

УДК 655.001

Н.С. Гурьева

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники***ОБРАБОТКА ТЕСТОВЫХ ШКАЛ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ ВВОДА**

*В данной работе исследованы методы фильтрации шумов для устранения дефектов, которые вносят искажения при считывании исходной информации о цвете при построении профиля ввода. Кроме того, в работе предложен новый способ устранения искажений – метод сглаживания, основанный на анализе статистических данных, и проведено сравнение этого способа со стандартными методами линейной и медианной фильтрации.*

*методы фильтрации шумов, профиль ввода, тестовая шкала*

**Введение**

Получение высококачественных цветных репродукций возможно при наличии известных цветочастотных характеристик устройств. Определение таких характеристик является целью процедуры характеристики, которая включает два этапа: калибровку (calibration) и профилирование (profiling).

Калибровка устройств представляет собой процесс перевода устройства в такое состояние, в котором оно будет иметь известный фиксированный цветовой отклик. В данном состоянии для устройства определяется взаимосвязь между аппаратно-зависимыми и аппаратно-независимыми параметрами цветового описания. Взаимосвязь называется характеристической функцией и представляется в виде профиля устройства – полного описания его цветового отклика.

Для устройств ввода цветных изображений, например для сканеров, характеристика выполняется при наличии эталонного набора цветочастотных образцов. Основными данными для построения профиля являются цветочастотные характеристики тестовой шкалы. Сравнение эталонных данных, и данных, полученных при сканировании эталонного изображения, дают информацию о репродукционных свойствах сканера [1]. При этом во многом качество готового профиля определяется корректностью исходных данных – отсутствием каких-либо дефектов на полях шкалы [2, 3].

Ослабление действия помех – царапин, пыли, присутствующих на тестовой шкале, – достигается фильтрацией. Для подавления аддитивного гауссового шума оптимальными являются линейные фильтры [4 – 6]. Фильтры данного класса применяются в задачах восстановления исходного изображения, при условии, что математическое ожидание шума равно нулю. В исходном изображении значения интенсивности пикселей, находящихся рядом, будут схожими. Причем чем меньше расстояние между пикселями, тем больше вероятность их схожести, в отличие от шумовой компоненты, для которой схожесть пикселей не

зависит от расстояния между ними. Поэтому шумоподавление при помощи линейного фильтра имеет существенный недостаток: пиксели на некотором удалении от обрабатываемого оказывают на результат тот же эффект, что и соседние.

В отличие от шумоподавления при помощи сглаживающих линейных фильтров, медианная фильтрация способна эффективно справляться с помехами в случае, когда они независимо воздействуют на отдельные пиксели. Например, такой помехой является «снеговой» шум, когда по изображению распределены пиксели с максимальной и минимальной интенсивностями. Медианный фильтр отдельные пиксели, существенно отличающиеся от цвета фона, заменяет цветом окрестности. Таким образом, подавление шума в медианном фильтре основано на исключении экстремальных значений входной выборки [7].

Однако, основным недостатком сглаживающих линейных и медианных фильтров является размывание границ. Этот недостаток оказывается решающим при обработке изображений в виде тестовых шкал. Такие изображения служат основой для построения профилей устройств в программах-профилировщиках, поэтому искажение информации о границах полей приводит к формированию некачественного профиля. Поэтому эффективным может оказаться преобразование гистограмм изображений, при котором используются вероятностные модели изображения и помехи [4, 8].

В данной статье предлагается использовать преобразование гистограмм для устранения локальных дефектов на изображениях сканированных тестовых шкал при характеристике устройств ввода.

**Постановка задачи.** Спектр излучения, отраженного объектом со спектральным отражением  $\mathbf{r}$  под действием освещения  $\mathbf{I}$  можно выразить как произведение  $\mathbf{Lr}$ , где  $\mathbf{L}$  –  $N \times N$  диагональная матрица, ее элементы – это элементы вектора  $\mathbf{I}$ . Столбцы  $N \times 3$  матрицы  $\mathbf{A}$  содержат значения стандартных кривых сложения CIEXYZ. По цветовым координатам в пространстве CIEXYZ для спектра  $\mathbf{Lr}$  можно

рассчитать и координаты в пространстве CIE Lab:

$$\mathbf{t} = H_{Lab}(\mathbf{A}^T \mathbf{Lr}), \quad (1)$$

где  $H_{Lab}$  – преобразование от цветового пространства CIE XYZ к пространству CIE Lab.

