

## ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГО ФИЛЬТРА И ОБРАБОТКИ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Зимин Д.И., Фурсов В.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет  
Институт систем обработки изображений РАН

### Аннотация

Рассматривается задача улучшения качества цветных изображений. Для определения параметров БИХ-фильтра решается задача идентификации на формируемых тестовых фрагментах на примере сквозной технологии определения восстанавливающего устойчивого фильтра и обработки изображений в оттенках серого. Идентификация фильтра и обработка цветного изображения осуществляется в цветовом пространстве Lab.

### Постановка задачи

Задача улучшения качества цветных изображений возникает во многих приложениях. Типичными источниками таких искажений могут быть дефокусировка объектива, скоростной сдвиг (смаз), влияние среды и др. Характеристики искажений могут существенным образом изменяться для различных реализаций. При этом одна из основных проблем заключается в оперативном построении восстанавливающего фильтра для каждого вида искажений.

В работе [2] рассматривалась технология построения восстанавливающих фильтров и обработки изображений в оттенках серого (grayscale) в виде следующих этапов:

1. Выбор на искаженном изображении фрагментов, пригодных для слепой идентификации модели искажений в канале;
2. Формирование из выбранных фрагментов тестовых образцов (компьютерное ретуширование изображений на фрагментах);
3. Идентификация параметров искажающей системы и/или восстанавливающего фильтра по отобраным и тестовым (ретушированным) фрагментам;
4. Выбор класса и уточнение параметров восстанавливающего фильтра по критериям вычислительной сложности, устойчивости и качества обработки;
5. Обработка изображения.

Цветные изображения чаще всего представляются в виде RGB-компонент. К сожалению, при таком представлении не удается организовать покомпонентную обработку так, чтобы при этом обеспечивалось высокое качество цветовоспроизведения. В настоящей работе рассматривается технология обработки цветных изображений с использованием перехода в цветовое пространство Lab.

### Цветовые модели

Цвет в значительной степени субъективная характеристика излучения. Восприятие цвета зависит от множества различных факторов, в первую очередь от спектрального состава излучения и от личных психофизических особенностей наблюдателя.

Три параметра цвета, напрямую зависящие от параметров излучения, следующие. Яркость – пропорциональна энергии светового пучка в видимом

диапазоне, насыщенность – определяется наличием в спектре излучения преобладающих длин волн, цветность – значением этих преобладающих длин волн. На основе этих трех характеристик строится система HSL. Существует еще несколько аналогичных HSL “интуитивных” систем описания цвета. Все они включают в себя три независимых параметра, связанных между собой.

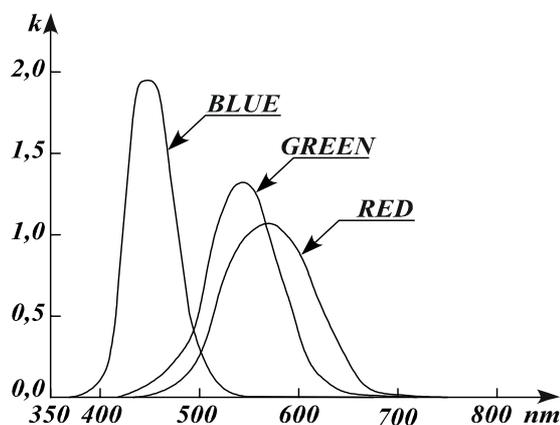


Рис. 1 Кривые чувствительности.

Человеческий глаз реагирует на спектральный состав видимого света в диапазоне 380-700 нм. Экспериментально установлено, что глаз имеет три типа рецепторов, каждый из которых имеет свою кривую чувствительности (рис. 1).

Поэтому ГОСТ 13088-67 определяет цвет как аффинную векторную величину трех измерений, выражающую свойство, общее всем спектральным составам излучений, визуально неразличимым в колориметрических условиях наблюдения. Таким образом, определяется трехмерное аффинное пространство, называемое *цветовым пространством*.

