

УДК 004.932

DOI 10.22213/2410-9304-2019-1-34-39

## АЛГОРИТМ ЗАМЕНЫ ОСНОВНЫХ ЦВЕТОВ РАСТРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Д. Д. Дарьенко, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. Н. Соловьева, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Описывается алгоритм замены основных цветов растрового изображения на цвета, заданные пользователем либо автоматически определенные по другому изображению. Преобразование применяется в цветовом пространстве HSV к пикселям, близким по цветовому тону к основным цветам, которые определяются по локальным максимумам гистограммы цветового тона. Соответствие основных цветов изображения новым цветам задается пользователем либо рассчитывается автоматически. Чтобы избежать искажений в восприятии структуры и смысла изображения, преобразование не применяется к пикселям с малыми значениями насыщенности или яркости. Значения изменения HSV-компонент цвета задаются кубическими сплайнами, интерполирующими разности между соответствующими компонентами исходных и заданных цветов. Предлагается метрика оценки качества замены основных цветов изображения на основе сравнения доли пикселей в окрестностях основных тонов на гистограммах исходного и обработанного изображений, сформированных без учета пикселей серых оттенков. Разработанный алгоритм реализован в программной системе модификации цветов изображения и может применяться как для локальной замены цветов изображения, так и для приведения нескольких изображений к единой палитре, например, при необходимости их совмещения либо подготовки для дальнейшего анализа, а также для создания художественных эффектов.*

**Ключевые слова:** цвет, цветокоррекция, замена цветов, перенос цветов, обработка изображений.

### Введение

Замена основных цветов растрового изображения и ее частный случай, перенос основных цветов между изображениями (color transfer between images) являются вариантами постановки задачи цветокоррекции. Эти задачи имеют место при необходимости приведения нескольких изображений к единой палитре, например, при наличии снимков одного и того же объекта или события, полученных разными устройствами с разными настройками (светочувствительность, баланс белого, выдержка и др.), когда требуется их совмещение либо подготовка для дальнейшего анализа [1, 2]. Также рассматриваемые задачи актуальны для фотографов при постобработке снимков, в том числе для создания художественных эффектов.

Для решения задач замены и переноса цветов предложены методы глобального переноса цветов между изображениями и методы локального преобразования отдельных цветов, в основе которых лежит преобразование распределения цветов исходного изображения к распределению нового изображения [3, 4]. При выполнении преобразования необходимо учитывать различия в структуре изображений. Для этого различными исследователями предложены выполнение автоматической сегментации изображений с последующим преобразованием на уровне сегментов [5, 6]; отдельное преобразование хроматических и ахроматических составляющих цвета [7]; явное указание пользовате-

лем фрагментов изображения, подлежащих преобразованию [8]; применение методов машинного обучения [9], в частности нейронных сетей [10].

Разработанный нами алгоритм представляет собой простой в реализации способ замены основных цветов с сохранением структуры и смысла изображения, который может применяться как для локальных, так и для глобальных преобразований.

### Описание алгоритма замены основных цветов растрового изображения

Входными данными разработанного алгоритма являются исходное изображение и набор цветов, на которые требуется заменить основные цвета исходного изображения.

Под основными цветами изображения понимаются  $N$  цветов (экспериментально нами принято  $N \leq 5$ ), наиболее часто встречающиеся на изображении.

Обработка изображения выполняется в цветовой модели HSV, в которой компонентами цвета являются цветовой тон ( $H$  – Hue), насыщенность ( $S$  – Saturation) и значение ( $V$  – Value), задающее меру яркости. Такая модель удобна для задачи замены основных цветов изображения, так как позволяет напрямую обращаться к значению цветового тона [11].

Цветовая модель HSV представляется с помощью цилиндрической системы координат, в которой цветовой тон  $h \in [0^\circ, 360^\circ)$  задает полярный угол, насыщенность  $s \in [0, 1]$  – радиус-

вектор, мера яркости  $v \in [0, 1]$  – координату вдоль вертикальной оси.

Основные цвета изображения определяются по  $N$  локальным максимумам гистограммы цветового тона (рис. 1). Пусть получены локальные максимумы  $H_1, H_2, \dots, H_N$ .

Обозначим цвета, на которые необходимо заменить основные цвета изображения,  $NewColors = \{NewColor_i\}, i = 1, 2, \dots, N$ , где  $NewColor_i = (NewH_i, NewS_i, NewV_i)$  – компоненты цвета в цветовой модели HSV. Соответствие основных цветов изображения новым цветам задается пользователем либо рассчитывается автоматически.

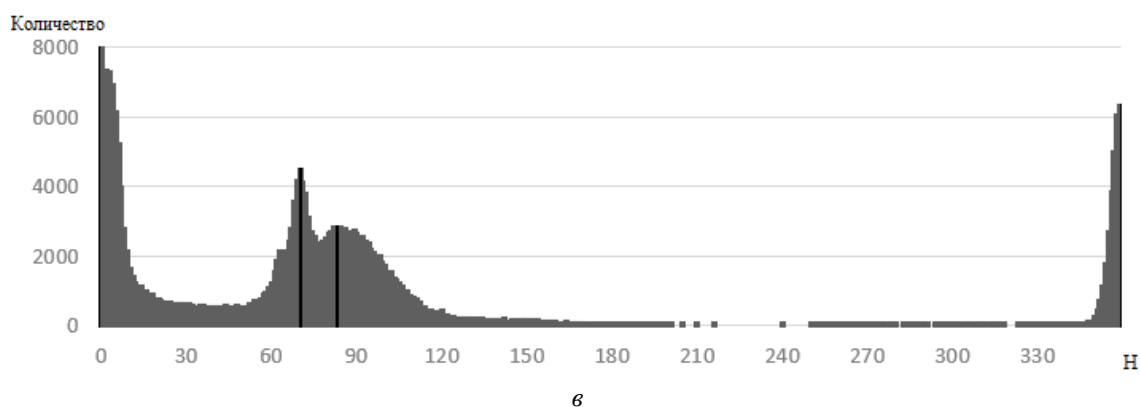


Рис. 1. Определение основных цветов изображения:  $a$  – исходное изображение (источник: USC-SIPI Image Database [12]);  $b$  – основные цветовые тона;  $в$  – гистограмма изображения

В цветовой модели HSV малые значения насыщенности  $s$  или меры яркости  $v$  определяют серые цвета от белого до черного. На изображениях эти цвета играют ключевую роль в восприятии структуры и смысла изображения. В рассматриваемой задаче их искажение нежелательно. Поэтому в разработанном алгоритме преобразование цвета применяется только к пикселям, компоненты цвета которых удовлетворяют условию

$$s \cdot v > k, \quad (1)$$

где  $k \in [0, 1]$  (соответствует области над графиком кривой  $s \cdot v > k$  на рис. 2). Пиксели, значение цвета которых попадает в область под кривой, соответствуют серым цветам и не обрабатываются.

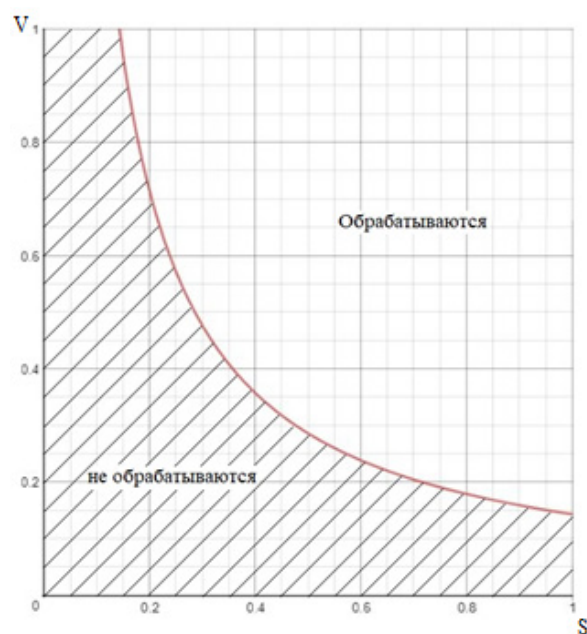


Рис. 2. Отбор цветов, подлежащих преобразованию

Для пикселей изображения преобразование цвета выполняется по формулам

$$\begin{aligned} h' &= h + F_H(h), \\ s' &= s + F_S(h, s), \\ v' &= v + F_V(h, s), \end{aligned}$$

где  $(h, s, v)$  и  $(h', s', v')$  – исходные и преобразованные значения компонент цвета пикселя,  $F_H: [0, 360^\circ] \rightarrow [-180^\circ, +180^\circ]$ ,  $F_S, F_V: [0, 360^\circ] \times [0, 1] \rightarrow [-1, +1]$  – функции, задающие значения приращения компонент цвета. Приращения отличны от 0 для пикселей, цветовые тона которых находятся в окрестностях основных цветовых тонов  $\{H_i\}$ .

$F_H, F_S, F_V$  представляют собой функции интерполяции.

Для функции приращения цветового тона  $F_H$  множество базовых точек образуют:

1) точки  $(H_i, D_H(H_i, NewH_i))$ , где функция  $D_H$  определяет смещение цветового тона от  $H_i$  к  $NewH_i$  в цилиндрической системе координат: модуль ее значения соответствует меньшей дуге между  $H_i$  и  $NewH_i$ , а знак – движению от  $H_i$  к  $NewH_i$  против часовой стрелки (+1) или по часовой стрелке (-1) (таблица);

2) точки  $(H_i - r, 0), (H_i + r, 0)$ , где  $r > 0$  – радиус окрестности. Экспериментальным путем был выявлен оптимальный радиус окрестности  $r = 35^\circ$ . В таком случае цвета на изображении обрабатываются плавно и без резких переходов. В случае пересечения окрестностей цветовых тонов  $[H_j - r, H_j + r] \cap [H_k - r, H_k + r]$ , где  $j \neq k$ , точки  $(H_j + r, 0), (H_k - r, 0)$  не учитываются;

3) промежуточные точки, задающие ограничения на форму кривой  $F_H$  в пределах окрестностей  $[H_i - r, H_i + r]$ .

#### Расчет смещений цветового тона для основных цветов изображения

Основные цвета	1	2	3	4
$H_i,^\circ$ (исходное значение цветового тона)	0	70	89	137
$NewH_i,^\circ$ (новое значение цветового тона)	232	302	335	330
Смещение $D_H(H_i, NewH_i),^\circ$	-128	-128	-115	-168

Поскольку цветовая модель HSV представляется в цилиндрической системе координат, обеспечивается непрерывность значений функции  $F_H$  при  $h = 0$ :

$$\lim_{h \rightarrow 0} F_H(0) = \lim_{h \rightarrow 360} F_H(360) = F_H(0) \text{ (рис. 3).}$$



Рис. 3. Обеспечение непрерывности приращения цветового тона при  $h = 0$

Используется интерполяция кубическими сплайнами, так как этот способ обеспечивает отсутствие значительных колебаний кривых в узлах интерполяции.

Для примера, приведенного в таблице, множество узлов интерполяции (без промежуточных точек) имеет вид:  $\{(0, -128), (70, -128), (89, -115), (137, -168), (173, 0), (325, 0)\}$ . График соответствующей функции приращения цветового тона  $F_H$  приведен на рис. 4.

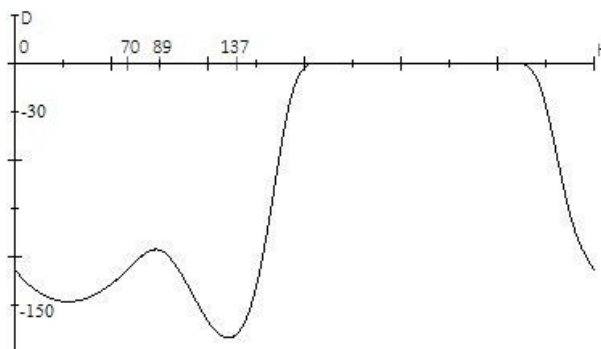


Рис. 4. Функция приращения цветового тона

Функция приращения меры яркости  $F_V(h, v)$  при фиксированном значении  $v = v^*$  рассчитывается как функция интерполяции  $[0, 360^\circ] \rightarrow [-1, +1]$  по следующим базовым точкам ( $i = 1, 2, \dots, N$ ):

1) точки  $(H_i, D_V(v^*, NewV_i))$ , где  $D_V(v_1, v_2) = (v_2 - v_1) \cdot c_V$  – смещение значения насыщенности.  $c_V \in [0, 1]$  – коэффициент, управляющий величиной смещения. При  $c_V = 1$  функция  $F_S$  преобразует меры яркости пикселей с цветовыми тонами  $h = H_i$  к заданным значениям мер яркости  $NewS_i$ . Но так как мера яркости определяет восприятие структуры изображения (тени и свет), рекомендуется задавать  $c_V < 1$ , чтобы снизить искажение;

2) точки  $(H_i - r, 0), (H_i + r, 0)$ , где  $r > 0$  – радиус окрестности. Аналогично  $F_H$ , в случае пересечения окрестностей нескольких основных цветовых тонов точки на границах окрестностей пропускаются;

3) промежуточные точки, задающие ограничения на форму кривой  $F_V$  в пределах окрестностей  $[H_i - r, H_i + r]$ .

Функция приращения насыщенности  $F_S(h, s)$  определяется аналогично функции приращения меры яркости  $F_V(h, v)$ . Пример функции  $F_S$  при фиксированном значении  $s$  представлен на рис. 5.

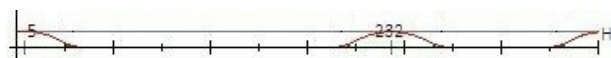


Рис. 5. Функция приращения насыщенности

Таким образом, разработанный алгоритм можно представить в виде схемы на рис. 6, где  $Width$  и  $Height$  – ширина и высота исходного растрового изображения.

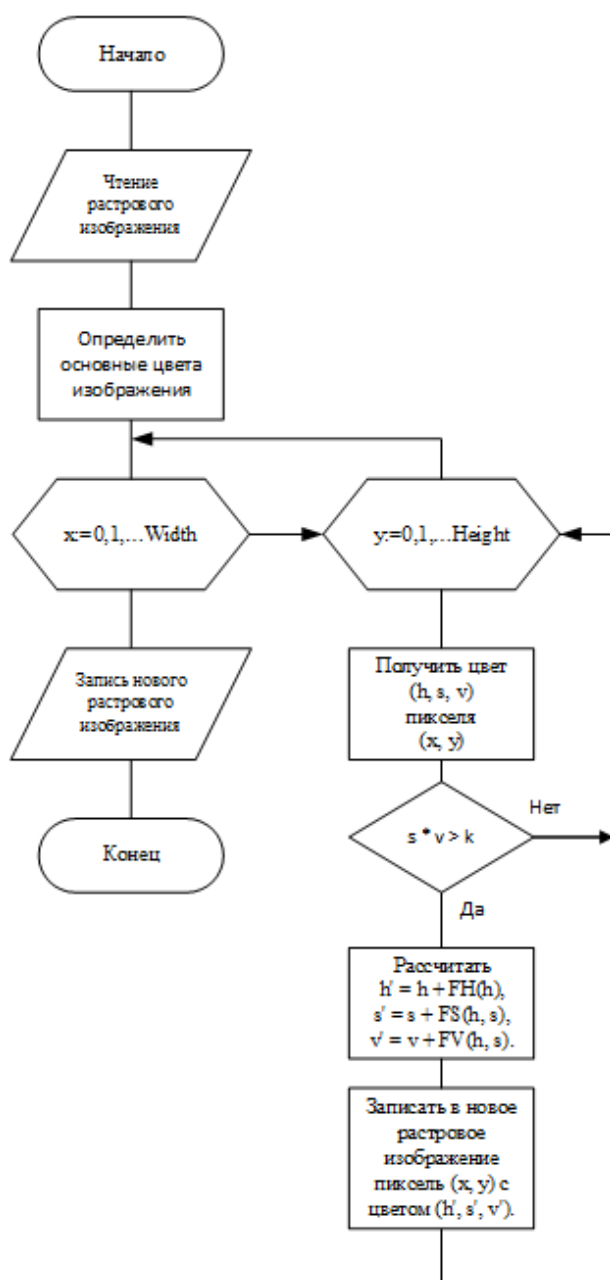


Рис. 6. Схема алгоритма замены основных цветов изображения

### Оценка качества замены основных цветов изображения

Пусть для пикселей исходного и обработанного изображений, удовлетворяющих условию (1) (т. е. без учета пикселей серых оттенков), сформированы гистограммы распределения цветового тона, в которых по горизонтальной оси представлены значения цветового тона, а по вертикальной оси – количество пикселей с соответствующим значением.

Обозначим  $q_1(h)$  и  $q_2(h)$  – количество пикселей со значением цветового тона  $h$  на гистограммах исходного и обработанного изображений соответственно. Мы предлагаем оценивать качество замены основных цветов изображения путем сравнения доли пикселей, находящихся в окрестностях основных цветовых тонов исходного и обработанного изображений, от общего количества пикселей, представленных на гистограммах:

$$K = K_1/K_2,$$

$$\text{где } K_1 = \sum_{i=1}^N \left( \sum_{h=H_{i-r}}^{h=H_i+r} q_1(h) \right) / \sum_{h=0^\circ}^{h=360^\circ} q_1(h),$$

$$K_2 = \sum_{i=1}^N \left( \sum_{h=NewH_{i-r}}^{h=NewH_i+r} q_2(h) \right) / \sum_{h=0^\circ}^{h=360^\circ} q_2(h).$$

Чем выше полученное значение  $K$ , тем более выражены на обработанном изображении «новые» цвета.

