

## ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДИЕМ С РАСПОЗНАВАНИЕМ ОПОРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЦВЕТОВОГО ПРОСТРАНСТВА

А.В. Никаноров<sup>1,2</sup>, В.А. Фурсов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт систем обработки изображений РАН, Самара, Россия,

<sup>2</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

### Аннотация

Рассматривается задача цветовоспроизведения при печати. Предлагается схема двухуровневого управления: сначала решается задача распознавания области цветового пространства, затем осуществляется преобразование цветовых координат текущей точки в концентрации базовых красок. На подготовительном этапе для каждой области с использованием измеренных спектров решается задача идентификации модели.

*Ключевые слова:* цветовоспроизведение, цифровая обработка изображений, моделирование, распознавание, адаптивные системы, распределенные вычисления.

### 1. Постановка задачи

Задача воспроизведения цветных изображений является одной из сложнейших в общей проблеме компьютерной обработки изображений. В работе [1] управление процессом цветопередачи было предложено строить в виде системы управления с эпизодической идентификацией и поэтапной адаптацией, теория которых развита в работе [2]. Этот подход позволяет эффективно использовать основные принципы и алгоритмы этого класса систем для повышения точности воспроизведения цветных изображений в промышленных и бытовых печатных комплексах.

Центральное место в системе, построенной на указанных принципах, занимает блок идентификации модели цветовоспроизведения. Решение этой задачи в данном случае осложняется тем, что математические модели таких систем, полностью удовлетворяющие по качеству, отсутствуют [3, 4].

Рассмотрим математическую формулировку задачи. Целью процесса цветовоспроизведения является получение цвета оттиска максимально близкого к цвету оригинала. Цвета оттиска и оригинала представляются в равноконтрастном цветовом пространстве Lab в виде векторов  $\mathbf{z}$  и  $\mathbf{z}^*$  соответственно. Близость понимается в смысле минимума некоторой нормы вектора разности  $\Delta \mathbf{z} = \mathbf{z} - \mathbf{z}^*$  между этими цветами в указанном пространстве.

Процесс управления цветовоспроизведением заключается в формировании на входе печатающего устройства управляющего сигнала  $\mathbf{u}$ , задающего концентрации базовых красителей необходимые для формирования требуемого цвета оттиска  $\mathbf{z}$ . Таким образом, алгоритм управления цветопередачей сводится к построению управляющего сигнала  $\mathbf{u}$ :

$$\mathbf{u} = \arg \min \|\mathbf{z}^* - \mathbf{z}(\mathbf{u})\|. \quad (1)$$

Традиционно задача (1) решается следующим образом. Для некоторого заданного набора управляющих сигналов (концентраций красок) печатаются так называемые калибровочные шкалы. Далее измеряются спектры отражения калибровочных шкал, по этим измерениям вычисляются цветовые координаты и строится таблица:

$$\mathbf{z}_j = T(\mathbf{u}_j), \quad j = \overline{1, J},$$

Управление процессом печати реализуется алгоритмом, определяющим по этой таблице  $\mathbf{u}$ :

$$\mathbf{u} = T^{-1}(\mathbf{z}).$$

В рамках описанного подхода требуется измерение спектров большого числа цветовых мишеней, а сама калибровка цветопередачи на основе этих шкал требует больших материальных и временных затрат. Связано это с тем, что пока отсутствуют модели, использование которых возможно во всем цветовом пространстве. Даже одна из лучших в этом отношении моделей Нойгебауэра-Юла-Нейлсона [5] работоспособна лишь в некоторой достаточно узкой области. Один из путей сокращения шкал цветового охвата состоит в разбиении цветового пространства на области, в каждой из которых возможно качественное цветопеределение с использованием модели цветовоспроизведения с постоянными параметрами.

В рамках указанного подхода в настоящей работе развивается идея двухуровневого управления цветовоспроизведением. На первом этапе решается задача распознавания области цветового пространства, которой принадлежит текущая (воспроизводимая) точка. При этом становится известной соответствующая этой области модель цветовоспроизведения. Затем в силу принятой модели осуществляется преобразование координат текущей точки входного цветового пространства в координаты выходного пространства печатного устройства (вектор концентраций).

### 2. Общая схема системы

Общая схема системы двухэтапного адаптивного управления цветопередачей с распознаванием режима опорной области цветового пространства приведена на рисунке 1. Она принципиально отличается от схемы управления, рассмотренной в работах [1,6], наличием блока распознавания области цветового пространства (опорной области), которой принадлежит вектор, описывающий текущие координаты воспроизводимой на печати точки в цветовом пространстве.

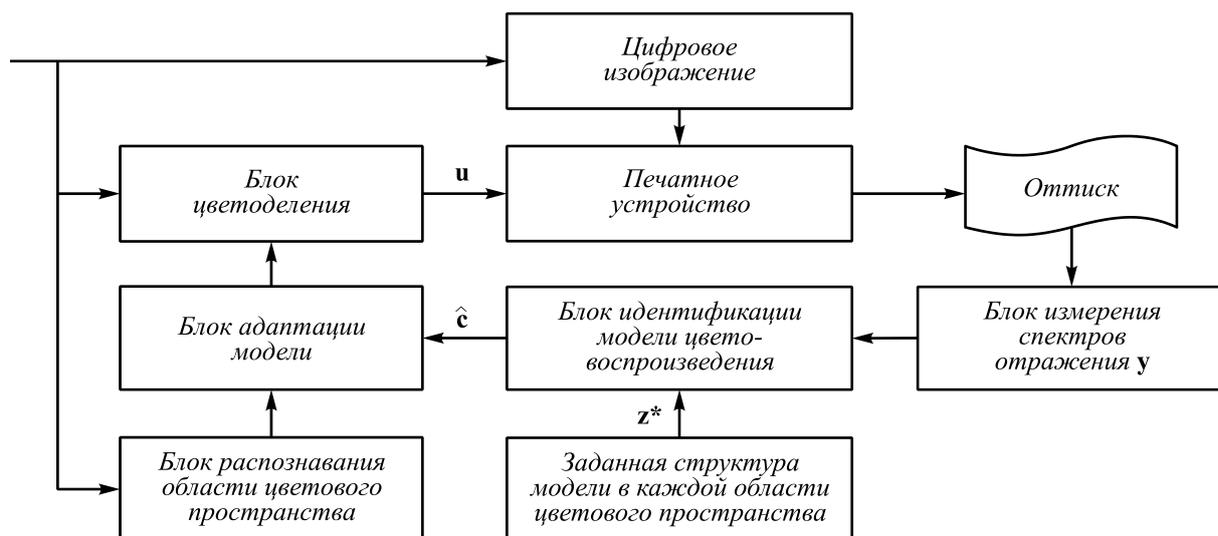


Рис. 1. Схема адаптивного управления цветопередачей с распознаванием опорной области цветового пространства

С использованием приведенной схемы могут быть реализованы три режима: печать полной стандартной калибровочной шкалы цветового охвата (1); настройка моделей цветопроизведения опорных областей при изменении условий работы печатного устройства (2) и текущее управление цветопроизведением в процессе печати (3).

Первый режим – печать полной калибровочной шкалы осуществляется с использованием стандартного профиля данного печатного устройства. Это может быть выполнено один раз для типовых условий печати. Полученная по этой калибровочной шкале таблица цветовых координат мишеней и соответствующих им спектров отражения сохраняется и в дальнейшем используется для построения областей цветового пространства. Таким образом, режим печати полной шкалы цветового охвата в рамках рассматриваемой технологии используется лишь один раз, например, в начале эксплуатации печатного устройства.

Второй режим используется для настройки параметров модели цветопроизведения отдельно для каждой области цветового пространства. В этом режиме кроме самого печатного устройства используются блок измерения спектров отражения и блок идентификации. В блоке идентификации решается задача оценки параметров модели заданной структуры. Структура модели задается, исходя из требуемой точности цветопроизведения и допустимой вычислительной сложности. В настоящей работе из соображений обеспечения точности используется модель Нойгебауэра-Юла-Нейлсона.

Наконец, третий режим – воспроизведение заданного поля цветов оттиска. В этом режиме задействованы блок распознавания опорной области, блок адаптации алгоритмов преобразования и блок преобразования координат входного цветового пространства в пространство печатного устройства

(цветоделения). В блоке адаптации алгоритмов преобразования хранятся параметры моделей цветопроизведения для всех опорных областей, полученные в блоке идентификации в результате реализации второго режима работы системы. В блоке распознавания определяется, к какой опорной области относится текущая точка входного цветового пространства. С использованием этой информации в блоке адаптации устанавливаются параметры соответствующей этой опорной области модели (Нойгебауэра-Юла-Нейлсона).

Таким образом, в блоке цветоделения концентрации в цветовом пространстве печатного устройства определяются с использованием моделей из одного параметрического семейства, но с различными параметрами, соответствующими каждая своей опорной области. Это обеспечивает высокую точность воспроизведения без перестройки базового профиля по полной калибровочной шкале.

Заметим, что в этой схеме переход на адаптивное управление осуществляется лишь при изменении условий печати. Если условия печати соответствуют паспортным характеристикам печатного устройства, можно использовать стандартный профиль печатного устройства. Далее рассмотрим методы и алгоритмы, реализуемые отдельными блоками описанной системы.

### 3. Задача идентификации модели цветопроизведения

Задача идентификации решается эпизодически при изменении условий печати (режим 2). Для формулировки задачи идентификации необходимо задать параметрическое семейство моделей. Как указывалось выше, в настоящей работе предлагается использовать модель цветопроизведения Нойгебауэра-Юла-Нейлсона (НЮН) [1]. В данном случае эта модель, как и ранее [1,7], строится в

пространстве спектров отражения [5]. Под спектром здесь понимается последовательность измерений коэффициентов отражения в диапазоне длин волн видимого света (380 - 700 нм). Этот диапазон разбивается на интервалы с шагом  $\Delta\lambda = 10$  нм. Таким образом, спектр представляет собой  $32 \times 1$ -вектор.

Рассмотрим случай трех красок – голубой, пурпурной и желтой. Основное соотношение в данной модели описывает зависимость спектра результирующей красочной смеси как функцию от спектров различных красок и их сочетаний, формирующих точку оттиска [5]:

$$y_i = \left( \sum_q s_q (r_{i,q})^{1/n} \right)^n, \quad i = \overline{1, N}, \quad q = \overline{1, 2^M}, \quad (2)$$

где  $n$  – постоянный для фиксированных условий печати показатель степени,  $y^i$  – компоненты  $32 \times 1$ -вектора спектров красочной смеси,  $r_{i,j}$  – компоненты спектров базовых красок и их комбинаций,  $s_j$  – так называемые эффективные площади смесевых растровых элементов, которые в соответствии с уравнениями Демишеля [1] выражаются через эффективные площади базовых красок  $x_j$ ,  $j = \overline{1, M}$ :

$$\begin{aligned} s_1 &= (1-x_1)(1-x_2)(1-x_3) & s_5 &= (1-x_1)x_2x_3 \\ s_2 &= x_1(1-x_2)(1-x_3) & s_6 &= x_1x_3(1-x_2) \\ s_3 &= (1-x_1)x_2(1-x_3) & s_7 &= x_1x_2(1-x_3) \\ s_4 &= (1-x_1)(1-x_2)x_3 & s_8 &= x_1x_2x_3. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $s_i$  – эффективные площади комбинаций базовых красок, например,  $s_1$  – соответствует незакрашенной бумаге,  $s_2$  – голубой краске,  $s_5$  – смеси пурпурной и желтой красок, дающей красный цвет.

Эффективные площади базовых красок выражаются через концентрации красок в цветовом пространстве печатного устройства  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, u_3)$  [4]:

$$\begin{aligned} x_1 &= f_1(u_1, \mathbf{c}_1)(1-x_2)(1-x_3) + f_{21}(u_1, \mathbf{c}_{21})x_2(1-x_3) + \\ &+ f_{31}(u_1, \mathbf{c}_{31})(1-x_2)x_3 + f_{231}(u_1, \mathbf{c}_{321})x_2x_3, \\ x_2 &= f_2(u_2, \mathbf{c}_2)(1-s_1)(1-x_3) + f_{12}(u_2, \mathbf{c}_{12})x_1(1-x_3) + \\ &+ f_{32}(u_2, \mathbf{c}_{32})(1-x_1)x_3 + f_{132}(u_2, \mathbf{c}_{132})x_1x_3, \\ x_3 &= f_3(u_3, \mathbf{c}_3)(1-x_1)(1-x_2) + f_{13}(u_3, \mathbf{c}_{13})x_1(1-x_2) + \\ &+ f_{23}(u_3, \mathbf{c}_{23})(1-x_1)x_2 + f_{123}(u_3, \mathbf{c}_{123})x_1x_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где функции  $f_i(u_j)$  характеризуют растискивание для каждой базовой краски при взаимодействии с бумагой или другими красками. Так, например,  $f_1(u_1)$  определяет растискивание голубой краски поверх бумаги, а  $f_{132}(u_2)$  определяет растискивание пурпурной краски в сочетании с пурпурной и желтой. Функции растискивания учитывают не только механическое растискивание, обусловлен-

ное растеканием краски, но и так называемое оптическое растискивание, обусловленное внутренним отражением света в красочном слое [5].