Принятым стандартом колориметрической системы координат является система XYZ. Данная система получается линейным преобразованием из системы RGB. Для преобразования из пространства спектров в RGB и XYZ используется функции сложения, для того, чтобы исключить появление отрицательных цветовых координат (рис. 2 и 3).

По стандартам, выработанным французской международной комиссией по цветовым измерениям CIE (Commision Internationale d'Eclairage) в 1931 году установлен следующий вид преобразования в XYZ:

$$\left. \begin{aligned} X &= k \int_{\Lambda} S(\lambda) x(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\ Y &= k \int_{\Lambda} S(\lambda) y(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\ Z &= k \int_{\Lambda} S(\lambda) z(\lambda) R(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $k = \frac{100}{\int_{\Lambda} S(\lambda) y(\lambda) d\lambda}$ ,  $\Lambda$  – интервал длин волн вос-

принимаемый человеческим зрением, обычно принимается равным диапазону 80–700 нм.

$R(\lambda)$  – спектр образца, цветовые координаты которого хотим определить;

$S(\lambda)$  – спектральный состав излучения от источника освещения; существует набор стандартизованных спектров для типичных источников, классифицированных по их цветовой температуре (солнечный свет в ясный день, в пасмурный день, лампа накаливания и проч.).

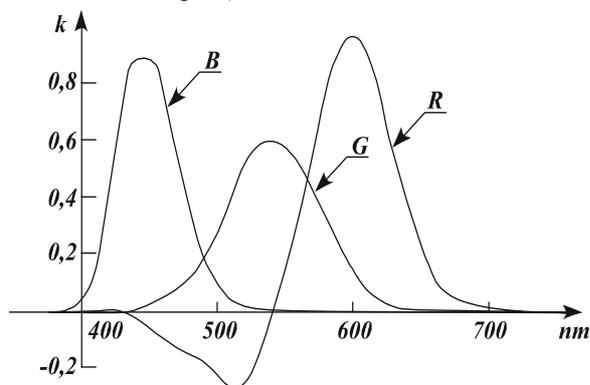


Рис. 2. Кривые сложения R, G, B

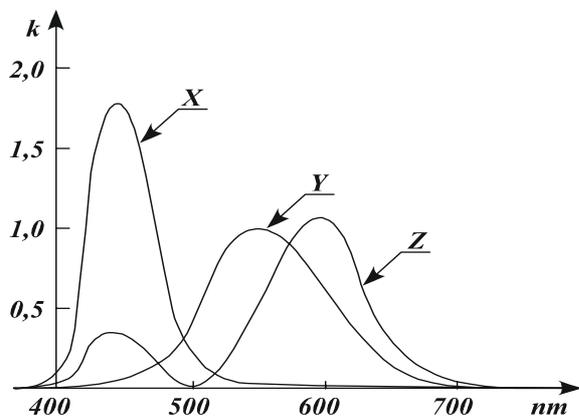


Рис. 3. Кривые сложения X, Y, Z

Рассмотренные выше колориметрические системы RGB и XYZ дают возможность определять цвета с помощью цветовых координат, что позволяет их воспроизвести. Однако дать количественную оценку различия между цветами эти системы не позволяют. Например, известно, что излучения с  $\lambda=650$  нм и  $\lambda=680$  нм будут красными. С помощью колориметрических систем RGB и XYZ это определить невозможно, так как эти системы, будучи неравноконтрастными, не дают информации о степени различия близких цветов, особенно контрастирующих по цве-

товому тону. Иными словами оба этих пространства является анизотропным.

В 1976 году CIE была рекомендована близкая к требованию изотропности (равноконтрастности) цветовая система CIELUV – для аддитивного синтеза (например, телевидения) и CIELAB – для субтрактивного (полиграфии).