### Применение алгоритма в задаче переноса цветов между изображениями

Разработанный алгоритм может использоваться для замены основных цветов изображения как на произвольный набор цветов, так и на основные цвета другого изображения (перенос цветов между изображениями), как показано на рис. 7. Отдельной задачей является определение соответствий между основными цветами исходного изображения и изображения-«образца», позволяющих сохранить структуру и смысл исходного изображения при обработке.



а



б



в

Рис. 7. Результат применения разработанного алгоритма в задаче переноса цветов между изображениями: а – исходное изображение (источник: Kodak Lossless True Color Image Suit [13]; б – изображение-«образец» (источник: USC-SIPI Image Database [14]); в – преобразованное изображение

### Заключение

Рассмотренный в статье алгоритм замены основных цветов растрового изображения заключается в корректировке в пространстве HSV цветов пикселей, близких по цветовому тону к основным цветам изображения. Разработанная авторами программная система модификации цветов изображения, реализующая представленный алгоритм, позволяет эффективно приводить изображения к единой цветовой палитре с сохранением их структуры и смысла.

### Библиографические ссылки

- Solovyova, A. N. Using Contours and Colour Region Boundaries of Photographs in Sculptural Portrait Design / A. N. Solovyova, A. V. Kuchuganov // *ГрафиКон'2009* : 19-я Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению : тр. конф. М. : МАКС Пресс, 2009. С. 315–316.
- Кучуганов А. В., Соловьева А. Н. Многоуровневое описание аэрокосмических снимков в задаче автоматизированного дешифрирования // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2014. № 2(24). С. 164–166.
- Color Transfer between Images / E. Reinhard, M. Ashikhmin, B. Gooch, P. Shirley // *IEEE Computer Graphics and Applications* – 2001. Vol. 21, issue 5. P. 34-41.
- Color Transfer Using Adaptive Second-Order Total Generalized Variation Regularizer [Электронный ресурс] / B. Xie, C. Xu, Y. Han, R. K. F. Teng // *IEEE Access*. 2018. Vol. 6. P. 6829-6839. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=8248764> (дата обращения: 01.02.2019). DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2789981.
- Color Transfer between Images / E. Reinhard, M. Ashikhmin, B. Gooch, P. Shirley // *IEEE Computer Graphics and Applications* – 2001. Vol. 21, issue 5. P. 34-41.
- Arbelot B., Vergne R., Hurtu T., Thollot J. Local texture-based color transfer and colorization // *Computers & Graphics*. 2017. Vol. 62. P. 15-27. DOI: 10.1016/j.cag.2016.12.005.
- Gong, H., Finlayson G., Fisher R. Recoding Color Transfer as a Color Homography [Электронный ресурс] // *Proc. of the British Machine Vision Conference (BMVC)*. BMA Press, 2016. URL: <http://www.bmva.org/bmvc/2016/papers/paper017/index.html> (дата обращения: 01.02.2019). DOI: 10.5244/C.30.17.
- Maslennikova A., Vezhnevets V. Interactive Local Color Transfer Between Images // *ГрафиКон'2007* : 17-я Междунар. конф. по компьютерной графике и ее приложениям : тр. конф. М., 2007. С. 75–78.
- Zhang Q., Laffont P.-Y., Sim T. Lighting Transfer across Multiple Views through Local Color Transforms // *Proc. of SIGGRAPH ASIA 2016 Technical Briefs*. Электрон. дан. 2016. URL: <http://www.py-laffont.info/publications/SigAsia2016TechBrief.pdf> (дата обращения: 01.02.2019). DOI: 10.1145/3005358.3005360.
- Progressive Color Transfer with Dense Semantic Correspondences / M. He, J. Liao, L. Yuan, P. V. Sander // *arXiv.org e-Print archive* (дата публикации: 12.12.2018). URL: <https://arxiv.org/pdf/1710.00756.pdf> (дата обращения: 01.02.2019).
- Agoston K. M. *Computer Graphics and Geometric Modeling*. London : Springer-Verlag, 2005. 908 p.
- SIPI image Database – Misc. URL: <http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc> & (дата обращения: 01.02.2019).
- Kodak Lossless True Color Image Suite. PhotoCD PCD0992. URL: <http://r0k.us/graphics/kodak/index.html> (дата обращения: 01.02.2019).
- SIPI image Database – Misc. URL: <http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc> & (дата обращения: 01.02.2019).

