

## АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦВЕТНОГО КОМПЛЕКСИРОВАННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ИЗ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ МОНОХРОМНЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЦВЕТОВ

*Богданов А.П., с.н.с. научно-конструкторского центра видеокомпьютерных технологий (НКЦ ВКТ)*

*ОАО «Государственный рязанский приборный завод», e-mail: hunter-rzn@yandex.ru.*

*Холопов И.С., к.т.н., доцент кафедры «Радиотехнических систем» ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет», e-mail: kholopov.i.s@rsreu.ru.*

**Ключевые слова:** системы технического зрения, цветовые пространства  $RGB$ ,  $l\alpha\beta$ ,  $YCbCr$ ,  $YUV$ , комплексирование изображений, ложные цвета.

### Введение. Постановка задачи

Канал зрительного восприятия является одним из наиболее важных источников информации как в автоматических, так и автоматизированных системах управления [1, 2]. В связи с этим актуальна задача разработки аппаратно-программных комплексов «улучшенного видения» (*Enhanced Vision Systems, EVS*), использующих телевизионные (ТВ), тепловизионные (ТПВ) и инфракрасные (ИК) видеодатчики ближнего (*near infrared, NIR*), коротковолнового (*short wave infrared, SWIR*) и длинноволнового (*long wave infrared, LWIR*) ИК диапазонов. Улучшение изображений в системах EVS достигается применением методов цифровой обработки и комплексированием многоспектральных изображений.

На практике реализуется два основных подхода к комплексированию монохромных ТВ и ТПВ изображений разных диапазонов длин волн:

1) комплексирование монохромных изображений по значениям яркости с использованием методов равновесного и статистического весового суммирования, дискретного вейвлет-преобразования (алгоритмы DWT и aDWTi) и др. [1-5];

2) комплексирование монохромных изображений в ложных цветах с использованием методов *false-color* [6-9].

Ввиду физиологических особенностей сетчатки глаза, содержащей большее количество рецепторов (колбочек), чувствительных к трем основным цветам (красному  $R$ , зеленому  $G$  и синему  $B$ ), чем рецепторов (палочек), чувствительных к яркости света, для человека наиболее информативными являются цветные изображения. В то же время применение ложных цветов при комплексировании затрудняет восприятие информации: увеличивается время распознавания сцены и выделения на ней объектов. Поэтому при использовании методов *false-color* необходимо выполнить преобразование полученного изображения, заключающееся в приведении его гаммы цветов к цветам, характерным для естественного дневного освещения (*true color*). В этом случае второй способ комплексирования представляется более эффективным с точки зрения восприятия информации от многоспектральных датчиков.

Рассмотрены алгоритмы цифровой обработки изображений монохромных видеодатчиков видимого и инфракрасного диапазонов, формирующие комплексированное цветное изображение с гаммой цветов, приближенной к условиям дневного освещения. Для алгоритмов «переноса» и замены цвета в цветовом пространстве  $YCbCr$  определена вычислительная емкость и показана возможность реализации в реальном масштабе времени.

### Представление комплексированного изображения в ложных цветах

Идея группы методов *false-color* заключается в том, что  $RGB$ -компоненты сформированного по монохромным ТВ и ТПВ источникам цветного изображения представляют собой некоторые функционалы вида

$$\begin{aligned} R_f(i, j) &= f_R\{TV(i, j), NIR(i, j), SWIR(i, j), LWIR(i, j)\}, \\ G_f(i, j) &= f_G\{TV(i, j), NIR(i, j), SWIR(i, j), LWIR(i, j)\}, \\ B_f(i, j) &= f_B\{TV(i, j), NIR(i, j), SWIR(i, j), LWIR(i, j)\}. \end{aligned} \quad (1)$$

В (1)  $TV(i, j)$  и  $NIR(i, j)$ ,  $SWIR(i, j)$ ,  $LWIR(i, j)$  – соответственно яркости пикселей монохромных ТВ и ТПВ изображений,  $R_f(i, j)$ ,  $G_f(i, j)$ ,  $B_f(i, j)$  – соответствующие данным пикселям  $RGB$ -компоненты изображения в ложных цветах. Выбор функционалов  $f_R\{\cdot\}$ ,  $f_G\{\cdot\}$  и  $f_B\{\cdot\}$ , реализующих комплексирование в ложных цветах, представляет собой тему для отдельного исследования и поэтому далее не рассматривается. Примеры функционалов (1) приводятся в работах [6-9].

