

УДК 535.643.6

## Контроль различия в цвете для сохранения качества изображения в модифицированном алгоритме трассировки лучей

Р.В. Мальчева, М. Юнис, Т.В. Завадская  
Донецкий национальный технический университет  
raisa.malcheva@gmail.com

*Мальчева Р.В., Юнис М., Селинова А.И. Контроль различия в цвете для сохранения качества изображения в модифицированном алгоритме трассировки лучей. В статье выполнен анализ методов определения различия в цвете. Рассмотрено преобразование цветовых компонент из RGB-модели в LAB. Выполнен расчет допустимых отклонений в цветовых компонентах для различных разрядностей RGB-модели. Разработана UML-модель блока анализа различия в цвете.*

### Введение

Современные графические системы позволяют для каждого конкретного применения формировать свою архитектуру системы. Графические аппаратные и программные системы являются высокопроизводительными и, в то же время, достаточно дорогими [1]. Их реализации можно сравнивать по комплексному показателю – отношению качества полученного изображения к аппаратной сложности системы, т.е. ее стоимости. В связи с этим актуальной задачей на современном этапе является правильный выбор конфигурации системы и разработка / адаптация алгоритмов формирования изображений, т.е. достижение требуемого качества путем минимальных затрат.

Наилучшее качество, близкое к фотографическому, дает алгоритм трассировки лучей, однако, он требует больших вычислительных затрат, что привело к разработке новых архитектурных решений. Примером может служить платформа CUDA – C-подобный язык программирования со своим компилятором и библиотеками для организации вычислений на GPU с учетом прямого доступа к аппаратным возможностям [2]. Высокая производительность GPU объясняется особенностями его архитектуры и использованием массивно параллельных вычислений. В скорости доступа к видеопамяти GPU также имеют значительное превосходство.

Также для реализации алгоритма трассировки лучей в корпорация AMD создан AMD Cinema 2.0, который реализует трассировку лучей в реальном времени на графических процессорах Radeon и центральных процессорах AMD Phenom [3].

В Саарландском университете (Германия) создана система SaarCOR на базе FPGA [4,5]. Работая на частоте 90 МГц, эта аппаратная

реализация алгоритма трассировки лучей позволяет обеспечить режим реального времени.

Актуальность проводимых исследований определяется постоянным увеличением сложности синтезируемых сцен, совершенствованием параллельных методов и архитектурных решений в области создания графических систем, направленных на уменьшение времени формирования изображения без потери его качества.

### Постановка проблемы исследований

В [6,7] предложена модификация системы на базе FPGA. Основная идея модификации системы состоит в том, что в блок трассирования направляется меньшее количество пикселей, чем разрешение окончательного изображения. Т.е. рассмотрение пикселей выполняется с некоторым шагом, а цветовые значения непрослеженных пикселей (внутренних) формирует дополнительно введенный блок интерполяции. При этом для выбора и/или корректировки шага трассирования лучей необходимо контролировать качество синтезируемого изображения [8].

Задачей данных исследований является обоснование значения коэффициента различия в цвете при использовании RGB модели и организация контроля качества изображения в модифицированном алгоритме трассировки лучей.

### Анализ методов определения цветового различия

В колориметрии [9] применяется формула цветового различия, представляющая собой математическое представление, позволяющее численно выразить различие между двумя цветами. Международный комитет CIE задает определение цветовой разницы через  $\Delta E$  (также  $\Delta E^*$ ,  $dE^*$ ,  $dE$ ,  $\Delta E_{ab}^*$  или  $\Delta E$ ).

Общая разница  $\Delta E$  между двумя цветами в унифицированном цветовом пространстве (установлен в 1964 г. и широко использовался до 1976 г.) определяется следующим образом:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2 + (\Delta W^*)^2}, \quad (1)$$

где  $\Delta U^* = U_1^* - U_2^*$ ,  $\Delta V^* = V_1^* - V_2^*$ ,

$$\Delta W^* = W_1^* - W_2^*, \quad W^* = 25 \cdot \sqrt[3]{Y} - 17,$$

$$U^* = 13 \cdot W^* \cdot (u - u_n), \quad V^* = 13 \cdot W^* \cdot (v - v_n),$$

где  $u, v, u_n$  и  $v_n$  – хронометрические координаты прямого и диффузного отражения;  $W^*$  – задает освещенность и приблизительно равно  $10 \cdot V$ ;  $V$  – значение Мюнселла [10].

В цветовом пространстве CIELAB (известном как CIE 1976  $L^*a^*b^*$ ) задаются следующие трехмерные ортогональные координаты [9]:

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \cdot \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16, \\ a^* &= 500 \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right), \\ b^* &= 200 \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $L$  – освещенность;  $a, b$  – называются цветовыми координатами и представляют собой комбинацию цветового тона и интенсивности цвета (хроматизм);  $X, Y, Z$  – три цветовых стимула;  $X_n, Y_n, Z_n$  – три стимула диффузного отражения, значения нормализованы таким образом, что  $Y_n=100$ .

Хроматизм можно получить по значениям  $a, b$ , используя выражение (3), а цветовой тон – по (4):

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}. \quad (3)$$

$$h_{ab}^* = \frac{1}{\tan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)}. \quad (4)$$

В цветовом пространстве CIELAB различие в цвете определяется как

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}, \quad (5)$$

где  $\Delta L^* = L_1^* - L_2^*$ ,  $\Delta a^* = a_1^* - a_2^*$ ,  $\Delta b^* = b_1^* - b_2^*$ .

Аналогичным образом различие в цвете определяется и в пространстве CIELUV [10]. Экспериментально было получено максимальное значения коэффициента различия, при котором 2 цвета для человека (используется понятие «стандартный наблюдатель», т.е. без каких-либо отклонений зрения) выглядят одинаково. Это значение принято равным 2,3 [11].

Следует заметить, что рассмотренные цветовые пространства не учитывают неодинаковую чувствительность глаза к световому тону, что является их существенным недостатком. Кроме того, система координат CIELAB первоначально предназначалась для оценки цветовых различий, то есть для целей измерения. И хотя, оперируя данными в этой координатной системе, можно получать неплохой результат, в силу нелинейности CIELAB не является пространством, где возможны манипуляции с цветовыми стимулами как с векторами в линейном пространстве, так становятся некорректными с физической точки зрения такие преобразования изображений как размытие, пространственные преобразования (изменение размера, коррекция искажений и т.п.), использующие интерполяцию.

### **Коэффициент максимального различия цветовых компонент в системе RGB**

Чувствительность глаза к цветовому тону зависит от положения цвета в спектре. Человеческий глаз лучше всего различает цвета в средней части спектра: от голубого до оранжевого. Здесь достаточно изменения длины волны на 1—2 нм для того, чтобы почувствовать изменение цвета. В области красного и фиолетового цветов разностный порог резко увеличивается, доходя до десятков и сотен нанометров. Это можно объяснить тем, что в средневолновой области отношения  $R, G$  и  $B$  возбуждений меняются наиболее быстро. У краев спектра эти отношения изменяются гораздо медленнее, поэтому мы плохо замечаем изменения длины волны. Цветовой тон воспринимается неодинаково при различной яркости цвета. Так, при ослаблении мощности светового потока видимый спектр, прежде чем стать совсем бесцветным, сводится всего к трем цветам: красному, зеленому и фиолетово-синему. То же самое происходит при существенном снижении освещенности окрашенных в разные цвета поверхностей: воспринимаются только три основных цвета, переходы между ними исчезают. Это объясняется тем, что при ослаблении раздражителя более слабые возбуждения (между максимумами трех кривых) опускаются ниже порога ощущения скорее, чем более сильные возбуждения.

Значения стандартной чувствительности человеческого глаза к восприятию различных цветов взяты из [12] и приведены в табл.1.

Таблица 1. Значения чувствительности человеческого глаза к восприятию различных длин волн

Длина волны, $\lambda$ , нм	Коэффициент чувствительности, $\chi_c$
400	0,0004
410	0,0012
...	
530	0,8620
540	0,9540
550	0,9555
555	1,0000
560	0,9555
...	
760	0,00006

Цветовой тон воспринимается неодинаково при различной яркости цвета. Так, при ослаблении мощности светового потока видимый спектр, прежде чем стать совсем бесцветным, сводится всего к трем цветам: красному, зеленому и фиолетово-синему. То же самое происходит при существенном снижении освещенности окрашенных в разные цвета поверхностей: воспринимаются только три основных цвета, переходы между ними исчезают. Это объясняется тем, что при ослаблении раздражителя более слабые возбуждения (между максимумами трех кривых) опускаются ниже порога ощущения скорее, чем более сильные возбуждения.

Аналогично выражению (1) в качестве критерия оценки сохранения качества изображений в модифицированном алгоритме трассировки лучей авторами предложен [7, 8] коэффициент максимального различия цветовых компонент в системе RGB, который, учитывая диаграмму относительного зрения, определяется согласно выражению (6).

$$K_{\text{мрц}} = \sqrt{(\Delta R \cdot \chi_R)^2 + (\Delta G \cdot \chi_G)^2 + (\Delta B \cdot \chi_B)^2}, \quad (6)$$

где  $\Delta R$ ,  $\Delta G$ ,  $\Delta B$  - значения абсолютного различия двух изображений по красной, зеленой и синей компонентам;  $\chi_R$ ,  $\chi_G$ ,  $\chi_B$  - коэффициенты чувствительности человеческого глаза к восприятию соответствующего цвета.

### Расчет допустимых различий в цветовых компонентах

Путем интерполяции значений, приведенных в табл.1, примем следующие значения коэффициентов чувствительности:

$$\chi_R = 0,40; \quad \chi_G = 0,98; \quad \chi_B = 0,10.$$

Примем значение коэффициента максимального различия в цвете для 8-битных компонент RGB также равным 2,3. Путем обратных вычислений получим, что для получения такого значения различия должны иметь значения  $\Delta R = 3, \Delta G = 2, \Delta B = 5, n = 8$ .

Для сравнения с различием в CIELAB выполним преобразование цветовых компонент из RGB вначале в систему XYZ, а затем в LAB с применением выражений (7-13) [11].

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} g\left(\frac{\Delta R}{2^n - 1}\right) \\ g\left(\frac{\Delta G}{2^n - 1}\right) \\ g\left(\frac{\Delta B}{2^n - 1}\right) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$g(K) = \begin{cases} \left(\frac{K + 0,055}{1,055}\right)^{2,2}, & K > 0,04045 \\ \frac{K}{12,92}, & K \leq 0,04045 \end{cases}, \quad (8)$$

где  $K$  – нормализованное путем деления на  $(2^n - 1)$  значение абсолютной разницы двух изображений по компоненте  $R$ ,  $G$  или  $B$ , а  $n$  – разрядность представления компоненты.

$$\Delta L^* = 116 \cdot f\left(\frac{\Delta Y}{1}\right) - 16, \quad (9)$$

$$\Delta a^* = 500 \cdot \left( f\left(\frac{\Delta X}{0,9505}\right) - f\left(\frac{\Delta Y}{1}\right) \right), \quad (10)$$

$$\Delta b^* = 200 \cdot \left( f\left(\frac{\Delta Y}{1}\right) - f\left(\frac{\Delta Z}{1,089}\right) \right), \quad (11)$$

$$f(k) = \begin{cases} \sqrt[3]{k}, & k > 0,008856 \\ 7,787k + \frac{16}{116}, & k \leq 0,008856 \end{cases}, \quad (12)$$

$$T = \begin{bmatrix} 0,4124 & 0,3576 & 0,1805 \\ 0,2126 & 0,7152 & 0,0722 \\ 0,0193 & 0,1192 & 0,9505 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Эквивалент на C# следующий:

```
public static CIEXYZ RGBtoXYZ(int red, int green, int blue)
{
    // нормализовать значения красного, зеленого,
    // синего
    double rLinear = (double)red/255.0;
    double gLinear = (double)green/255.0;
    double bLinear = (double)blue/255.0;
    // преобразовать в форму sRGB
    double r = (rLinear > 0.04045)?
    Math.Pow((rLinear + 0.055)/(1 + 0.055), 2.2)
    : (rLinear/12.92);
```

```

double g = (gLinear > 0.04045)?
Math.Pow((gLinear + 0.055)/(1 + 0.055), 2.2)
: (gLinear/12.92);
double b = (bLinear > 0.04045)?
Math.Pow((bLinear + 0.055)/(1 + 0.055), 2.2)
: (bLinear/12.92);
// преобразовать в XYZ
return new CIEXYZ(
    (r*0.4124 + g*0.3576 + b*0.1805),
    (r*0.2126 + g*0.7152 + b*0.0722),
    (r*0.0193 + g*0.1192 + b*0.9505)
);
}
// функция f
private static double Fxyz(double t)
{
    return ((t > 0.008856)? Math.Pow(t,
(1.0/3.0)) : (7.787*t + 16.0/116.0));
}
// преобразовать в CIELab.
public static CIELab XYZtoLab(double x,
double y, double z)
{
    CIELab lab = CIELab.Empty;
    lab.L = 116.0 * Fxyz( y/CIEXYZ.D65.Y)-16;
    lab.A = 500.0 * (Fxyz( x/CIEXYZ.D65.X ) -
Fxyz( y/CIEXYZ.D65.Y ) );
    lab.B = 200.0 * (Fxyz( y/CIEXYZ.D65.Y ) -
Fxyz( z/CIEXYZ.D65.Z ) );
    return lab;
}

```

Численный просчет для  $\Delta R = 3, \Delta G = 2, \Delta B = 5, n = 8$ .

$rLinear = (double)3/255,0 = 0,011765;$   
 $gLinear = (double)2/255,0 = 0,007843;$   
 $bLinear = (double)5/255,0 = 0,019608.$

Т.к.  $rLinear < 0.04045$ , то  
 $r = rLinear / 12,92 = 0,000911.$   
 Т.к.  $gLinear < 0.04045$ , то  
 $g = gLinear / 12,92 = 0,000607.$   
 Т.к.  $bLinear < 0.04045$ , то  
 $b = bLinear/12,92 = 0,001518.$

$X = 0,000911 \cdot 0,4124 + 0,000607 \cdot 0,3576 +$   
 $0,001518 \cdot 0,1805 = 0,000867.$   
 $Y = 0,000911 \cdot 0,2126 + 0,000607 \cdot 0,7152 +$   
 $0,001518 \cdot 0,0722 = 0,000737.$   
 $Z = 0,000911 \cdot 0,0193 + 0,000607 \cdot 0,1192 +$   
 $0,001518 \cdot 0,9505 = 0,001532.$

Соответствующие значения для белого цвета равны:

$rLinearW = gLinearW = bLinearW = 1.$   
 $rW = gW = bW = 1.$

$Xw = 1,0 \cdot 0,4124 + 1,0 \cdot 0,3576 +$   
 $1,0 \cdot 0,1805 = 0,9505.$   
 $Yw = 1,0 \cdot 0,2126 + 1,0 \cdot 0,7152 +$   
 $1,0 \cdot 0,0722 = 1,0000.$   
 $Zw = 1,0 \cdot 0,0193 + 1,0 \cdot 0,1192 +$   
 $1,0 \cdot 0,9505 = 1,0890.$

$Xr = X / Xw = 0,000867 / 0,9505 = 0,000912.$

$Yr = Y / Yw = 0,000737 / 1,0000 = 0,000737.$   
 $Zr = Z / Zw = 0,001532 / 1,0890 = 0,001407.$

$F(Xr) = 0,000912 \cdot 7,787 + 16 / 116 = 0,14503.$   
 $F(Yr) = 0,000737 \cdot 7,787 + 16 / 116 = 0,143673.$   
 $F(Zr) = 0,001407 \cdot 7,787 + 16 / 116 = 0,148889.$

$L = 116.0 \cdot 0,143673 - 16 = 0,66022.$   
 $A = 500.0 \cdot (0,14503 - 0,143673) = 0,678789.$   
 $B = 200.0 \cdot (0,143673 - 0,148889) = -1,04327.$

$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(0,66)^2 + (0,68)^2 + (-1,04)^2} = 1,4.$

Т.е. для удовлетворения ограничения  $\Delta E_{ab}^* = 2,3$  различия в цветовых компонентах  $\Delta R, \Delta G, \Delta B$  могут быть больше принятых. Результаты аналогичных расчетов для значений  $\Delta R, \Delta G, \Delta B$ , удовлетворяющих  $\Delta E_{ab}^* = 2,3$  при 8-мибитном и 10-тибитном представлении цветовых компонент, приведены в табл.2. Также приведено соответствующее значение коэффициента различия в цвете, вычисляемого по формуле (6).

Таблица 2. Преобразование цветовых компонент из RGB в CIELAB

Переменная С#	Разрядность, бит/компоненту		Для белого цвета
	n=8	n=10	
$2^n - 1$	255	1023	
$\Delta R$	6	24	
$\Delta G$	4	16	
$\Delta B$	8	32	
rLinear	0,0235	0,0235	1,0000
gLinear	0,0157	0,0156	1,0000
bLinear	0,0314	0,0313	1,0000
r	0,0018	0,0018	1,0000
g	0,0012	0,0012	1,0000
b	0,0024	0,0024	1,0000
X	0,0016	0,0016	0,9505
Y	0,0014	0,0014	1,0000
Z	0,0025	0,0025	1,0890
Xr	0,0017	0,0017	
Yr	0,0014	0,0014	
Zr	0,0023	0,0023	
F(Xr)	0,1512	0,1512	
F(Yr)	0,1491	0,1490	
F(Zr)	0,1557	0,1557	
L	1,2925	1,2887	
A	1,0794	1,0762	
B	-1,3296	-1,3257	
$\Delta E_{ab}^*$	<b>2,1455</b>	<b>2,1393</b>	
$K_{mrc}$	<b>4,67</b>	<b>18,66</b>	

Расчеты показали, что для 8-мибитных значений цветовых компонент допустимые различия составляют:

$$\Delta R_c^8 = 6, \Delta G_c^8 = 4, \Delta B_c^8 = 8.$$

Для  $n$ -битных значений допустимые различия будут определяться согласно выражению (14).

$$\Delta C_c^n = \Delta C_c^8 \cdot 2^n, \quad (14)$$

где  $C$  – значение соответствующей компоненты.

**Разработка UML-модели блока анализа различия в цвете**

При разработке блока анализа различия в цвете использовано представление процессов в виде UML-диаграмм [13], которые являются общей основой для современного моделирования и проектирования цифровых устройств. Унифицированный язык моделирования UML позволяет создать платформу для независимого описания, которое затем может быть использовано для принятия решений о

программной или аппаратной реализации той или иной части системы [14].

UML позволяет отображать параллельные процессы и поддерживается значительной частью инструментальных средств.

Вышеприведенные расчеты показали, что для упрощения аппаратной реализации вместо вычисления квадратного корня (выражение 6) для обеспечения  $\Delta E_{ab}^* = 2,3$  достаточно проверить выполнение условия (15) для каждой цветовой компоненты  $C$ .

$$-dCc \leq DelC \leq dCc, \quad (15)$$

где  $DelC$  - разница  $\Delta R$ ,  $\Delta G$  или  $\Delta B$ ;  $dCc$  - допустимое различие  $\Delta R_c$ ,  $\Delta G_c$  или  $\Delta B_c$ .

Проверку условий (15) и установку соответствующих флагов R\_OK, G\_OK, B\_OK удобно выполнять сразу после вычисления разностей компонент. Этот процесс реализует Sub-machine 1, UML-диаграмма которой показана на рис. 1а.

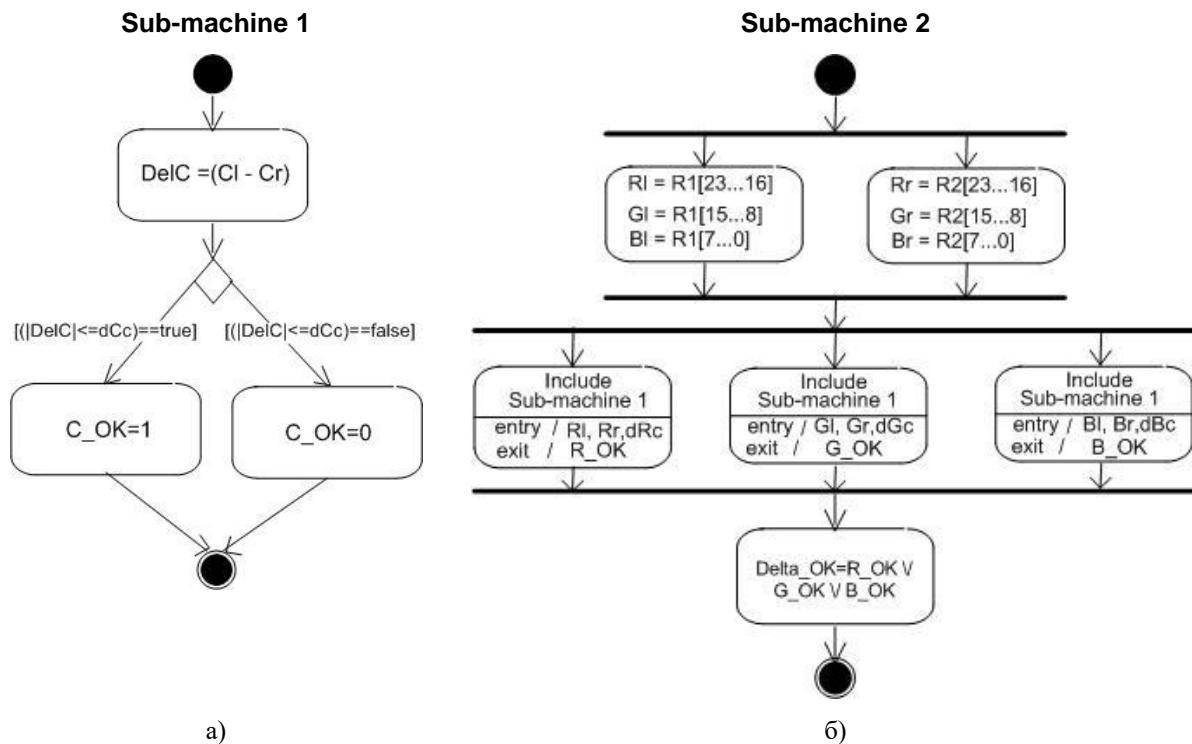


Рисунок 1 – UML-диаграммы блока анализа различия в цвете: а) диаграмма анализа одной световой компоненты; б) диаграмма работы блока

Различия цветовых компонент являются независимыми величинами, поэтому их анализ выполняется параллельным включением процессов. Флаг Delta\_OK будет устанавливаться в 1, если все условия из (15) выполнены, т.е. флаги R\_OK=1, G\_OK=1,

B\_OK=1. Для этого в Sub-machine 2 (рис.1б) использована логическая операция «или».

**Заключение**

В данной работе указано на необходимость контроля сохранения качества синтезируемого изображения при построении

графічних систем на базі модифікованого методу трасування лучей. Для обґрунтування критерія збереження якості зображення проведено порівняння різних кольорових моделей з точки зору розрахунку різниці в кольорі, а також їх застосування для графічних алгоритмів обробки. Проведено розрахунок для кожної компоненти допустимих значень різниці двох зображень, синтезованих з використанням RGB кольорової моделі. Виконано розробку UML-діаграми блоку аналізу різниці в кольорі.