## References

1. Solovyova A.N., Kuchuganov A.V. Using Contours and Colour Region Boundaries of Photographs in Sculptural Portrait Design. *Proc. of the GraphiCon 2009: 19th International Conference on Computer Graphics and Vision*, Moscow, 2009, pp. 315-316.
2. Solovyova A. N., Kuchuganov A. V. [Multilevel description of images as applied to the interpretation of aerospace images]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2014, vol. 24, no. 2, pp. 164-166. (In Russ.)
3. Reinhard E., Ashikhmin M., Gooch B., Shirley P. Color Transfer between Images. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001, vol. 21, issue 5, pp. 34-41.
4. Xie B., Xu C., Han Y., Teng R. K. F. Color Transfer Using Adaptive Second-Order Total Generalized Variation Regularizer. *IEEE Access*, 2018, vol. 6, pp. 6829-6839. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8248764> (accessed 01.02.2019). DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2789981.
5. Reinhard E., Ashikhmin M., Gooch B., Shirley P. Color Transfer between Images. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001, vol. 21, issue 5, pp. 34-41.
6. Arbelot B., Vergne R., Hurtu T., Thollot J. Local texture-based color transfer and colorization. *Computers & Graphics*, 2017, vol. 62, pp. 15-27. DOI: 10.1016/j.cag.2016.12.005.
7. Gong H., Finlayson G., Fisher R. Recoding Color Transfer as a Color Homography. *Proc. of the British Machine Vision Conference (BMVC)*, BMA Press, 2016. Available at: <http://www.bmva.org/bmvc/2016/papers/paper017/index.html>. (accessed 01.02.2019). DOI: 10.5244/C.30.17.
8. Maslennikova A., Vezhnevets V. Interactive Local Color Transfer Between Images. *Proc. of the GraphiCon 2007: 17th International Conference on Computer Graphics and Vision*, Moscow, 2007, pp. 75-78.
9. Zhang Q., Laffont P.-Y., Sim T. Lighting Transfer across Multiple Views through Local Color Transforms. *Proc. of SIGGRAPH ASIA 2016 Technical Briefs*, 2016. – Available at: <http://www.py-laffont.info/publications/SigAsia2016TechBrief.pdf> (accessed 01.02.2019). DOI: 10.1145/3005358.3005360.
10. He M., Liao J., Yuan L., Sander P.V. Progressive Color Transfer with Dense Semantic Correspondences. *arXiv.org e-Print archive*, 12.12.2018. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1710.00756.pdf> (accessed 01.02.2019).
11. Agoston K.M. *Computer Graphics and Geometric Modeling*. London, Springer-Verlag, 2005, 908 p.
12. *SIPi image Database – Misc.* – Available at: <http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc&> (accessed 01.02.2019).
13. Kodak Lossless True Color Image Suite. PhotoCD PCD0992. – Available at: <http://r0k.us/graphics/kodak/index.html> (accessed 01.02.2019).
14. *SIPi image Database – Misc.* – Available at: <http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc&> (accessed 01.02.2019).

\*\*\*

## Algorithm for Replacement of the Basic Colors of a Bitmap Image

D. D. Daryenko, Student, Kalashnikov ISTU

A. N. Solovyova, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU

The paper describes an algorithm for replacement of the basic colors of a raster image with colors directly specified by a user or automatically derived from a sample image. The transformation is applied in HSV color space to the pixels with hues similar to the basic colors of the image which correspond to the local maxima of the hue histogram of the image. The mapping of the basic colors of the image into the new colors is set by the user or derived automatically. Pixels with low values of saturation or lightness are not subject to the transformation to avoid distortion of image structure and meaning. The alteration of the HSV color components is defined with cubic spline functions interpolating the differences between the original and target color components. A color replacement quality evaluation metric based on the comparison of the rate of pixels in the neighborhood of the basic colors at the histograms of the original and the resulting images excluding pixels of shades of gray is proposed. The developed algorithm is implemented in an image color modification system and can be applied both to local color replacement and to conversion of several images to a common color palette when combining images, preparing images for further analysis or applying art effects.

**Keywords:** color, color correction, color replacement, color transfer, image processing

Получено: 13.02.19