

УДК 621.397  
ББК 32.84

## К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ДОСТОВЕРНОСТИ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

Ямалетдинова К.Ш., Гоц С.С.

*В статье рассмотрен вопрос о повышении достоверности обработки результатов экспериментальных исследований в оптической микроскопии. В качестве примера рассмотрены особенности тестирования аппаратного и программного комплекса персонального компьютера при работе с программой 3D\_Image. Эта программа была разработана специально для обработки цветных цифровых изображений, представленных в 24-разрядном формате BMP.*

### Введение

Использование цифровых методов обработки изображений, получаемых с помощью оптической микроскопии и цифровой фото-киносъемки, позволяют повысить информативность и достоверность при интерпретации экспериментальных данных. Существующие в настоящее время программные пакеты обработки изображений не могут в полной мере учесть специфику и все достоинства оптической микроскопии перед другими методами получения изображений исследуемых объектов [1,2]. В связи с этим возникает задача создания новых программных средств цифровой обработки оптических изображений [3]. Такая задача была поставлена и решена в БашГУ около двух лет тому назад.

В Башгосуниверситете была разработана программа 3D Image, предназначенная для построения и обработки трехмерных изображений, получаемых, в свою очередь, на основе цветных двумерных изображений, снятых через оптический микроскоп. Первоначально данная программа была использована при компьютерной обработке оптических изображений, полученных на капиллярной установке [4-5].

В качестве первичной информации в программе 3D Image используются двумерные цветные графические изображения, представленные в виде файлов точечного формата bmp. Первичное двумерное изображение трансформируется в трехмерное следующим образом. Две координаты и количественная информация

о яркости (о коэффициенте отражения) цветовых компонент каждого пикселя первичного двумерного изображения определяют три координаты соответствующего четырехугольного элемента (полигона) вторичного трехмерного изображения. Первичная информация может быть получена с помощью цифровых фотоаппаратов, видеокамер, сканеров. При работе с капиллярной установкой [4-5] первичное изображение снималась через аналоговую видеокамеру с последующим преобразованием телевизионного изображения в цифровую форму через специальную компьютерную видеокарту. Применение разработанной программы 3D Image позволило существенно улучшить детализацию и структуризацию отдельных фрагментов первичного изображения.

При разработке методики цифровой обработки изображений нами было учтено то обстоятельство, что в цифровой камере при кодировании первичной информации о яркости и цвете каждого пикселя используется стандартное разложение на три основные цветовые 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 изображения используется 24-битный код. Особенностью разработанной нами методики обработки изображений является возможность как совместной, так и независимой обработки основных цветовых компонент первичного изображения [4-5].

### **Погрешности цифровой обработки оптических изображений, связанные с квантованием видеосигнала по уровню**

Использование цифровых методов обработки информационных сигналов и изображений сопровождается появлением большого количества дополнительных специфических искажений [6]. В современной литературе [6-8] предлагается классификация по 9 - 12 видам искажений, непосредственно связанных с выполнением цифровой обработки сигналов (ЦОС).

Наиболее значимым видом искажений при цифровой обработке изображений являются погрешности квантования видеосигнала по уровню [6-8]. Следует учесть, что квантование сигнала по уровню и появление шумов

квантования может быть связано со следующими преобразованиями видеосигналов:

- 1) с первичным кодированием сигналов в цифровой видеокамере или в УСО;
- 2) с передискретизацией кода первичного изображения (MPEG, JPEG) в код bmp;
- 3) с цифровой обработкой кода изображения;
- 4) с отображением цифрового кода на экране компьютера.

24-битный стандарт кодирования цветных изображений в настоящее время считается одним из лучших по качественным показателям. С формальной точки зрения он позволяет передать около 16 миллионов цветовых оттенков. С точки зрения художественного отображения изображения такой показатель кажется просто ошеломляющим по своим качественным показателям, а относительные погрешности в седьмом знаке отображения яркости кажутся абсолютно несущественными. Тем не менее, использование 24-битного представления яркостного и цветового кода в стандарте bmp еще не гарантирует отсутствие существенных погрешностей, связанных с квантованием сигнала по уровню [6]. Чтобы понять это, достаточно напомнить, что каждая основная цветовая компонента кодируется восьмью битами, что соответствует 256 уровням яркости, или приведенной погрешности около 0.4%. В реальных оптических изображениях количество активных бит по одной или нескольким основным цветовым компонентам может оказаться меньше восьми. Например, при желтом оттенке изображения, обусловленном освещением стандартной лампой накаливания с низкой цветовой температурой количество активных бит в синей компоненте изображения может оказаться не более четырех. В этом случае относительная погрешность анализа синей цветовой компоненты окажется хуже 7 %. В программе 3D Image на осях графика яркостного профиля выделенных строк отображается специальная информация, позволяющая оценить относительную погрешность графических зависимостей. В частности, приведенному на рис. 1 изображению соответствует относительная погрешность отображения около 0.2 %.

В большинстве случаев при грамотном использовании методов цифровой обработке изображений [6, 7] возникающие искажения могут быть учтены и сведены к минимуму. Однако, для большей надежности в достоверности

полученных результатов при цифровой обработке изображений [8] экспериментатор должен иметь в своем арсенале средства для дополнительной проверки и тестирования, как программного обеспечения, так и функционально сложного графического оборудования современного компьютера.

Для первоначального тестирования работы программы можно воспользоваться любыми имеющимися графическими файлами, записанными в 24-разрядном формате bmp. Однако такая проверка может оказаться не вполне качественной. Лучше всего для тестирования программы использовать специальные графические файлы, имеющие синусоидальное изменение профиля с заданной периодичностью. К сожалению, следует признать факт того, что разработке, созданию и распространению доступных тестовых профилей изображений в настоящее время в мире уделяется недостаточное внимание. В связи с этим при разработке данной программы были созданы и использованы специальные тестовые профили графических изображений. В данной статье рассмотрим только три стадии тестирования аппаратно-программного комплекса.

### **Тестирование в режиме анализа частотного спектра выделенных строк**

Для тестирования программы используем графический файл, имеющий двухчастотную периодичность изменения зеленой и красной цветовой компонент с периодами соответственно в 64 пикселя по красной и в 16 пикселей по зеленой составляющей вдоль оси X. Формат первичного изображения составляет 192X192 пикселя. Устанавливаем число элементов 3d изображения, равным 75. В дополнительных опциях устанавливаем анализ черно-белого первичного изображения. Число точек FFT выбираем равным 128.

Изображение рабочей панели программы 3D\_Image в режиме анализа спектра строки по 128 точкам должно иметь вид, приведенный на рис.1. Пики на 2-й и 8-й гармониках спектра строки свидетельствует о том, что вдоль отрезка строки длиной в 128 пикселей укладывается ровно 2 периода изменения 64 пиксельной компоненты и 8 периодов 16-пиксельной компоненты изменения цветовой компонент строк.

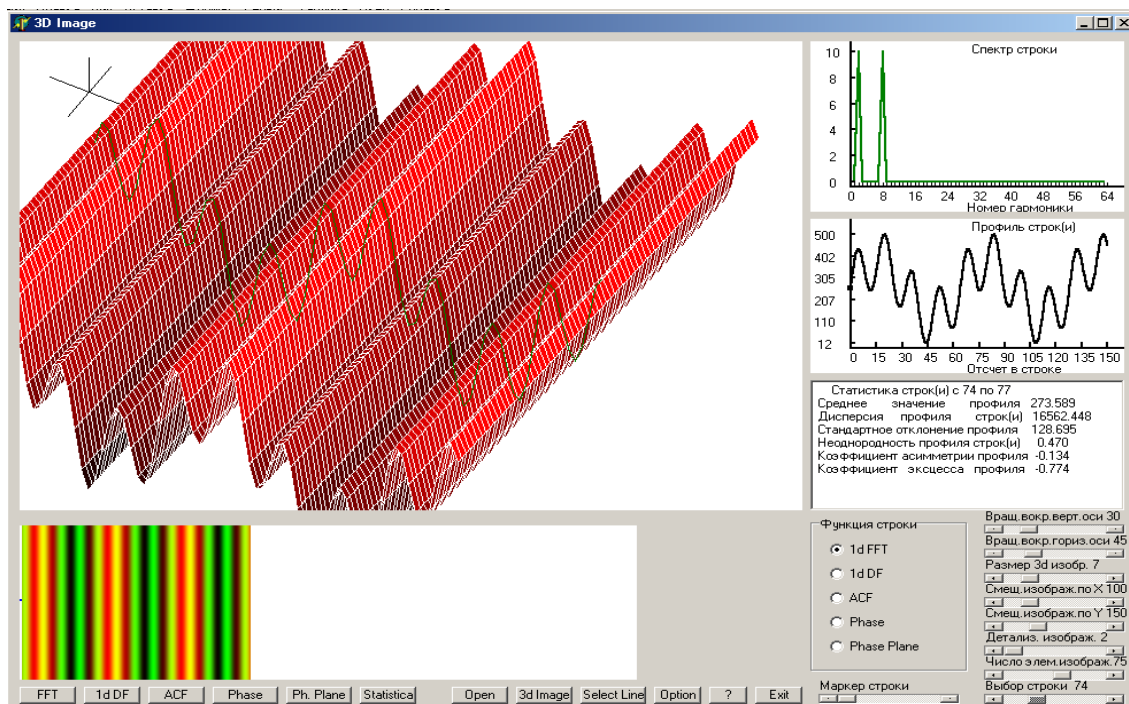


Рисунок 1. Изображение рабочей панели программы в режиме тестирования по файлу с одномерным двухчастотным синусоидальным яркостным профилем вдоль оси X. Установлен анализ черно-белого первичного изображения. Анализируется частотный спектр яркостного профиля четырех выбранных строк по 128 пикселям.

### Тестирование программы в режиме анализа одномерной функции распределения профилей выделенных строк

Переходим далее к тестированию точности анализа одномерной функции распределения. Для определенности выбираем такой режим работы, при котором в строке укладывается целое число периодов изменения яркости ( $192=64*3$ ). Для этого выбираем число элементов изображения, равным 96 ( $96*2=192$ ). В дополнительных опциях устанавливаем 12 ординат (полос распределения) 1d DF.

Изображение рабочей панели программы в режиме анализа одномерной функции распределения по 12 полосам имеет вид, приведенный на рис.2. Заметим, что в силу анализа статистики по конечному числу периодов синусоидального профиля коэффициент эксцесса синусоидального профиля с точностью до 0.2% оказался равным  $-1.503$ . Малые значения достигнутых погрешностей статистического анализа изображения достигаются оптимальным выбором числа точек, обеспечивающим анализ целого количества периодов профилей строк.

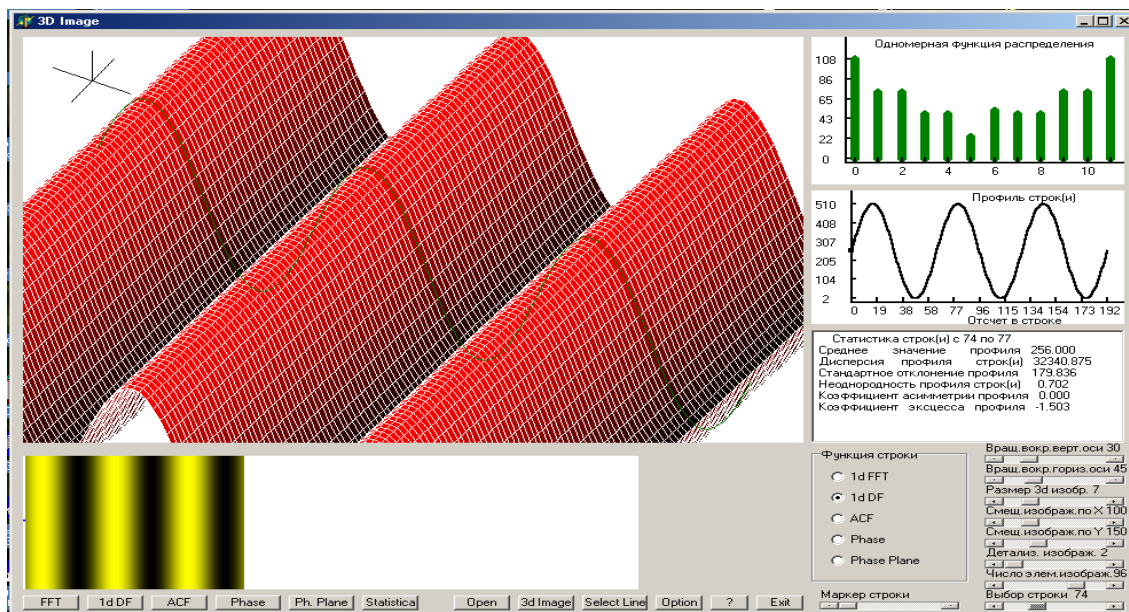


Рисунок 2. Изображение рабочей панели программы в режиме тестирования по файлу с одномерным синусоидальным яркостным профилем вдоль оси X. Установлен анализ черно-белого первичного изображения. Анализируется одномерная функция распределения по 12 ординатам яркостного профиля четырех выбранных строк.

### **Тестирование программы по файлу с двумерной периодичностью в режиме анализа яркостного профиля выделенных строк методом фазовой плоскости**

Для тестирования используем графический файл, имеющий двумерную периодичность изменения зеленой и красной цветовой компонент в 64 пикселя вдоль осей X и Y. Формат первичного изображения 192X192 пикселя. Устанавливаем число элементов 3d изображения, равным 80. В дополнительных опциях устанавливаем анализ черно-белого первичного изображения. Задержку отсчетов устанавливаем равной 10.

Для перехода в режим отображения профилей яркостных строк на фазовой плоскости выполняем щелчок мышью по клавише с надписью «Ph. Plane». Изображение рабочей панели программы 3D\_Image в выбранном режиме анализа должно иметь вид, приведенный на рис.3. Как видно из рисунка, фазовые траектории всех выделенных строк имеют вид концентрических эллипсов, главные оси которых повернуты на некоторый угол относительно осей координат. В процессе тестирования программы следует убедиться, что при изменении параметра задержки отсчетов (изменение задержки осуществляется регулятором

на панели дополнительных опций) происходит изменение формы и наклона эллипсов, соответствующих фазовым траекториям профилей строк. При нулевой задержке фазовые траектории вырождаются в наклонную прямую линию.

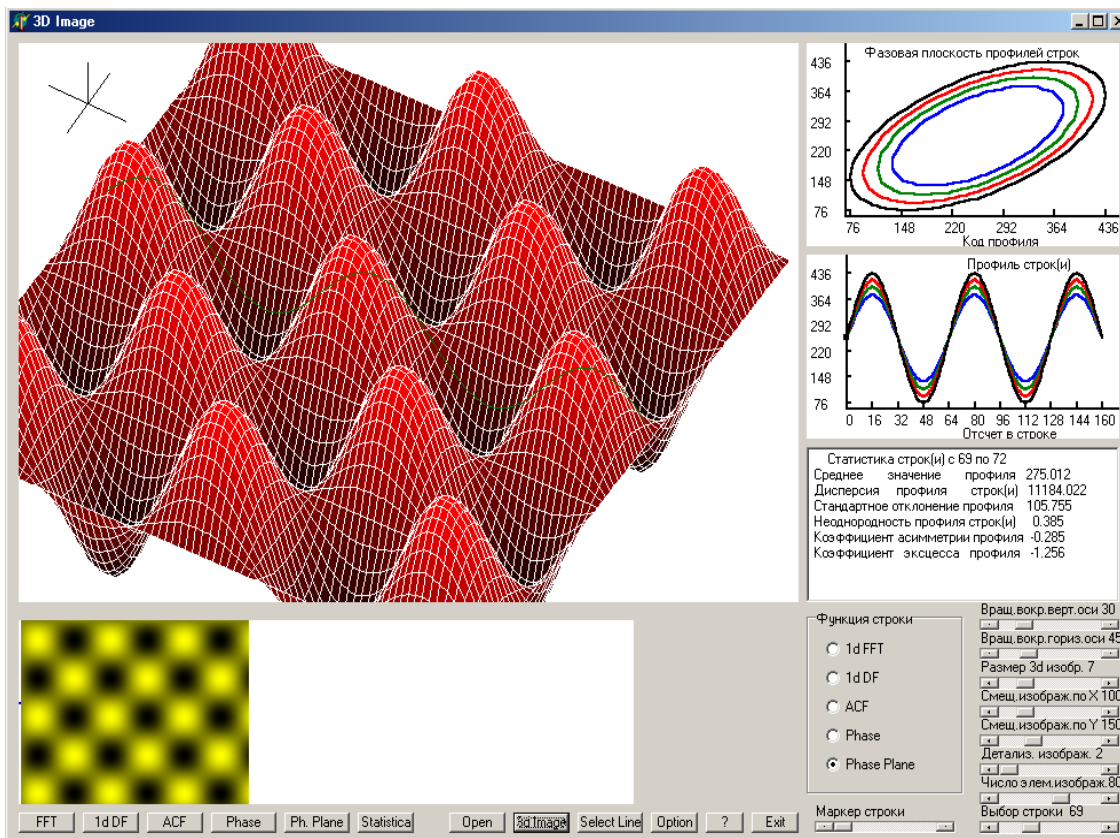


Рисунок 3. Изображение рабочей панели программы в режиме тестирования по файлу с двумерным синусоидальным яркостным профилем вдоль осей X и Y. Установлен анализ черно-белого первичного изображения. Анализируется яркостной профиль четырех выбранных строк на псевдофазовой плоскости.

Таблица 1

Примерная настройка опций программы, критичных к тестированию файла с двумерной периодичностью, в режиме анализа яркостного профиля строк методом псевдофазовой плоскости.

Название параметра	Устанавливаемое значение
Размер (полигонов 3d) изображения	7
Окраска изображения	Двухцветная
Детализация изображения	2
Число элементов изображения (Число L элементов разлож. 3D изображ.)	80
Задержка отсчетов	10
Число обрабатываемых строк	4

Кроме описанных в данной статье трех стадий тестирования в приведенной документации к программе 3D Image предусмотрено также тестирование в режиме анализа автокорреляционной функции и фазово-частотных характеристик яркостных профилей строк.

### Литература

1. Бахтизин Р.З., Галлямов Р.Р. Физические основы сканирующей зондовой микроскопии. Второе издание.- Уфа, 2004 г., 84 с.
2. Арутюнов П.А., Толстихина А.Л. Сканирующая зондовая микроскопия в задачах метрологии нанoeлектроники. / Микроэлектроника. - 1997. - т.26, № 6. - С. 426-439
3. Пантелеев В.Г., Егорова О.В., Клыкова Е.И. Компьютерная микроскопия. – М.: Техносфера, 2005 г. - 305 с
4. 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.
5. Гоц С.С., Ямалетдинова К.Ш., Васильев В.А., Хиразов Э.Р. Статистические методы и автоматизированные системы контроля качества. - Уфа, 2005.- 207с.
6. Гоц С.С. Основы построения и программирования автоматизированных систем цифровой обработки сигналов. – Уфа, 2006 г. - 212 с.
7. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – Санкт-Петербург.: Питер, 2003, 608 с.
8. Цифровое преобразование изображений / Р.Е.Быков, К.В.Иванов, А.А.Манцетов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2003. – 228 с.