### Список использованной литературы

1. Башков Е.А. Система синтеза изображений в реальном времени для испытательных стендов / Е.А. Башков, А.Я. Аноприенко, Р.В. Мальчева // Гибридные вычислительные машины и комплексы. - Вып.15. - К.: Наукова думка, 1992. - С. 72-75.
2. Програмний ускорюючий движок NVIDIA OptiX: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nvidia.ru/object/optix\\_ru.html](http://www.nvidia.ru/object/optix_ru.html) – Заглавие с экрана.
3. AMD Cinema 2.0: новое слово визуализации: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.thg.ru/technews/20080619\\_110000.html](http://www.thg.ru/technews/20080619_110000.html) – Заглавие с экрана.
4. Schmittler Jörg. Realtime Ray Tracing of Dynamic Scenes on an FPGA Chip / Jörg Schmittler, Sven Woop, Daniel Wagner, Wolfgang J. Paul, and Philipp Slusallek. // Computer Science, Saarland University, Germany, 2004. – P. 8.
5. Yunfan Zhang. FPGA Ray Tracer: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.eeweb.com/project/yunfan\\_zhang/fpga-ray-tracer](http://www.eeweb.com/project/yunfan_zhang/fpga-ray-tracer) – Заглавие с экрана.
6. Malcheva R. An Acceleration of FPGA-based Ray Tracer / R. Malcheva, M. Yunis // European Scientific Journal, 2014. -Vol.10. - N7. - PP.186-190.
7. Мальчева Р.В. Реализация модифицированного алгоритма трассировки лучей на кластере NeClus / Р.В. Мальчева, М. Юнис // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». - №1(24)'2013.– Донецьк: ДонНТУ, 2013. - С.263-268.
8. Мальчева Р.В. Исследование влияния шага трассирования лучей и коэффициента различия в цвете на время выполнения формирования изображения / Р.В. Мальчева, М. Юнис, А. Джамиль // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 14(188). – С. 195-201.
9. Noboru Ohta, Robertson Alan R. Colorimetry: Fundamentals and Applications. - John Wiley & Sons Ltd, 2005. – 354 pp.
10. Wyszecki G. Colorimetry // in Handbook of Optics, Chapter 9, McGraw-Hill, New York, 1978. – PP. 197-206.
11. Robertson Alan R. Historical development of CIE recommended color difference equations / Alan R. Robertson // Color Research & Application, 1990. – PP.167-170.
12. Новаковский С.В. Цвет в цветном телевидении. – М.: Радио и связь, 1988. – С.16-17.
13. Mellor, S.J., Balcer, M.J. Executable UML. A Foundation for Model-Driven Architecture. - Indianapolis. Addison-Wesley, 2002. - 322 pp.
14. Malcheva R. Application of multilevel design on the base of UML for digital system developing // in book «Design of Digital Systems and Devices. Series: Lecture Notes in Electrical Engineering». – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – Vol. 79. - PP. 93-117.

Поступила в редколлегию 30.09.2015

**R.V. MALCHEVA, M. YUNIS, T.V. ZAVADSKAYA. CONTROL OF A COLOR DIFFERENCE TO SAVE THE IMAGE QUALITY IN MODIFIED RAY-TRACING ALGORITHM.** During a modification of SaarCor system a method for interpixel interpolation based on the assumption that adjacent pixels traced images have roughly the same color options was proposed. The main idea is: to trace the pixels with a some step, depending on the quality needs. To perform adjustment of an interpolation step a coefficient of color differences is used. This article gives an analysis of the methods for a Color Difference determining. The transformation of the RGB color components to the LAB – model is considered. The tolerances in the color components' differences for RGB-model are calculated. A UML-model of a unit for color differences analyzes is developed.

**Keywords:** color components, color difference, RGB-model, unit, UML-diagram.

**Р.В. МАЛЬЧЕВА, М. ЮНІС, Т.В. ЗАВАДСЬКА. КОНТРОЛЬ ВІДМІННОСТІ В КОЛЬОРІ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ В МОДИФІКОВАНОМУ АЛГОРИТМІ ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ.** Під час модифікації системи SaarCor був запропонований спосіб міжпіксельної інтерполяції на основі припущення, що суміжні пікселі зображення мають приблизно однакові компоненти кольору. Основна ідея полягає в наступному: простежити пікселі з деяким кроком, в залежності від потреб якості. Для виконання регулювання кроку інтерполяції використовувати коефіцієнт кольорних відмінностей. Ця стаття дає аналіз методів для визначення різниці кольору.

---

Перетворення колірних компонентів RGB в LAB - модель розглядається. Розраховані допуски у відмінностях колірних компонентів для RGB-моделі. Розроблена UML-модель блоку для аналізу колірних відмінностей.

**Ключові слова:** *кольорова компонента, різниця у кольорі, RGB-модель, блок, UML- діаграма.*

*Статья поступила в редакцию 20.09.2015  
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом*