливаемое в дополнительных опциях с помощью движка с надписью «Задержка отсчетов». Если в группе «Функция строки» была выбрана опция “Phase Plane”, то при каждом изменении номера строки с помощью движка “Выбор строки” автоматически обновляются фазовые портреты профилей выбранных строк.

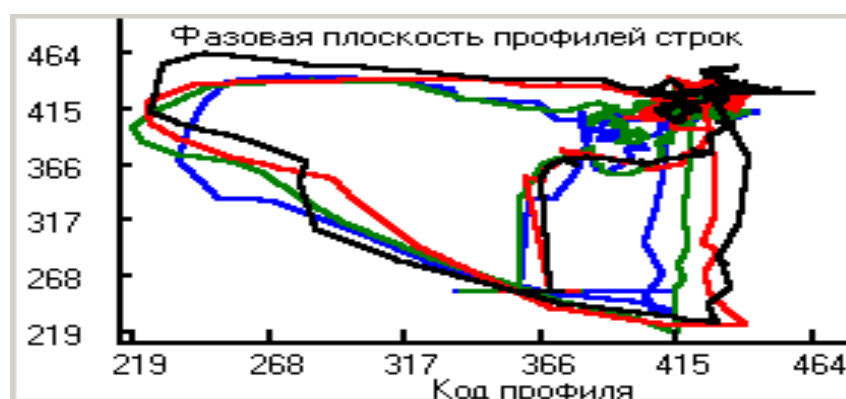


Рисунок 5. Отображение яркостных профилей четырех выбранных строк на фазовой плоскости

Литература

1. Бахтизин Р.З, Галлямов Р.Р. Физические основы сканирующей зондовой микроскопии. Второе издание.- Уфа, 2004 г., 84 с.
2. Компьютерная микроскопия /Пантелеев В.Г., Егорова О.В., Клыкова Е.И.. – М.: Техносфера, 2005 г., 305 с.
3. Статистические методы и обработка изображений в автоматизированных системах управления качеством /Гоц С.С., Ямалетдинова К.Ш., Васильев В.А., Хиразов Э.Р.. - Уфа, 2005, 230 с.
4. Арутюнов П.А., Толстихина А.Л. Сканирующая зондовая микроскопия в задачах метрологии нанoeлектроники. – Микроэлектроника, 1997, т.26, № 6, с. 426-439

5. Гоц С.С. Основы описания и компьютерных расчетов характеристик случайных процессов. – Уфа, 2005 г., 166 с.
6. Гоц С.С. Основы построения и программирования автоматизированных систем цифровой обработки сигналов. – Уфа, 2006 г. - 212 с.
7. Цифровое преобразование изображений / Р.Е.Быков, К.В.Иванов, А.А.Манцветов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2003. – 228 с.