Переход от XYZ к Lab осуществляется согласно следующим соотношениям:

$$\left. \begin{aligned} L &= 116 f(y/y_N) - 16 \\ a &= 500 [(f(x/x_N) - f(y/y_N))] \\ b &= 200 [f(y/y_N) - f(z/z_N)] \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где  $x_n = 96,422$ ,  $y_n = 100$ ,  $z_n = 82,521$ ,

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & \forall t > 0,008856 \\ 7,7867t + 16/116 & \forall t \leq 0,008856 \end{cases}. \quad (3)$$

Соотношение (2) как бы сглаживает неравноконтрастность XYZ, “растягивая” близкую к нулю область XYZ.

### Технология обработки

Основной моделью хранения графической информации является модель RGB. Вследствие указанного выше свойства анизотропности данной модели использовать ее для обработки цветных изображений затруднительно. В этом отношении более предпочтительно использовать модель Lab, отвечающую условиям изотропности. Далее рассматривается поэтапная технология обработки цветных изображений, включающая переход от пространства RGB в Lab и обратно.

Каждый отсчет цветного изображения, в случае если используется модель хранения RGB, представлен в виде вектора  $(r \ g \ b)^T$ . На первом этапе для каждого отсчета цветного изображения осуществляется переход от модели RGB в модель XYZ по формуле [8]

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,412453 & 0,357580 & 0,180423 \\ 0,212671 & 0,715160 & 0,072169 \\ 0,019334 & 0,119193 & 0,950227 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Затем, используя (2) и (3), происходит переход в модель Lab. Известно, что компонента L отвечает за уровень яркости, а остальные две за цветообразование, поэтому есть основание предполагать, что перераспределение выше искажениям будет подвергаться именно L–компонента.

Как указывалось выше, основная трудность решения подобных задач заключается в оперативном построении фильтра. Также как в работе [2] в данном случае рассмотрим применение идеи «слепой» обработки сигналов [6], прошедших через канал с неизвестными характеристиками на фоне шумов. В частности решается задача коррекции линейных искажений цветных изображений, в данном случае формулируется как задача восстановления двумерного, пространственно–ограниченного, неотрицательного сигнала искаженного линейным оператором размерность и параметры которого неизвестны.

Задача слепой коррекции искажений (blind image deconvolution) возникает при отсутствии априорной информации об импульсной реакции, искажающей системы. Поэтому слепая идентификация [6] модели этой системы является необходимым этапом.

Задачу параметрической идентификации восстанавливающего фильтра будем решать в классе фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтров), для которых связь отсчетов выходного  $g(n_1, n_2)$  и входного  $f(n_1, n_2)$  изображений описывается соотношением [2]:

$$g(n_1, n_2) = - \sum_{(m_1, m_2) \in Q_g} a_{m_1, m_2} g(n_1 - m_1, n_2 - m_2) + \sum_{(m_1, m_2) \in Q_f} b_{m_1, m_2} f(n_1 - m_1, n_2 - m_2) + \xi(n_1, n_2), \quad (5)$$

где  $a_{m_1, m_2}$ ,  $b_{m_1, m_2}$  – подлежащие определению коэффициенты фильтра,  $\xi(n_1, n_2)$  – дискретный шум. Затем, используя полученный фильтр, происходит обработка изображения [2].

Завершающим этапом является переход от пространства Lab обратно в пространство RGB, первоначально используя (2), а затем:

$$\begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,240479 & -1,537150 & -0,498535 \\ -0,969256 & 1,875992 & 0,041556 \\ 0,055648 & -0,204043 & 1,057311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Преобразование (6) осуществляется для каждого отсчета изображения, мы получаем обработанное цветное изображение.

### Пример

Ниже приводится пример реализации описанной технологии. Исходное искаженное изображение (рис. 4) типа «городской сюжет» формировалось путем моделирования гауссовским размытием. Соответственно этому изображению L-составляющая, полученная путем перехода из пространства RGB в пространство Lab, показано на рис. 5.

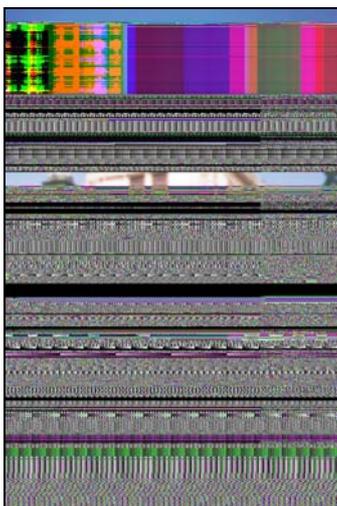


Рис. 4. Искаженное изображение



Рис. 5. L-составляющая искаженного изображения



Рис. 6. L-составляющая восстановленного изображения



Рис. 7. Восстановленное изображение

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» («BRHE»), а также Российского фонда фун-

даментальных исследований (гранты №№ 03-01-00109, 04-07-90149, 04-07-96500) и гранта Президента РФ № 1007.2003.01.

### *Литература*

1. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. Сойфера В.А., Москва, Физматлит, 2001.
2. Дроздов М.А., Зимин Д.И., Скуратов С.А., Попов С.Б., Фурсов В.А. Технология определения восстанавливающих фильтров и обработки больших изображений // Компьютерная оптика. № 25, 2003.
3. Dan E. Dudgeon, Russell M. Mersereau, Multidimensional digital signal processing, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1984.
4. William K. Pratt, Digital Image processing, A wiley-interscience publication, John Wiley and Sons, New York, 1978.
5. Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи, Радио и связь, Москва, 2003 г.
6. Никоноров А.В., Попов С.Б., Фурсов В.А. Идентификация моделей цветовоспроизведения // Материалы 6 Международной конференции «Распознавание образов и анализ изображений: новый информационный подход» Новгород, 2002.
7. Adrian Ford, Alan Roberts, Color Space Conversions, 1998.

# The technology for determining the recovery filter and color image processing

D.I. Zimin<sup>1</sup>, V.A.Fursov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Samara State Aerospace University(SSAU)

<sup>2</sup>Image Processing Systems Institute of RAS

## **Abstract:**

The paper considers the issue of improving the quality of color images. In order to determine the parameters of IIR filter, the problem of identification on the generated test fragments is solved by the example of an end-to-end technology for determining a stable reconstruction filter and processing grayscale images. Filter identification and color image processing is performed in the Lab color space.

**Keywords:** recovery filter, image processing, color images, IIR filter, end-to-end technology, Lab color space.

**Acknowledgments:** This work was supported by the Basic Research and Higher Education (BRHE) program, as well as the Russian Foundation for Basic Research (grants No. 03-01-00109, 04-07-90149, 04-07-96500) and a grant from the President of the Russian Federation No. 1007.2003.01.

**Citation:** Zimin DI, Fursov VA. The technology for determining the recovery filter and color image processing. *Computer Optics* 2005; 27: 170-173.

## **References:**

- [1] Soifer VA, ed. *Methods for computer design of diffractive optical elements*. New York: John Wiley and Sons Inc; 2002. ISBN: 978-0-471-09533-0.
- [2] Drozdov MA, Zimin DI, Skuratov SA, Popov SB, Fursov VA. Technology for determining recovery filters and processing large images [In Russian]. *Computer Optics* 2003; 25: 175-182.
- [3] Dudgeon DE, Mersereau RM. *Multidimensional digital signal processing*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall Inc; 1983. ISBN: 978-0-13-604959-3.
- [4] Pratt WK. *Digital image processing*. New York: John Wiley and Sons; 1978. ISBN: 978-0-471-01888-9.
- [5] Goryachkin OV. *Blind signal processing methods and their applications in radio engineering and communications systems* [In Russian]. Moscow: "Radio i Svyaz" Publisher; 2003.
- [6] Nikonorov AV, Popov SB, Fursov VA. Identifying color reproduction models. Proc 6th Int Conf "Pattern Recognition and Image Analysis: A New Information Approach" (Novgorod) 2002.
- [7] Ford A, Roberts A. *Color space conversions*. 1998. Source: <http://www.poynton.com/PDFs/coloureq.pdf>