Совокупность соотношений (2), (3), (4) задает модель цветовоспроизведения, вообще говоря, справедливую для всего цветового пространства. Доступными для непосредственного наблюдения являются компоненты  $32 \times 1$ -вектора спектров красочной смеси  $y^i$ . При необходимости настройки печатного устройства они могут быть измерены по полным или сокращенным калибровочным шкалам цветового охвата. Для установления соответствия между спектрами красочной смеси и концентрациями базовых красок  $\mathbf{u}$  во всех точках цветового пространства должны быть заданы функции растискивания.

Функции растискивания обычно представляют собой функцию одного аргумента с областью определения  $u_j \in [0, 1]$ , где  $u_j$  имеет смысл концентрации  $j$ -той базовой краски. При 0 и 100-процентной концентрациях растискивание нулевое, т.е.

$$f_i(0) = f_i(1) = 0. \quad (5)$$

Обычно функции  $f_i(z_j)$  в указанном диапазоне представляют собой достаточно гладкие выпуклые вверх кривые, которые в малой области цветового пространства (опорной области) можно аппроксимировать некоторыми, например, полиномиальными функциями:

$$\begin{aligned} f_i(u_i) &= f(u_i, \mathbf{c}_i), f_{j,i}(u_i) = f(u_i, \mathbf{c}_{j,i}), f_{k,i}(u_i) = f(u_i, \mathbf{c}_{k,i}), \\ f_{j,k,i}(u_i) &= f(u_i, \mathbf{c}_{j,k,i}), i = \overline{1, 3}, j = \overline{1, 3}, k = \overline{1, 3}, j \neq i, k \neq i, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} \mathbf{c}_i, \mathbf{c}_{j,i}, \mathbf{c}_{k,i}, \mathbf{c}_{j,k,i}, \\ i = \overline{1, 3}, j = \overline{1, 3}, k = \overline{1, 3}, j \neq i, k \neq i \end{aligned} \quad (6)$$

– векторы неизвестных параметров. С учетом представления функций растискивания в виде (6) уравнения (4) можно переписать в виде:

$$\begin{aligned} x_1 &= f_1(u_1, \mathbf{c}_1)(1-x_2)(1-x_3) + f_{21}(u_1, \mathbf{c}_{21})x_2(1-x_3) + \\ &+ f_{31}(u_1, \mathbf{c}_{31})(1-x_2)x_3 + f_{231}(u_1, \mathbf{c}_{321})x_2x_3, \\ x_2 &= f_2(u_2, \mathbf{c}_2)(1-s_1)(1-x_3) + f_{12}(u_2, \mathbf{c}_{12})x_1(1-x_3) + \\ &+ f_{32}(u_2, \mathbf{c}_{32})(1-x_1)x_3 + f_{132}(u_2, \mathbf{c}_{132})x_1x_3, \\ x_3 &= f_3(u_3, \mathbf{c}_3)(1-x_1)(1-x_2) + f_{13}(u_3, \mathbf{c}_{13})x_1(1-x_2) + \\ &+ f_{23}(u_3, \mathbf{c}_{23})(1-x_1)x_2 + f_{123}(u_3, \mathbf{c}_{123})x_1x_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Совокупность соотношений (2), (3), (9) образует параметрическое семейство моделей цветовоспроизведения. Задача идентификации заключается в определении неизвестных векторов  $\mathbf{c}$  и параметра Юла-Нейлсона  $n$  из соотношения (2) по наблюдениям  $y^i$ .

Обозначим  $\hat{\mathbf{c}}$  прямую сумму векторов (6) и параметра Юла-Нейлсона  $n$ . Тогда задача идентификации модели (2), (3), (7) в заданной опорной обла-

сти  $D$  формулируется следующим образом. Найти  $\hat{\mathbf{c}}$ :

$$Q(\hat{\mathbf{c}}) = \min_{\forall \mathbf{c}, \mathbf{z} \in D} Q(\mathbf{c}), \quad (8)$$

где  $Q(\mathbf{c}) = \|\mathbf{y}(\mathbf{c}) - \mathbf{y}^*\|$ ,

а  $\mathbf{y}(\mathbf{c})$ ,  $\mathbf{y}^*$  –  $32 \times 1$ -векторы измеренных и заданных (эталонных) спектров красочной смеси соответственно.

Следуя работе [4], функции растискивания  $f_i(u_j)$  можно аппроксимировать кусочно-линейными функциями. При этом каждая функция определяется двумя коэффициентами, а общее число искоемых параметров (включая параметр Юла-Нейлсона) равно 25.

Сформулированная задача идентификации в вычислительном отношении оказывается достаточно сложной. Она может быть эффективно решена с помощью генетических алгоритмов путем формирования последовательности гипотез относительно вектора  $\hat{\mathbf{c}}$  и расчета фигурирующих в (8) спектров в соответствии со схемой, показанной на рис. 2. При этом целесообразно использовать принцип согласованных оценок [6], что позволяет получить более высокую точность идентификации по сравнению с существующими подходами [4,6].

#### 4. Распознавание опорной области по критериям сопряженности

Поле заданных цветов в точках оригинала задается в виде координат в некотором цветовом пространстве. Во многих отношениях предпочтительным для этой цели является цветовое пространство Lab. Его основное достоинство – равноконтрастность во всех точках цветового пространства.

Для сокращения вычислительной работы задачу выбора опорной области цветового пространства целесообразно решать непосредственно в исходном (входном) цветовом пространстве оригинала. Если используется цветовое пространство Lab, с учетом его равноконтрастности, целесообразно опорные области строить таким образом, чтобы их размеры во всех направлениях были одинаковы, а все цветовое пространство было плотноупакованным.

Подходящим для удовлетворения указанных требований является выбор опорных областей в виде тетраэдра или трехмерного куба. При этом опорная область является подпространством цветового пространства, образованным совокупностью небольшого числа (4 в случае тетраэдра и/или 8 в случае трехмерного куба) векторов. Таким образом, задача распознавания опорной области формулируется как задача принадлежности текущего вектора одному из заданных подпространств. В качестве мер близости к подпространству (классу) будем использовать следующие меры [8]:

1. Показатель сопряженности с подпространством, натянутым на векторы, образующие данный класс:

$$R_{i,k} = \frac{\mathbf{x}_i^T \mathbf{X}_k [\mathbf{X}_k^T \mathbf{X}_k]^{-1} \mathbf{X}_k^T \mathbf{x}_i}{\mathbf{x}_i^T, \mathbf{x}_i}. \quad (9)$$

Здесь  $\mathbf{x}_j$  –  $N \times 1$ -вектор, составленный из координат текущей (воспроизводимой) точки цветового пространства, предъявленной для установления ее принадлежности к некоторой (в данном случае  $k$ -й) опорной области, а  $\mathbf{X}_k$  –  $N \times M$ -матрица, составленная из векторов, принадлежащих  $k$ -му классу ( $k$ -й опорной области).

2. Показатель сопряженности с нуль-пространством того же пространства:

$$S_{i,k} = \frac{\mathbf{x}_i^T \mathbf{T}_{0,k} \mathbf{T}_{0,k}^T \mathbf{x}_i}{\mathbf{x}_i^T, \mathbf{x}_i}, \quad (10)$$

где  $\mathbf{T}_{0,k}$  – матрица, составленная из  $N - M$  собственных векторов, соответствующих нулевым собственным значениям  $N \times N$ -матрицы  $\mathbf{X}_k \mathbf{X}_k^T$ , где  $\mathbf{X}_k$  –  $N \times M$ -матрица, составленная из векторов, принадлежащих  $k$ -му классу ( $k$ -й опорной области).

В работе [8] показано, что между показателями  $R_{i,k}$ ,  $S_{i,k}$  существует связь:

$$R_{i,k} = 1 - S_{i,k}, \quad (S_{i,k} = 1 - R_{i,k}), \quad (11)$$

т.е. показатели (9), (10) при заданных  $i$  и  $k$  эквивалентны и выбор одного из них для определения опорной области осуществляется с учетом вычислительных затрат. Ниже приводятся решающие правила, выбор одного из которых должен осуществляться с учетом указанного обстоятельства.

Для реализации решающих правил опознавания принадлежности вектора  $\mathbf{x}_j$  какой-либо опорной области для каждого ( $k$ -го) класса в соответствии с соотношениями (9)-(10) формируется одна из следующих  $N \times N$ -матриц  $\mathbf{Q}_{k,(\ast)}$ :

$$\mathbf{Q}_{k,R} = \mathbf{X}_k [\mathbf{X}_k^T \mathbf{X}_k]^{-1} \mathbf{X}_k^T, \quad (12)$$

$$\mathbf{Q}_{k,S} = \mathbf{T}_{0,k} \mathbf{T}_{0,k}^T. \quad (13)$$

Правила принятия решений с учетом (12), (13) и связи (11) показателей сопряженности  $R$  и  $S$  формулируются в следующем виде.