Математически процесс сканирования одного поля шкалы можно выразить следующим образом [9]:

$$z_i = H(M^T r_i), \quad (2)$$

где матрица  $M$  характеризует спектральную чувствительность сканера (включая спектр источника освещения прибора);  $r_i$  – спектральный коэффициент отражения поверхности в пространственной точке  $i$ ;  $H$  – нелинейная модель сканера и  $z_i$  – вектор записанных сканером значений сенсоров.

Для тестовой шкалы спектральные коэффициенты отражения заданных цветов  $M_r$  будут обозначены как множество  $\{r_k\}$  для  $1 \leq k \leq M_r$ . Эти образцы измеряются спектрофотометром, результатом измерений являются аппаратно-независимые цветовые координаты CIE XYZ  $\{t = A^T Lr\}$  для  $1 \leq k \leq M_r$ .

Сигналы сенсоров сканера образуют совокупность значений

$$z_k = H(M^T r_k) \text{ для } 1 \leq k \leq M_r. \quad (3)$$

Им соответствуют цветовые координаты CIE XYZ

$$t'_k = F_{scan}(z_k), \quad (4)$$

где  $F_{scan}$  – цветовой отклик сканера, описываемый его профилем.

Пусть результат сканирования шкалы подвергнут некоторому улучшающему преобразованию  $G$ . Следовательно, результирующие цветовые координаты полей будут записываться как

$$t''_k = G(t'_k) = G(F_{scan}(z_k)). \quad (5)$$

Тогда задача обработки данных при построении профиля сканера – это определение преобразования  $G$  такого, что

$$G = \arg \left( \min_G \sum_{k=1}^{M_r} \|G(F_{scan}(z_k)) - t_k\|^2 \right), \quad (6)$$

где  $\|\bullet\|^2$  – метрическое значение ошибки в пространстве CIE.

Обычно в качестве меры различий используют Евклидово расстояние.

### Результаты эксперимента

На практике процесс подготовки тестовой шкалы для дальнейшей обработки в программе профилирования цветовоспроизводящих устройств – это длительный и трудоемкий процесс, поскольку изображение содержит различные мелкие дефекты (царапины, соринки и т.д. как показано на рис. 1).

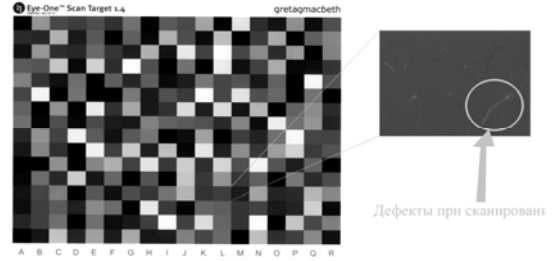


Рис. 1. Дефекты на полях шкалы.

В данной работе был использован сканер Arcus II и спектрофотометр Eye-One компании GretagMacbeth. При характеристике сканера применена тестовая шкала i1 RGB Scan 1.4. Тест i1 RGB Scan 1.4 – это таблица, содержащая 288 полей различных цветов, представляющих собой равномерную выборку из цветового пространства RGB. Вместе с тестовой таблицей поставляется файл данных, содержащий эталонные RGB-значения для каждого цвета поля.

Для исключения эффекта размывания границ полей предлагается преобразование гистограмм распределения цветовых координат (рис. 2).

Распределение имеет основной пик – основной цвет поля с цветовыми координатами  $R_o, G_o, B_o$  и шум. Предположим, что цвета пикселей, вероятность появления которых менее 0,2 (согласно гистограммам на рис. 2), соответствуют мелким дефектам изображения. Тогда необходимо исключить все дефекты, площадь которых  $S_d$  составляет не более 20% площади поля, т.е.

$$N_d \leq 0,2 N_i, \quad (7)$$

где  $N_d$  – количество пикселей поля, занятых дефектом;  $N_i$  – суммарное количество пикселей  $i$ -го поля.

Рассматривая  $R_{pix}, G_{pix}, B_{pix}$  как независимые величины, можно сказать, что для оценки математического ожидания нормального распределения цветов пикселей одного поля шкалы служит функция среднего арифметического наблюдаемых значений [10].

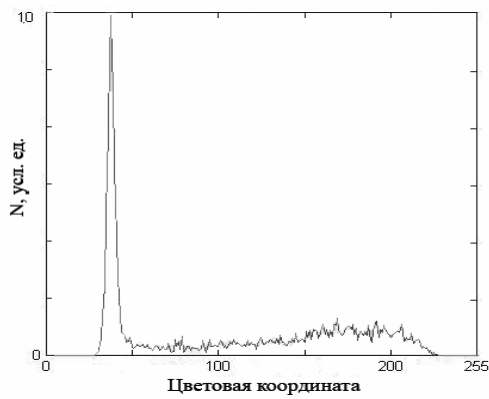
Таким образом, для построения профиля необходимо использовать такой цвет поля, координаты которого являются средним арифметическим координат пикселей после замены:

$$R_i = \frac{1}{N_o} \sum_{pix=1}^{N_o} R_{pix}; \quad G_i = \frac{1}{N_o} \sum_{pix=1}^{N_o} G_{pix}; \quad (8)$$

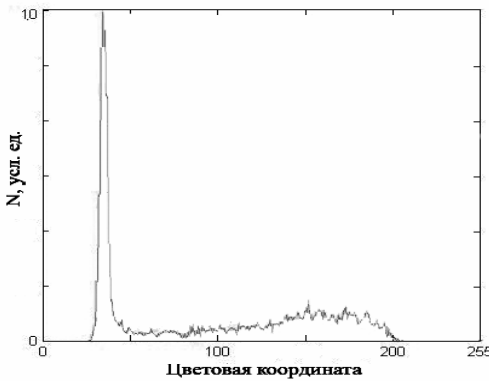
$$B_i = \frac{1}{N_o} \sum_{pix=1}^{N_o} B_{pix}.$$

Тогда для всех пикселей, для которых выполняется условие (7), цветовые координаты  $R_{pix}, G_{pix}, B_{pix}$  заменяются на  $R_o, G_o, B_o$ .

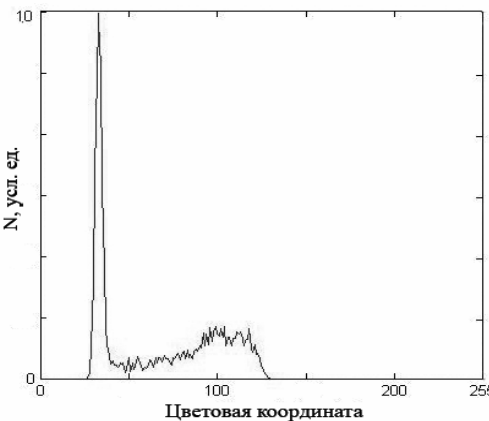
После исключения дефектов или иной обработки изображений сканированной шкалы полученные данные поступают на вход программы-формирователя профилей.



а



б

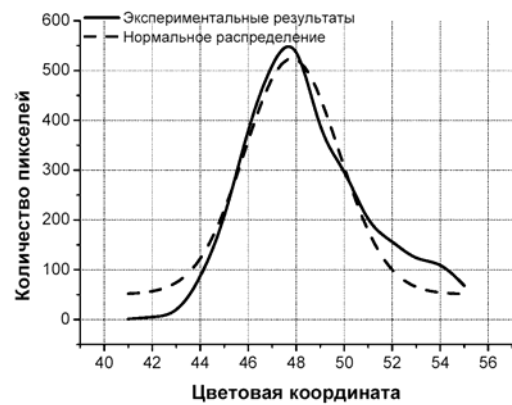


в

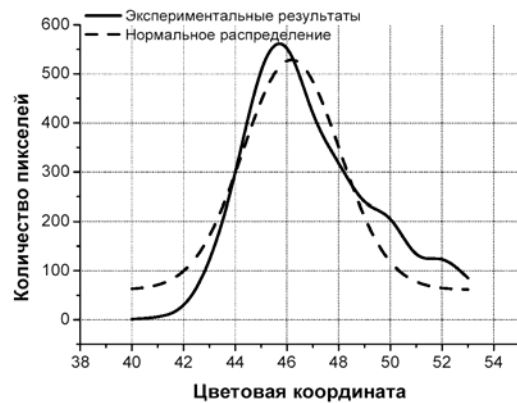
Рис. 2. Гистограммы частоты появления цветовой координат: а – для красного канала, б – для зеленого канала, в – для синего канала

Качество обработки сканированной шкалы оценивается после построения профиля  $F_{scan}(z_k)$ , который применяется к цифровому файлу тестовой шкалы. Чтобы оценить эффективность существующих способов улучшения шкалы и предлагаемой процедуры, необходимо построить несколько профилей  $F_{scan1}(z_k)$ ,  $F_{scan2}(z_k)$ , ...,  $F_{scanM}(z_k)$ . Затем находят цветовые координаты полей шкалы после применения профилей:

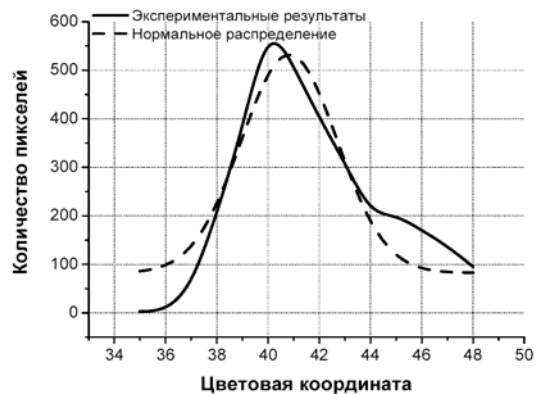
$$\begin{aligned} t'_{k1} &= F_{scan1}(z_k); \\ t'_{k2} &= F_{scan2}(z_k); \dots; \\ t'_{kM} &= F_{scanM}(z_k). \end{aligned} \quad (9)$$



а



б



в

Рис. 3. Плотности распределения вероятностей: а – для красного канала, б – для зеленого канала, в – для синего канала

Расхождение полученных координат с эталонными значениями свидетельствует о качестве подготовки шкалы.

Для выбора оптимальной процедуры подавления дефектов необходимо определить тип распределения данных в результатах сканирования. Применение критерия Пирсона подтвердило гипотезу о нормальном распределении полученной выборки (рис. 3).

Таким образом, в пределах каждого цветового поля значения цветовой координаты пикселей распределены нормально, поэтому оптимальным должно быть применение линейных фильтров для подавления шумов.

В ходе исследования были построены три профиля. В основе профиля 1 – сканированная шкала с дефектами; в основе профиля 2 – шкала, где дефекты удалены с использованием статистических данных; в основе профиля 3 – шкала, обработанная стандартным медианным фильтром; в основе профиля 4 – шкала, обработанная стандартным линейным фильтром. Поскольку исходные данные имеют нормальное распределение, оптимальным должно быть применение линейного фильтра.

Профили 1, 2, 3, 4 применены к цифровому файлу тестовой шкалы. Значения отклонений цветовых координат некоторых «памятных» цветов от эталонных значений представлены в табл. 1. Цветовые различия  $\Delta E$  между полями полученных шкал оценивались с помощью евклидовой метрики.

Средние значения ошибки  $\Delta E$  найдены с учетом всех 288 полей шкалы. Результаты расчетов усредненных цветовых различий  $\Delta E$  между полями полученных шкал приведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения цветовых координат «памятных» цветов

№ поля	Исх. знач.	Без профиля		Профиль 1		Профиль 2		Профиль 3		Профиль 4	
	L,a,b	L,a,b	$\Delta E$	L,a,b	$\Delta E$	L,a,b	$\Delta E$	L,a,b	$\Delta E$	L,a,b	$\Delta E$
Цвет кожи человека											
B10	73,36,44	60,37,37	14.8	74,44,44	8.1	74,42,44	<b>6.1</b>	74,42,45	6.2	73,42,46	6.3
H10	73,36,44	77,15,34	9.1	91,17,39	8.4	91,18,35	<b>6.7</b>	91,17,37	7.1	91,17,37	7.1
J11	73,36,44	78,18,6	9.1	94,18,6	7.1	94,19,7	<b>7.0</b>	94,18,7	7.1	94,19,7	7.0
Цвет растительной зелени											
F1	34,-54,19	35,-40,10	16.7	35,-56,22	2.8	35,-55,21	<b>1.9</b>	35,-53,21	1.9	35,-55,21	1.9
J2	34,-54,19	36,-28,18	29.1	48,-50,32	3.4	48,-51,34	<b>2.7</b>	48,-50,31	4.1	48,-51,32	3.0
E3	34,-54,19	45,-23,15	16.8	56,-36,18	5.4	54,-35,18	<b>5.2</b>	57,-35,18	5.2	56,-36,18	5.4
Цвет неба											
J1	46,-20,-43	-43,37,-6	19.1	47,-23,-45	3.5	47,-22,-44	<b>2.3</b>	46,-23,-45	3.2	47,-22,-46	3.5
L2	46,-20,-43	72,-15,-18	9.8	83,-24,-20	6.0	83,-24,-20	<b>6.0</b>	82,-24,-20	5.0	83,-25,-19	6.0
P3	46,-20,-43	64,-7,-24	8.4	76,-16,-28	7.5	75,-16,-26	<b>6.1</b>	76,-15,-26	6.3	76,-15,-28	7.0

Таблица 2

Среднее значение ошибки  $\Delta E$  по всем полям

Среднее значение ошибки $\Delta E$ после создания и применения профиля				
Без применения профиля	Профиль 1	Профиль 2	Профиль 3	Профиль 4
18,6	8,7	<b>6,9</b>	7,5	7,7

Таким образом, из таблиц видно, что профиль, построенный с применением линейного фильтра, не обеспечивает наименьшей ошибки цветовоспроизведения при создании профиля. В то же время, предложенная процедура позволяет сформировать профиль сканера, который гарантирует наибольшее соответствие воспроизводимых цветов.

## Выводы

В работе была исследована эффективность применения стандартных методов обработки цифровых изображений сканированных тестовых шкал, а также предложен новый способ устранения локальных дефектов шкалы. Результаты исследований показали, что предложенный способ является наиболее эффективным с точки зрения точности воспроизведения цветов и может быть применен для ускорения процесса построения цветового профиля устройств ввода.

## Список литературы

1. Sharma G., Trussell H.J. Set theoretic estimation in color scanner characterization. – *J. Electronic Imaging*, 5 (4), 1996. – P. 479-489.
2. Фрэнгер Б., Мэрфи К., Бантинг Ф. Управление цветом. Искусство донепечатной подготовки: Пер. с англ. – К.: ООО «ТИД «ДС», 2003 – 464 с.

3. Титов А.С. Особенности построения ICC-профилей при репродуцировании оригинала флексографским способом // *Новости полиграфии*. – 2007. – № 1, 2. – С. 37-41.

4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Кн.1. – М.: Мир, 1982. – 340 с.

5. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов. – М.: Мир, 1988. – 430 с.

6. Спектор А.А. Рекуррентная фильтрация гауссовских дискретных полей, наблюдаемых в гауссовских шумах // *Радиотехника и электроника*. – 1994. – № 7. – С. 41-45.

7. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Под ред. Т.С. Хуанга. – М.: Радио и связь, 1984. – 360 с.

8. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. – М.: Сов. радио, 1979. – 240 с.

9. Sharma G., Trussell H.J. Figures of Merit for Color Scanners. – *IEEE Trans. Image Proc.*, V. 6, No. 7, July 1997. – P. 990-1001.

10. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. Изд. 2. – М.: Наука, 1985. – 320 с.

Поступила в редколлегию 23.07.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Е.В. Бодянский, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.