Как правило, перед процедурой комплексирования и ТВ, и ТПВ изображения подвергаются предварительной процедуре расширения динамического диапазона яркости (*contrast stretching*), в результате которой минимальные и максимальные значения яркости устанавливаются в заданных пределах  $Y_{min}$  и  $Y_{max}$  [1, 9]:

$$Y(i, j) = \frac{(Y(i, j)_0 - Y_{0min})(Y_{max} - Y_{min})}{(Y_{0max} - Y_{0min}) + Y_{min}}, \quad (2)$$

где  $Y(i, j)_0$  – значение яркости пикселя исходного изображения, расположенного на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца,  $Y_{0min}$  и  $Y_{0max}$  – соответственно минимальное и максимальное значения яркости пикселей исходного изображения. Если  $Y_{min} = 0$  и  $Y_{max} = 255$ , то (2) переписывается в виде

$$Y(i, j) = \frac{255(Y(i, j)_0 - Y_{0min})}{(Y_{0max} - Y_{0min})}. \quad (3)$$

## Методы изменения гаммы цветов изображения

Анализ публикаций [6-14] показывает, что можно выделить следующие основные методы по приведению (*colorizing*) гаммы цветов исходного изображения к естественным цветам:

1) глобальные, использующие для изменения цвета всех пикселей исходного изображения статистические характеристики (как правило, среднее значение и среднеквадратическое отклонение СКО) хроматических компонент, рассчитанные по всему изображению-эталоно;

2) локальные, использующие для изменения цвета группы пикселей исходного изображения статистические характеристики хроматических компонент, рассчитанные по выбранным участкам (*swatches*) изображения-эталоно.

К глобальным методам относятся [6-12]:

– «перенос» («передача») цвета с изображения-эталоно (в зарубежной литературе такой метод называется *color transfer*);

– замена цвета по эталонной карте цветов (*remap, recolor*);

– метод анализа гистограмм.

К локальным методам относятся [13, 14]:

– алгоритмы, основанные на сегментации по яркости с последующим изменением гаммы цветов каждого сегмента по результатам сопоставления среднего значения и СКО яркости пикселей выделенных областей исходного изображения и эталоно;

– нахождение доминантного цвета – сопоставление доминантных цветов областей исходного изображения и эталоно в выбранном цветовом пространстве и их копирование с эталоно на исходное изображение;

– поиск в эталоне для каждого пикселя и его некоторого окружения исходного изображения наиболее близкого (по критерию минимума невязки среднего значения и СКО) пикселя и его окружения эталоно и соответствующее копирование его хроматических компонент.

Следует заметить, что локальные методы в случае использования яркостной компоненты при сравнении или сопоставлении дополнительно требуют нормализации эталоно по яркостной компоненте относительно исходного изображения.

Далее ограничимся рассмотрением только глобальных алгоритмов «переноса» и замены цвета, которые требуют наименьших (из перечисленных методов) вычислительных затрат и могут быть реализованы в реальном масштабе времени, и двумя монохромными видеодатчиками: ТВ и ИК коротковолнового диапазона 0,9...1,7 мкм (SWIR).

### Метод «переноса» цвета

Данный метод заключается в замене моментов первого и второго порядка – математического ожидания и СКО – параметров пикселей  $\theta_i$  (где  $i = 1, 2, 3$  – количество каналов, соответствующих выбранному цветовому пространству) исходного изображения математическим ожиданием и СКО аналогичных величин изображения-эталоно. При использовании алгоритмов «переноса» цвета желательно, чтобы сюжет изображения-эталоно

соответствовал сюжету исходного изображения, а параметры  $\theta_i$  имели минимальную взаимную корреляцию. Для стандартного представления цветного изображения в цветовом пространстве *RGB* характерна высокая корреляция между различными каналами [10, 11]: если составляющая синего цвета *B* велика, то большинство пикселей также будут иметь большое значение для каналов красного *R* и зеленого *G*. Поэтому «перенос» цвета лучше выполнять в ортогональном цветовом пространстве без корреляции между осями *RGB*.

На основании результатов ряда исследований по особенностям зрительной системы человека Рудерман (Ruderman D.L.) с соавторами в 1998 г. разработал цветовое пространство  $l\alpha\beta$ , в котором минимизируется межканальная корреляция для многих природных сцен [10]. Преобразование *RGB*-> $l\alpha\beta$  выполняется в несколько этапов.

1. Преобразование *RGB*->*LMS*:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,3811 & 0,5783 & 0,0402 \\ 0,1967 & 0,7244 & 0,0782 \\ 0,0241 & 0,1288 & 0,8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

2. Логарифмирование:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{L} \\ \mathbf{M} \\ \mathbf{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \log L \\ \log M \\ \log S \end{bmatrix} \quad (5)$$

3. Преобразование *LMS*-> $l\alpha\beta$ :

$$\begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{6} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{L} \\ \mathbf{M} \\ \mathbf{S} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Таким образом, как следует из (4)-(6), каналы в пространстве  $l\alpha\beta$  содержат ахроматический  $l = R + G + B$  и два цветоразностных компонента: «желтый-синий»  $\alpha = R + G - B$  и «красный-зеленый»  $\beta = R - G$  [10].

«Перенос» цвета с изображения-эталоно (*target*) на исходное изображение (*source*) выполняется в соответствии с выражением [11]

$$\theta_s^* = (\theta_s - \mu_s^\theta) \sigma_t^\theta / \sigma_s^\theta + \mu_t^\theta, \quad \theta = l, \alpha, \beta, \quad (7)$$

где индексы *s* и *t* обозначают соответственно исходное изображение и эталон, а символами  $\mu^\theta$  и  $\sigma^\theta$  обозначены соответственно математическое ожидание и СКО параметра  $\theta$  по полю изображения. Для выполнения обратного преобразования  $l\alpha\beta$ ->*RGB* необходимо выполнить математические действия, обратные преобразованиям (6), (5) и (4).

С целью уменьшения количества математических операций, необходимых для «переноса» цвета в цветовом пространстве  $l\alpha\beta$ , можно использовать другие цветовые модели, снижающие межканальную корреляцию [9, 12]:  $Y C_B C_R$  и  $YUV$ . В них значение ахроматической составляющей яркости *Y* изменяется в пределах 0...255, а значения цветоразностных составляющих  $C_B$  и  $C_R$  (*U* и *V*) – в пределах -128...127:

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_B \\ C_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2990 & 0,5870 & 0,1140 \\ -0,1687 & -0,3313 & 0,5000 \\ 0,5000 & -0,4187 & -0,0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2990 & 0,5870 & 0,1140 \\ -0,1471 & -0,2888 & 0,4359 \\ 0,6148 & -0,5148 & -0,1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}; \quad (9)$$

$$\theta_s^* = (q_s - \mu_s^\theta) \sigma_i^\theta / \sigma_s^\theta + \mu_i^\theta, \quad (10)$$

$$\theta = Y, C_B, C_R (\theta = Y, U, V);$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,0000 & 0,0000 & 1,4020 \\ 1,0000 & -0,3441 & -0,7141 \\ 1,0000 & 1,7720 & 0,0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ C_B \\ C_R \end{bmatrix}; \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,0000 & 0,0000 & 1,4020 \\ 1,0000 & -0,3947 & -0,5808 \\ 1,0000 & 2,0325 & 0,0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix}. \quad (12)$$

В работах [9, 12] показано, что результаты «переноса» цвета в пространствах  $\alpha\beta$  и  $YC_B C_R$  ( $YUV$ ) визуально практически неразличимы.

Количество вычислительных операций на реализации преобразования цветного изображения размером  $N \times N$  пикселей из  $RGB$  в декоррелированное цветовое пространство и обратно приведено в табл. 1.

Таблица 1

Операция	«+»	«*»	$\log x$	$10^x$
$\alpha\beta$	$22N^2$	$34N^2$	$3N^2$	$3N^2$
$YC_B C_R$ ( $YUV$ )	$10N^2$	$13N^2$	-	-

Таблица 2

Операция	«+»	«*»	«/»
С учетом эталона	$31N^2$	$22N^2$	$3N^2$
Без учета эталона	$25N^2$	$19N^2$	$3N^2$

Поскольку составляющая  $Y$  является ахроматической, то при реализации «переноса» цвета можно исключить из (10) вычисление значений  $\mu_s^Y$ ,  $\mu_t^Y$ ,  $\sigma_i^Y$  и  $\sigma_s^Y$  и расчет  $Y$ , уменьшив тем самым количество вычислений на  $8N^2$  операций сложения,  $3N^2$  операций умножения и  $N^2$  операций деления.

В [9] также рассматриваются алгоритмы «переноса» цвета, в которых ахроматическая составляющая  $Y^*$  итогового изображения формируется в результате комплексирования по яркости монохромных ТВ и ТПВ изображений (в простейшем случае  $Y^*(i, j) = 0,5[TV(i, j) + SWIR(i, j)]$ ). Этот метод обеспечивает еще большую информативность комплексированного изображения.

Обобщенная структурная схема для реализации метода «переноса» цвета в пространстве  $YC_B C_R$  приведена на рис. 1.

На рис. 1 введены обозначения: БКПЦ – блок комплексирования в ложных цветах, выполняющий операции (1), БПЦ – блок «переноса» цвета, выполняющий операции (10). Блоки  $RGB \rightarrow YC_B C_R$  и  $YC_B C_R \rightarrow RGB$  выполняют соответственно операции (8) и (11). Для уменьшения объема памяти в банке эталонов можно хранить не сами изображения, а заранее рассчитанные значения параметров  $\mu_t^Y$ ,  $\mu_t^{C_B}$ ,  $\mu_t^{C_R}$ ,  $\sigma_i^Y$ ,  $\sigma_i^{C_B}$ ,  $\sigma_i^{C_R}$  и не вы-

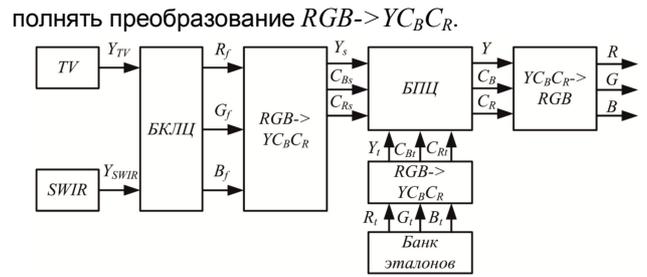


Рис. 1. Структурная схема для реализации метода «переноса» цвета

Результаты проведенных экспериментов по «переносу» цвета в соответствии с (4)–(7) и (8)–(12) показывают, что на практике следует нелинейно ограничивать отношение  $\sigma_i^\theta / \sigma_s^\theta$  значением 3...5, поскольку при невыполнении данной процедуры в итоговом изображении появляются цвета с высокой насыщенностью, не характерные для естественных сцен.

### Метод замены цвета

При использовании данного метода необходимо иметь цветное изображение-эталон, полученное в условиях дневного освещения, с той же самой сценой, что и на комплекслируемых монохромных ТВ и ТПВ изображениях.

Формулы (1) для получения изображения в ложных цветах, как правило, записывают в виде [6-8]:

$$\begin{aligned} R_f(i, j) &= TV(i, j), \\ G_f(i, j) &= SWIR(i, j), \\ B_f(i, j) &= 0. \end{aligned} \quad (13)$$

После выполнения преобразований (13) получается изображение в ложных цветах, каждый пиксель которого характеризуется двумя координатами положения  $(i, j)$  и двумя координатами цвета  $(R_f, G_f)$ , т.е. фактически такое изображение является тензором с валентностью 4 [15]. Затем находится соответствие между сформированным *false-color* изображением и эталоном: для всех пикселей с координатами цвета  $(R_{fk}, G_{fm})$ ,  $k, m = 0, 255$ , в изображении-эталоне ищутся пиксели с аналогичными координатами положения  $(i, j)$  и координатами цвета  $(R_e, G_e, B_e)$ . Далее для каждого сочетания  $(R_{fk}, G_{fm})$  по найденным пикселям рассчитывается среднее арифметическое значение  $RGB$ -компонент цвета, соответствующих данному сочетанию ложных цветов. Простейший способ усреднения заключается в нахождении математических ожиданий  $\mu_{R_e}$ ,  $\mu_{G_e}$  и  $\mu_{B_e}$  непосредственно в каналах  $R, G, B$  изображения-эталона, однако, как отмечено в [6-9, 12], наилучшие результаты достигаются в случае усреднения в декоррелированном цветовом пространстве  $\alpha\beta$  ( $YC_B C_R, YUV$ ).

В результате получается некоторая таблица перекодировки или карта эталонных цветов (*colormap*), которая определяет однозначное соответствие между ложным цветом  $(R_{fk}, G_{fm}, 0)$  и цветом при дневном освещении  $(\mu_{R_e}, \mu_{G_e}, \mu_{B_e})$ . Полученные таким образом карты цветов также могут усредняться для разных типов похожих сцен (например, городской пейзаж, сельский пейзаж, лес, равнина, горы и т.п.). Выбор цветовой карты, описывающей

тот или иной сюжет, можно производить, например, по данным от спутниковых радионавигационных и геоинформационных систем. Усредненные карты цветов являются робастными, поскольку позволяют получить цвета, характерные для дневного освещения, для широкого спектра возможных сцен, сохраняя при этом приблизительно правильную цветопередачу основных сюжетных элементов: неба, рельефа, ландшафта, некоторых объектов инфраструктуры.

В то же время применение операции усреднения при построении таких карт цвета приводит к тому, что хроматические компоненты пикселей объектов, занимающие большую часть ТВ (ТПВ) изображения, имеют больший вес, в результате чего их цвета при использовании техники замены цвета присваиваются тем объектам, которые занимают на изображении меньшую часть [6-8].

Для реализации алгоритма замены цвета с одного изображения размером  $N \times N$  пикселей на другое (без учета операций на построение карты цветов) и при количестве градаций каждой из составляющих ложных цветов  $M$  необходимо хранить в памяти вычислителя  $3M^2$  значений  $RGB$ -компонент и выполнять  $3N^2M^2$  обращений к памяти.

Структурная схема для реализации метода замены цвета приведена на рис. 2, где БЗЦ – блок замены цвета. БКЛЦ выполняет операции (13).

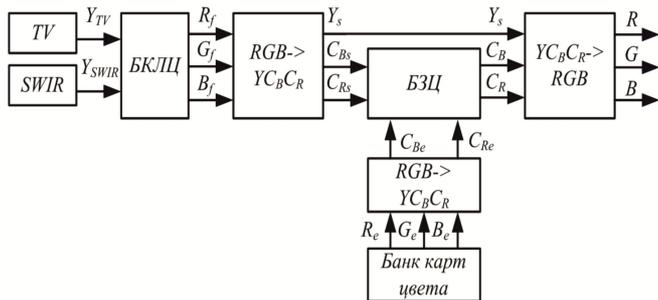


Рис. 2. Структурная схема для реализации метода замены цвета

**Результаты эксперимента**

Результаты комплексирования в цвете монохромных ТВ и ТПВ изображений размером  $800 \times 600$  пикселей с использованием метода «переноса» цвета в пространстве  $YC_bC_r$  приведены на рис. 3. Изображения в ложных цветах получены по трем разным алгоритмам [6-9]:

$$R_f(i, j) = SWIR(i, j),$$

$$G_f(i, j) = TV(i, j),$$

$$B_f(i, j) = TV(i, j) - SWIR(i, j);$$

$$R_f(i, j) = SWIR(i, j),$$

$$G_f(i, j) = TV(i, j),$$

$$B_f(i, j) = TV(i, j);$$

$$R_f(i, j) = SWIR(i, j) - TV^*(i, j),$$

$$G_f(i, j) = TV(i, j) - SWIR^*(i, j),$$

$$B_f(i, j) = TV(i, j) - SWIR(i, j),$$

$$TV^*(i, j) = TV(i, j) - \min\{TV(i, j), SWIR(i, j)\},$$

$$SWIR^*(i, j) = SWIR(i, j) - \min\{TV(i, j), SWIR(i, j)\}.$$

Анализ полученных результатов показывает, что при правильно выбранном эталоне применение алгоритма (10) обеспечивает получение приблизительно одинаковых результатов независимо от выбранного метода комплексирования в ложных цветах (14), (15) или (16). Наиболее близкое к цветам естественного дневного освещения изображение получается при использовании (14). Применение (15) и (16) несколько повышает контрастность изображений, однако гамма цветов становится более холодной.

Метод замены цвета исследовался для монохромных ТВ и ТПВ изображений размером  $800 \times 600$  пикселей (рис. 4) и усредненной карты эталонных цветов городского летнего пейзажа, взятых из [16].

Полученный результат показал, что использование карт цвета правильно передает цвета основных элементов сцены. Из-за усреднения при составлении карты цветов (рис. 4, ж) наблюдается характерный для данного метода недостаток: крыша дома и задние фонари автомобиля, стоящего у въезда в гараж, принимают цвет дорожного покрытия (рис. 4, д).

Анализ карт цветов позволяет выявить общую для многих сцен закономерность: пиксели с цветами, соответствующими изображению неба и ландшафта, располагаются приблизительно на одних и тех же позициях. Это позволяет, меняя только цвет данных пикселей (по составленной и описанной выше методике) одной карты цветов, получить целый ряд карт, адаптированных к ландшафту и времени года. В [17] приведены карты цветов для изменения гаммы цветов изображений с городскими сюжетами (условно названные «весна», «осень» и «зима» соответственно) размером  $256 \times 256$ , эвристически полученные из «летней» карты цветов для городского пейзажа [8] путем изменения компонент  $R$ ,  $G$  и  $B$  пикселей, лежащих ниже главной диагонали карты. Результаты применения таких карт к ТВ и ТПВ изображениям с рис. 4 также приведены в [17]. Быстродействие алгоритмов «переноса» и замены цвета (с учетом процедуры расширения динамического диапазона (3)) при их реализации в среде C++ Builder на ПЭВМ с процессором Pentium Dual CPU E2200 (в вычислениях было задействовано одно ядро) и ОЗУ 1 Гб приведено в табл. 3.

Таблица 3

Алгоритм	«Перенос» цвета	Замена цвета
Быстродействие, кадров/с	9,3...9,9	16,9...17,4

Следует отметить, что цветное изображение в условиях дневного освещения (рис. 1, г) получено в другое время года, чем ТВ и ТПВ изображения.

Как следует из полученных результатов, при уменьшении размера изображений с  $800 \times 600$  до  $400 \times 300$  пикселей метод замены цвета может быть реализован на ПЭВМ в реальном масштабе времени для видеопоследовательности с частотой 25 кадров/с.



а)



б)



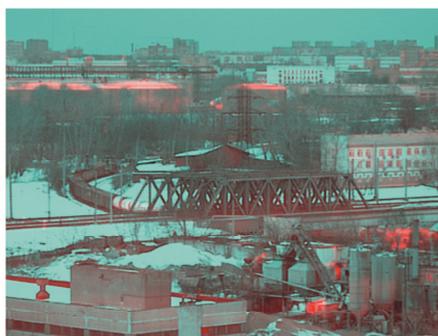
в)



г)



д)



е)



ж)



з)



и)



к)

Рис. 3 – Метод «переноса» цвета: а) ТВ изображение, б) ТПВ изображение, в) цветное изображение-эталон, г) изображение сцены, приведенной на а) и б), при дневном освещении, д), е) и ж) изображения в ложных цветах, составленные по (14), (15) и (16) соответственно, з), и) и к) результат «переноса» цвета с в) на д), е) и ж) соответственно



а)



б)



в)

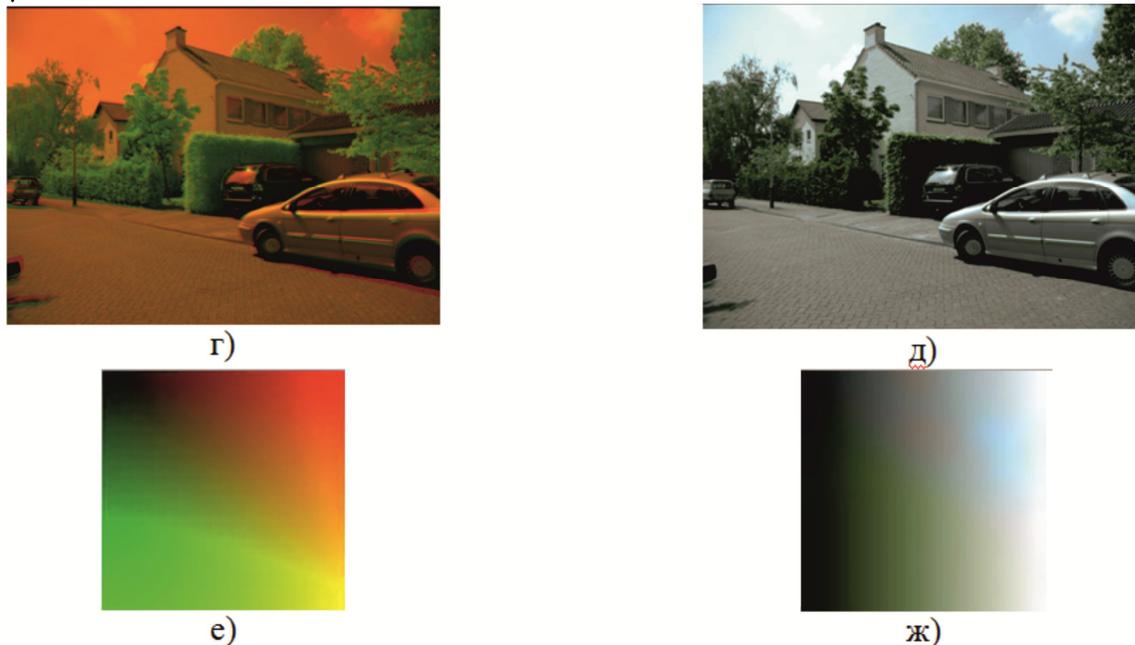


Рис. 4 – Метод замены цвета: а) ТВ изображение, б) ТПВ изображение, в) изображение сцены, приведенной на а) и б), в условиях дневного освещения, г) комплексированное изображение в ложных цветах, д) результат замены цвета по карте цветов ж), е) карта цветов изображения г), ж) карта цветов изображения в)

## Заключение

Таким образом, рассмотренные методы преобразования цветов позволяют при наличии ТВ и ТПВ изображений в градациях серого путем алгебраических преобразований сформировать цветные комплексированные изображения с цветовой гаммой, приближенной к условиям естественного дневного освещения. И метод «переноса», и метод замены цвета имеют высокую универсальность и могут быть адаптированы под разные климатические и фенологические условия. Проведенный анализ быстродействия алгоритмов преобразования цветов показывает, что при их реализации на современных процессорах цифровой обработки сигналов можно выполнять комплексирование в цветах, близких к естественным, в реальном масштабе времени.

К перспективам развития алгоритмов формирования цветного комплексированного изображения следует отнести: разработку универсальных математических моделей, описывающих карты эталонных цветов; использование акцентирования цветом для выделения объектов на основе результатов комплексирования по яркости; комбинирование глобальных и локальных методов изменения гаммы цветов.

## Литература

1. Визильтер Ю.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, А.В. Бондаренко, М.В. Ососков, А.В. Моржин. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
2. Костяшкин Л.Н. Технологии систем улучшенного / синтезированного зрения для управления летательными аппаратами / Л.Н. Костяшкин, С.И. Бабаев, А.А. Логинов, О.В. Павлов // Труды научно-технической конференции-семинара «Техническое зрение в системах управления

мобильными объектами-2010» / под ред. Р.Р. Назирова. – М.: МЕХАНИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА, 2011. – С. 45-56.

3. Zheng, Y., Essock, E. A. & Hansen, B.C. An advanced image fusion algorithm based on wavelet transform – incorporation with PCA and morphological processing // Proc. SPIE 5298, 2004. – pp. 177–187.

4. Das, S. and Krebs, W.K. Sensor fusion of multispectral imagery // Institution of Electrical Engineers: Electronics Letters, 2000. – № 36. – pp. 1115-1116.

5. Joel Lanir, Masha Maltz and Stanley R. Rotman. Comparing multispectral image fusion methods for a target detection task // Optical Engineering, June 2007. – № 46 (6). – pp. 066402-1 – 066402-8.

6. Maarten A. Hogervorst, Alexander Toet. Method for applying daytime colors to nighttime imagery in realtime // Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications. – Proc. of SPIE, 2008. – Vol. 6974. –pp. 697403-01 - 697403-08.

7. Toet, A. and Hogervorst, M.A. Portable real-time color night vision // Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications. The International Society for Optical Engineering, Bellingham, WA, USA, 2008. – pp. 706-713.

8. Toet, A., Hogervorst, M.A. The TRICLOBS portable triband lowlight color observation system // Proc. SPIE, 2009. – Vol. 7345. – pp. 734503-1–734503-11.

9. Image Fusion and Its Applications / edited by Yufeng Zheng. – Rijeka: InTech, 2011. – 242 p.

10. D.L. Ruderman, T.W. Cronin and C.C. Chiao. Statistics of cone responses to natural images: Implications for visual coding // J. Optical Soc. of America, 1998. – Vol. 15, no. 8. – pp. 2036-2045.

11. Erik Reinhard, Michael Ashikhmin, Bruce Gooch and Peter Shirley. Color transfer between images // IEEE Computer Graphics and Applications, 2001. – 0272-1716. – pp. 34-41.

12. Shi S., Wang L., Jin W., Zhao Y. Color night vision based on color transfer in YUV color space // Proc. SPIE, 2008. – Vol. 6623. – pp. 66230B-1-66230B-12.

13. Efros, A.A. and Freeman, W.T. Image quilting for texture synthesis and transfer // Proceedings of ACM SIGGRAPH, 2001. – pp. 341-346.

14. Tomihisa Welsh, Michael Ashikhmin, Klaus Mueller. Transferring Color to Greyscale Images // SIGGRAPH '02 Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 2002. – pp. 277-280.

15. Димитриенко Ю.И. Тензорное исчисление/Ю.И. Димитриенко. – М.: Высшая школа, 2001. – 576 с.

16. Maarten A. Hogervorst, Alexander Toet. Presenting nighttime imagery in daytime colours // 11th International Conference on Information Fusion, 2008. – pp. 706-713.

17. [http://stk-kholopov.space.rsreu.ru/public/Pictures\\_for\\_DSP\\_journal\\_2013.pdf](http://stk-kholopov.space.rsreu.ru/public/Pictures_for_DSP_journal_2013.pdf). Дата обращения: 30.10.12.

## ALGORITHMS OF COLOR FUSION FROM MONOCHROME MULTISPECTRAL IMAGES BASED ON COLOR CONVERSION METHODS

*Bogdanov A.P., Kholopov I.S.*

The algorithms of digital monochrome visible and infrared image processing which form the color fusion image with the closer to daylight conditions color spectrum is considered. Computational capacity and the possibility of real-time implementing for transfer and replacing color algorithms in color space  $Y_C B_C R$  is defined.

**ОХОТНИК**  
**СИСТЕМА ОБРАБОТКИ**  
**ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Патенты России №2235448, 36919, 53169, 56121, 601115, 61987, 62361

Используемые видеоканалы:  
• телевизионный (дневной, низкоуровневый), тепловизионный;  
• количество одновременно работающих информационных каналов - 1-2.

 **ФГУП**  
**ГРПЗ**    Россия  
390000, г. Рязань  
ул. Семинарская, 32

Тел: 8 (4912) 218-381, 298-325  
Тел/факс: 8 (4912) 218-380  
E-mail: Hunter-rzn@yandex.ru