Вектор  $\mathbf{x}_i$  принадлежит  $m$ -му классу:

$$\text{если } R_m = \max_{\forall k} R_k, \text{ где } R_k = \frac{\mathbf{x}_i \mathbf{Q}_{k,R} \mathbf{x}_i}{(\mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_i)} \quad (14)$$

$$\text{либо } S_m = \min_{\forall m} S_k, \text{ где } S_k = \frac{\mathbf{x}_i \mathbf{Q}_{k,S} \mathbf{x}_i}{(\mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_i)}. \quad (15)$$

Заметим, что объем вычислений в процессе печати (режим 3) сравнительно невелик, поскольку матрицы  $Q_{m,s}$  из (12), (13) вычисляются заранее (в режиме 2), после того как построены все опорные области. Что касается выбора одного из двух решающих правил в конкретной ситуации, из соотношений (12), (13) видно, что матрицу  $Q_{m,R}$  выгоднее использовать в случае, когда число обучающих векторов  $M$  сравнительно невелико. Если же наоборот  $M$  велико настолько, что размерность нуль-пространства  $N-M$  оказывается сравнительно (с размерностью  $N$ ) малой, целесообразно использовать матрицу  $Q_{m,S}$ .

**5. Цветовоспризведение в опорных областях**

Цветоделение - это процесс перевода из одного цветового пространства в другое.

В задаче печати это перевод из пространства, в котором создано изображение (как правило, RGB или Lab), в пространство печатного устройства, в рассматриваемом случае это CMYK.

В результате решения задачи распознавания опорной области и идентификации параметров модели (функций растискивания) НЮН в этой опорной области для каждой точки цветового пространства CMYK может быть вычислен спектр красочной смеси. Схема вычисления показана на рис. 2. По вектору спектров отражения может быть определена соответствующая точка в цветовом пространстве Lab или RGB. Таким образом, каждой точке пространства CMYK может быть поставлена в соответствие точка в пространстве Lab.

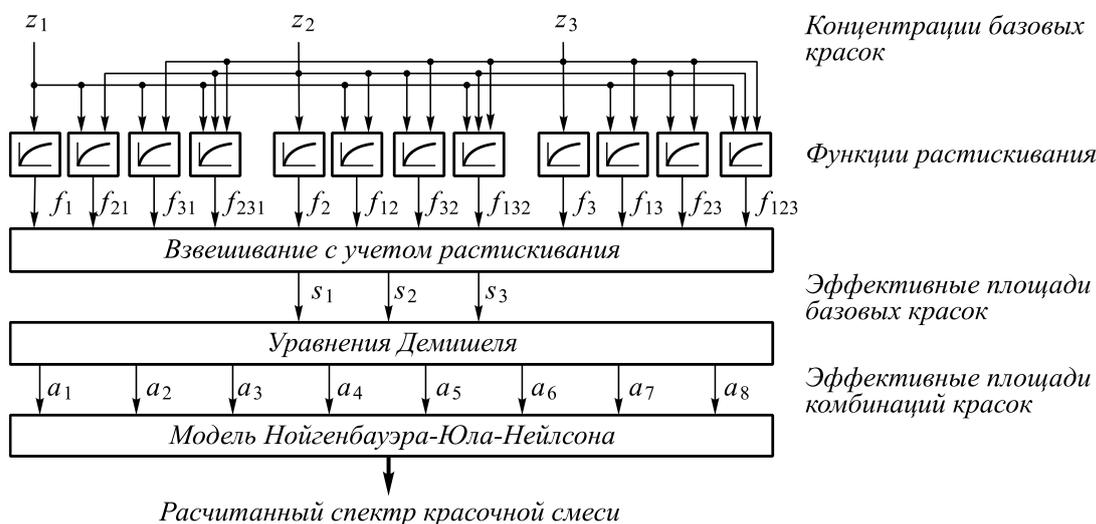


Рис. 2. Схема применения модели Нойгебауэра-Юла-Нейлсона с учетом растискивания

В процессе цветоделения используется трехмерное пространство CMY вместо четырехмерного CMYK, так как согласно принятой в системах цветоделения практике четвертая координата К (черный) определяется по известным координатам CMY согласно алгоритмам UCR или GCR [10]. Следовательно, задача заключается в том, чтобы получить координаты в цветовом пространстве CMY  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, u_3)$ . При этом обычно ставится задача обеспечить минимальный цветовой контраст между полученным в результате печати и заданным цветом в пространстве Lab. Для достижения этого ищется  $\mathbf{u}$ :

$$Q(\mathbf{u}) = \min_{z \in D} \|z^* - z(\mathbf{u})\|, \quad (16)$$

где  $z^*$  - координаты заданной точки в пространстве Lab, а  $z(\mathbf{u})$  - означает переход от координат CMY к координатам Lab в соответствии с вычислительной схемой, показанной на рис. 2.

**6. Примеры**

Приведем пример, иллюстрирующий возможность обеспечения требуемой точности в некоторой локальной области цветового пространства. В эксперименте показана принципиальная возможность использования для построения опорных областей и решения задачи цветоделения модели НЮН.

Идентификация параметров функций растискивания (5) проводилась при помощи генетических алгоритмов. Вектор параметров  $\hat{\mathbf{c}}$  определялся как решение задачи идентификации (8) в предположении, что функция растискивания в опорной области аппроксимируется линейной функцией.

Эксперимент ставился для двух точек цветового пространства CMY с координатами (20, 30, 35) и (40, 30, 35). После определения параметров модели выполнялась проверка в точке с координатами (30, 30, 35). В результате были получены значения 1,02 ДЕ в опорных токах и 2,09 ДЕ в проверочной

точке. На рисунке 3 приведены графики рассчитанных и измеренных спектров для опорной точки, на рисунке 4 – для проверочной точки.

Для сравнения задача была решена в тех же точках, но в качестве модели использовалась обычная модель Нойгебауэра, без учета функций растискивания. При этом даже в опорных точках ошибка выросла до 14 ΔЕ, т.е. модель без учета растискивания является существенно более грубой.

Приведенные примеры подтверждают целесообразность применения модели Нойгебауэра – Юла – Нейлсона, учитывающей эффект растискивания, для решения задачи цветовоспроизведения, несмотря на существенно возрастающую при этом вычислительную сложность.

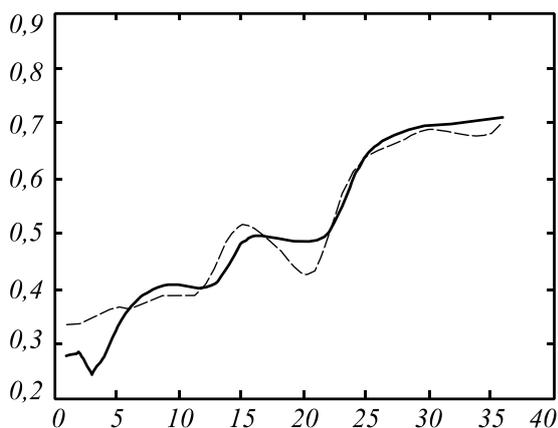


Рис. 3. Измеренный и рассчитанный спектры в опорной точке. 1,02 ΔЕ

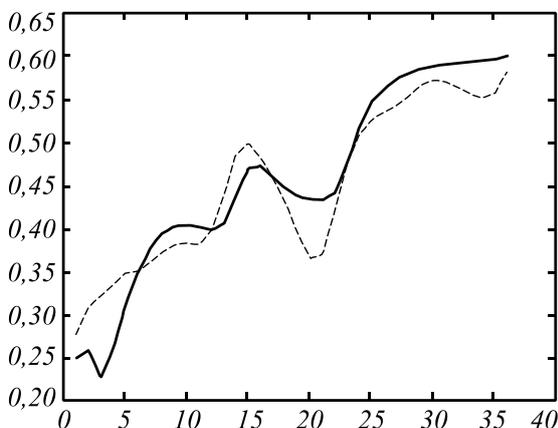


Рис. 4. Измеренный и рассчитанный спектры в опорной точке. 2,09 ΔЕ

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование», РФФИ (грант № 06-08-01024) и гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ (НШ-3086.2008.9).

### Литература

1. **Фурсов, В.А.** Управление процессом цветопередачи с эпизодической идентификацией модели цветовоспроизведения / В.А. Фурсов, А.В. Никоноров // 3-я научно-техническая конференция «Мехатроника, автоматизация, управление», С.-Петербург, 10-12 октября 2006, -С. 180-183.
2. **Теряев, Е.Д.** Цифровые системы и поэтапное адаптивное управление. / Е.Д. Теряев, Б.М. Шамриков //М.: Наука, 1999 -330с.
3. **Hersch, R. D.** Spectral prediction and dot surface estimation models for halftone prints. / R. D. Hersch [and other] //IS&T/SPIE Electronic Imaging Symposium, Conf. Imaging IX: Processing, Hardcopy and Applications, Jan. 04, SPIE Vol. 5293, -P.356-369
4. **Berns, S.R.** The Spectral Modeling of Large-Format Ink-Jet Printers. Technical report / S.R. Berns // Barcelona: RIT Munsell Color Science Laboratory, 1996 – 57 p.
5. **Джадд, Д.** Цвет в науке и технике./ Д. Джадд, Г. Вышецки // - М.: Мир, 1978. – 580 с.
6. **Никоноров, А.В.** Предоставление сервиса управления воспроизведением цветных изображений в сети Интернет / А.В. Никоноров, В.А. Фурсов // Труды XIV Всероссийской научно-методической конференции "Телематика 2007", СПб, 18-21 июня 2007. -С. 103-105.
7. **Fursov, V.** Identifying Color Reproduction Models. / V. Fursov, A. Nikonorov, S. Popov //Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 13, No. 2, 2003, -P. 315–318.
8. **V. A. Fursov, I. A. Kulagina, and N. E. Kozin.** Building of Classifiers Based on Conjugation Indices. Optical Memory and Neural Networks (Information Optics) Vol. 16 No. 3 2007.
9. **Amidror, I.** Scattered data interpolation methods for electronic imaging systems: a survey, / I. Amidror //Journal of Electronic Imaging 11(2), 2002, -P. 157-17.
10. **Berns, S.R.** Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology / S.R. Berns // 3rd Ed., John Wiley & Sons, 2000.

# CONSTRUCTION OF THE ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR COLOUR REPRODUCTION WITH RECOGNITION OF THE COLOR SPACE AREAS

A.V. Nikonorov<sup>1,2</sup>, V.A. Fursov<sup>1,2</sup>,

<sup>1</sup>Image Processing Systems Institute of RAS, Samara, Russia,

<sup>2</sup>Samara state aerospace university, Samara, Russia

## Abstract

The problem of the color reproduction is considered. The scheme of the two-stage control is offered. At first the recognition problem of the color space area is solved. Then of the color coordinates transformation is carried. For each area of the identification problem of model is solved.

**Key words:** color reproduction, digital image processing, model identification, pattern recognition, adaptive systems, distributed computation.

**Citation:** Nikonorov AV, Fursov VA. Construction of the adaptive control system for colour reproduction with recognition of the color space areas. *Computer Optics* 2008; 32(3): 290-5.

**Acknowledgements:** The work was supported by the Russian-American program "Basic Research and Higher Education", RFBR (grant № 06-08-01024) and grant the Russian President on the sub-support of leading scientific schools (NSH-3086.2008.9).

## References

- [1] Fursov VA, Nikonorov AV. Color rendering management process with incidental identification of a color reproduction model [In Russian]. "Mechatronics, automation, control" 3<sup>rd</sup> Scientific Conference, St. Petersburg, October 10-12, 2006; 180-183.
- [2] Teryaev ED, Shamrikov BM. Digital systems and stepwise adaptive control [In Russian]. Moscow: "Nauka" (Science) Publisher 1999; 330 p.
- [3] Hersch RD. Spectral prediction and dot surface estimation models for halftone prints. IS&T/SPIE Electronic Imaging Symposium, Conf. Imaging IX: Processing, Hardcopy and Applications, Jan. 04; 5293: 356-369.
- [4] Berns SR. The Spectral Modeling of Large-Format InkJet Printers. Technical report. Barcelona: RIT Munsell Color Science Laboratory, 1996; 57 p.
- [5] Judd D, Vyshetsky G. Color in science and technology [In Russian]. Moscow: "Mir" Publisher 1978; 580 p.
- [6] Nikonorov AV, Fursov VA. Control service delivery of color images reproduction in the Internet [In Russian]. Proceedings of the XIV Russian National Scientific Methodological Conference "Telematics 2007," St. Petersburg, June 18-21, 2007; 103-105.
- [7] Fursov V, Nikonorov A, Popov S. Identifying Color Reproduction Models. *Pattern Recognition and Image Analysis* 2003; 13(2): 315-318.
- [8] Fursov VA, Kulagina I A, Kozin NE. Building of Classifiers Based on Conjugation Indices. *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)* 2007; 16(3).
- [9] Amidror I. Scattered data interpolation methods for electronic imaging systems: a survey. *Journal of Electronic Imaging* 2002; 11(2): 157-17.
- [10] Berns SR. Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology. 3rd ed., John Wiley & Sons, 2000.