

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

УДК 004.9

О.П. АРХИПОВ, З.П. ЗЫКОВА

**ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ  
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЦВЕТОВОСПРИЯТИЯ**

Для организации вывода на периферийные устройства ПЭВМ, который учитывает индивидуальные особенности цветового зрения, необходимо функциональное описание цветовосприятия пользователя. Рассмотрена задача функционального описания индивидуального восприятия цветных отпечатков пользователями, имеющими такую аномалию цветного зрения, как частичная цветовая слепота. Предложен метод решения, основанный на оцифровке результатов тестирования, вычислении линий уровня функции цветовосприятия на тестовом множестве, построении функции цветовосприятия с помощью интерполяции по пикселям линий уровня. Использование построенной функции позволяет предсказать восприятие пользователем отпечатков цветных изображений, продуцируемых в его компьютерной системе, и предотвратить искаженное восприятие содержащейся в них информации. Научная новизна настоящей работы состоит в постановке задачи и разработке метода ее решения.

**Ключевые слова:** цветная периферия; функция цветовосприятия; аномалии цветного зрения; искажение цветовой информации.

To organize the output to peripherals, taking into consideration the specific features of color vision, the functional description of the color perception of a user is necessary. The problem of the functional description of the individual perception of colored imprints by the users with partial color blindness anomaly is considered. Proposed the method of solution, which is based upon the digital representation of test's results, calculation of color perception function's level lines upon the test dataset and construction of color perception function with the aid of interpolation of pixels on level lines. The use of the constructed function makes it possible to predict user's perception of the imprints of colored images produced by their computer system, and to avoid distortion of perception of contained information.

**Keywords:** color periphery; function of color perception; anomalies of color vision; misstatement of color information.

**ВВЕДЕНИЕ**

Цветовое зрение субъективно у разных наблюдателей. Индивидуальные особенности большинства наблюдателей не оказывают существенного влияния на цветовосприятие, поэтому их можно называть стандартными наблюдателями (СН). Однако значительная часть наблюдателей (в том числе и пользователей ПЭВМ) имеет различные аномалии цветового зрения [1-4]. Это мешает им воспринимать цветную информацию адекватно. Например, часть цветов, различаемых СН, не различается наблюдателями с частичной цветовой слепотой. Вследствие этого возможно искажённое восприятие ими цветовой информации, поскольку многоцветные фрагменты изображений могут восприниматься как одноцветные.

Существующие программно-технические инструменты обеспечивают стандартным наблюдателям качественную коммуникацию в системе пользователь/вычислительная среда на основе зрительного восприятия цветной графической информации, выводимой периферийными устройствами ПЭВМ (принтерами и дисплеями). Цветовосприятие отдельных групп наблюдателей с частичной цветовой слепотой учитывается некоторыми разработчиками. Однако

отсутствует индивидуальный подход, поэтому не охватывается весь диапазон вариаций зрения. В связи с этим существует потребность в разработке соответствующих средств поддержки, а цветовое восприятие произвольного наблюдателя остается предметом постоянного интереса и многосторонних исследований [5-9].

Для организации вывода на периферийные устройства ПЭВМ, который учитывает индивидуальные особенности цветового зрения, необходимо функциональное описание цветовосприятия пользователя. В рамках данной работы рассматривается задача функционального описания индивидуального восприятия цветных отпечатков пользователями, имеющими такую аномалию цветного зрения, как частичная цветовая слепота.

В [1,2] предложены методы, применение которых может предотвратить потери при зрительном восприятии произвольными пользователями (ПП) цветной информации в некоторых важных частных случаях, а именно, при визуализации отпечатков изображений цветной штриховой графики теми ПП, которые имеют частичную слепоту к цвету.

В рамках данной работы для этой же группы ПП рассмотрена аналогичная, но более сложная задача, возникающая при печати произвольных многоцветных изображений. В этом случае методы, использованные в [1,2], не применимы. Указанные методы решали задачу, состоящую в том, чтобы при наименьших затратах найти как можно больше зон толерантности из *RGB*-пикселей, имеющих отпечатки, различаемые протестированным ПП. На данном же этапе необходимо после тестирования предсказать, как ПП воспринимает отпечатки всех цветных *RGB*-пикселей, чтобы обеспечивалась возможность управления преобразованием произвольных цветных изображений в изображения с предсказуемыми по восприятию цветовой структуры отпечатками.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается цветовосприятие ПП, которые имеют частичную слепоту к цвету. В восприятии таких пользователей некоторые цвета, различаемые наблюдателями, цветовосприятие которых близко к стандартному, являются неразличаемыми. Например, в соответствии с [3]:

- при дейтеранопии не различаются зеленый и красный цвета с нормальной функцией спектральной световой эффективности;
- при протанопии не различаются зеленый и красный цвета с ненормально низкой функцией спектральной световой эффективности на длинноволновом конце спектра;
- при тританопии не различаются желтые и синие цвета.

При частичной цветовой слепоте пространство цветовосприятия значительно сужается. Например, в соответствии с [5,9], при некоторых аномалиях цветного зрения *RGB*-куб отображается на некоторые поверхности внутри него.

Заметим, что в [9] используются модели цветовосприятия, отличные от моделей [5]. В рамках данной работы визуализируемые различия в применяемых моделях цветовосприятия представителей групп наблюдателей с частичной цветовой слепотой не являются существенными. Тем более что цветовосприятие выделяемых групп не охватывает всех возможных вариаций зрения.

В комплекс задач, поставленных и решаемых в рамках данной работы, не входит задача диагностики в медицинском смысле этого слова (выделение наиболее типичных особенностей цветовосприятия, отнесение ПП к какой-либо известной

группе). Цель данной работы состоит в формальном описании некоторых свойств цветового пространства ПП по результатам тестирования цветовосприятия ПП цветных отпечатков, изготовленных в его программно-технической среде (ПЭВМ, цветной принтер и сканер, ПО).

При тестировании выясняется, имеются ли у тестируемого ПП аномалии цветного зрения, состоящие в том, что некоторые различные в восприятии «стандартного наблюдателя» [3] (СН) цвета воспринимаются ПП как одинаковые. Обнаруженные свойства формально описываются. Это позволяет получить характеризацию цветового пространства ПП и создать функциональное описание его цветовосприятия в терминах *RGB*-отображений.

Общепринятым является подход к тестированию цветовосприятия ПП, состоящий в том, что ПП предлагаются для визуализации специальные цветные изображения, по результатам его описания структуры изображений устанавливается, различает ли ПП соответствующую пару пикселей, на основе которых построено тестовое изображение.

Поскольку цвета представления пикселей изображений на мониторе и их отпечатков значительно отличаются друг от друга, результаты тестирования цветовосприятия представления пикселей на мониторе не могут совпадать с результатами тестирования цветовосприятия их отпечатков. Хотя, конечно, качественные оценки возможны.

Так, отпечатки одного и того же пикселя при корректной печати совпадают, хотя и приближенно. Также если пиксели значительно отличаются друг от друга, то и их отпечатки (в восприятии СН) отличаются, хотя, возможно, и не в такой же степени. Кроме того, при корректной печати пиксели, которые можно назвать красными (в широком смысле), будут иметь красные (хотя и визуально отличающиеся) отпечатки. То же можно сказать о зеленых, синих, желтых и всех других пикселях и их отпечатках.

При тестировании цветовосприятия ПП, имеющего аномалии цветного зрения, указанное соответствие может нарушаться. Различные по восприятию СН цвета таким наблюдателем могут восприниматься как одинаковые.

В рамках данной работы исследуется цветовосприятие отпечатков цветных *RGB*-изображений, состоящих из пикселей исходного цветового *RGB*-пространства  $C_{\text{и}}$ :  $x=\{x\}$ ,  $x \in C_{\text{и}}$ , которым после визуализации представлений на мониторе соответствуют пиксели из цветового пространства восприятия ПП  $C_{\text{пп}}$ :  $y=\{y\}$ ,  $y \in C_{\text{пп}}$ , а после печати изображения соответствуют отпечатки – пиксели цветового пространства применяемого принтера  $C_{\text{п}}$ :  $z=\{z\}$ ,  $z \in C_{\text{п}}$ .

После сканирования отпечатков пикселей им можно сопоставить в соответствии с [10] пиксели из цветового *RGB*-пространства применяемого сканера  $C_{\text{с}}$ :  $v=\{v\}$ ,  $v \in C_{\text{с}}$ , а после визуализации ПП отпечатков пикселей – пиксели из цветового пространства восприятия ПП  $C_{\text{пп}}$ :  $w=\{w\}$ ,  $w \in C_{\text{пп}}$ .

Таким образом, в рамках данной работы рассматриваются цветопередачи:

- из  $C_{\text{и}}$  в  $C_{\text{пп}}$   $y=f_1(x)$ ;
- из  $C_{\text{и}}$  в  $C_{\text{п}}$   $z=f_2(x)$ ;
- из  $C_{\text{п}}$  в  $C_{\text{с}}$   $v=f_3(z)$ ;
- из  $C_{\text{п}}$  в  $C_{\text{пп}}$   $w=f_4(z)$ .

Поскольку исходным пространством  $C_{\text{и}}$  является *RGB*-пространство, то составляющие его пиксели, а также пиксели исходных изображений характеризуются *RGB*-координатами:  $x=(r,g,b)$ ,  $0 \leq r,g,b \leq 255$ . Пикселям из  $C_{\text{с}}$  – значениям цветовой

характеристики – также соответствуют некоторые  $RGB$ -координаты:  $z=(r',g',b')$ ,  $0 \leq r',g',b' \leq 255$ .

Пусть отпечаток пикселя  $(r_i, g_i, b_i)$  имеет значение цветовой характеристики  $(r'_i, g'_i, b'_i)$ , а  $(r_j, g_j, b_j)$  –  $(r'_j, g'_j, b'_j)$ . Выполнение равенства

$$(r_i, g_i, b_i) = (r'_j, g'_j, b'_j)$$

не гарантирует совпадение цветов пикселя  $(r_i, g_i, b_i)$  и отпечатка пикселя  $(r_j, g_j, b_j)$ , поскольку используются координаты из разных цветовых пространств.

В связи с тем, что  $RGB$ -координаты в большей степени характеризуют технологию ввода/вывода, а не цвет пикселей при представлении пикселей на периферийных устройствах, не существует инструментов для установления соответствия между координатами одинаковых по цвету пикселей. Однако соответствующие цветовые пространства могут быть согласованы в том смысле, что между пикселями устанавливается связь с помощью функции цветопередачи  $F_1$ , являющейся суперпозицией функций  $f_3$  и  $f_2$ :  $F_1 = f_3 \cdot f_2$ .

Пиксель  $(r, g, b)$  является аргументом этой функции, а  $(r', g', b')$  – соответственно ее значением. Аргументами функции цветопередачи  $F_1$  из исходного  $RGB$ -пространства  $C_n$  в  $RGB$ -пространство сканера  $C_c$  также являются:

- принтер и условия печати на нем (разрешение, режим, бумага и т.д.);
- сканер, условия сканирования отпечатка пикселя (разрешение, режим) и условия вычисления значений цветовой характеристики – усреднения координат пикселей скана, зависящие от формы и размера растровой точки при печати и сканировании.

Таким образом, значения цветовой характеристики могут меняться при изменении значения любого из аргументов. Поскольку в рамках данной работы предполагается, что все аргументы кроме координат  $(r, g, b)$  – постоянные величины, то для сокращения записи в дальнейшем будем указывать только один аргумент:  $z = F_1(x)$ .

Аналогичные обозначения будем использовать для функции цветопередачи из  $C_n$  в  $C_n$ , а затем из  $C_n$  в  $C_{пп}$ :  $w = F_2(x)$ ,  $F_2 = f_4 \cdot f_2$ .

Пусть тестируется восприятие ПП отпечатков  $\{z_i\} \subset C_n$  пикселей из последовательности  $\{x_i\} \subset C_n$ , которой соответствует последовательность различных (т.е. удовлетворяющих соответствующему критерию) значений цветовой характеристики  $\{v_i\} \subset C_c$ .

Предположим, что вследствие аномалии зрения некоторые из отпечатков не различаются тестируемым ПП по цвету. В этом случае можно структурировать одномерную последовательность  $\{z_i\}$  во множество групп пикселей (групп представителей зон толерантности в цветовом пространстве восприятия пользователя), которое может быть описано с помощью двумерной последовательности вида:

$$\{Z_{ij}\}, i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J_i. \quad (1)$$

Каждая из групп пикселей содержит не менее одного пикселя. В группу включаются пиксели, отпечатки которых не различаются тестируемым ПП по цвету. Соответствующие последовательности из пикселей  $C_n$ ,  $C_c$ ,  $C_{пп}$  обозначим следующим образом:

$$\{X_{ij}\}, 1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i; \{V_{ij}\}, 1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i; \{W_{ij}\}, 1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq J_i. \quad (2)$$

Заметим, что выполнены соотношения:

$$W_{ij} = W_{i'j'}, 1 \leq i \leq I, 1 \leq j' \leq J_{i'}, W_{i'j'} \neq W_{i''j''}, 1 \leq i', i'' \leq I, i' \neq i'', 1 \leq j' \leq J_{i'}, 1 \leq j'' \leq J_{i''}. \quad (3)$$

Тестирование приводит к установлению справедливости соотношения: