

УДК 621.391.26

## ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ АЛГОРИТМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЦВЕТНОГО КОМПЛЕКСИРОВАННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО СИГНАЛАМ РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫХ МОНОХРОМНЫХ ДАТЧИКОВ

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

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

*Павлов О.В., начальник лаборатории научно-конструкторского центра видеокomпьютерных 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:** цветовые пространства  $RGB$ ,  $l\alpha\beta$ ,  $YC_B C_R$ ,  $YUV$ , комплексирование изображений, ложные цвета, «перенос» цвета, гистограмма, билатеральная фильтрация.

### Введение

Анализ публикаций [1-4] показывает актуальность исследований по комплексированию в цвете разносектральных монохромных изображений (МХИ) в ложных цветах с последующим приведением гаммы цветов к условиям естественного освещения методами «переноса» (*color transfer*) и замены (*remap*) цвета.

Более универсальным, несмотря на меньшее быстродействие, следует признать метод «переноса» цвета, реализуемый в декоррелированных цветовых пространствах  $l\alpha\beta$ ,  $YC_B C_R$  или  $YUV$ :

$$\theta_s^* = (\theta_s - \mu_s^\theta) \sigma_t^\theta / \sigma_s^\theta + \mu_t^\theta, \quad (1)$$

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

где индексы  $s$  и  $t$  обозначают соответственно исходное изображение (*source*) и эталон (*target*), а символами  $\mu^\theta$  и  $\sigma^\theta$  обозначены соответственно математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение (СКО) параметра  $\theta$ , оцениваемые по кадру изображения.

Как видно из (1), такое преобразование, помимо «переноса» цветоразностных компонент  $\alpha, \beta$  ( $C_B, C_R; U, V$ ) эталона, изменяет и яркостную компоненту  $l(Y)$  исходного изображения. В случае малококонтрастных исходных изображений и высокококонтрастного эталона это приводит к улучшению (усилению контрастности и контурного препарата при оптимальном яркостном распределении) комплексированного изображения, однако в противном случае (малококонтрастный эталон при контрастных монохромных изображениях) напротив, ухудшает качество результата.

Применение преобразования (1) основано на гипотезе о том, что гистограммы компонент  $\theta$  хорошо аппроксимируются одномодовым гауссовским распределением. Данная гипотеза в большинстве случаев справедлива для цветоразностных компонент, однако в общем случае не верна для компоненты  $Y$ , которая, как показано в [5], наилучшим (по критерию минимума СКО) образом ап-

Приведены упрощенные алгоритмы формирования изображений в ложных цветах в декоррелированных цветовых пространствах для задачи формирования цветного изображения с гаммой цветов, приближенной к условиям дневного освещения. Показано, что их применение повышает быстродействие метода «переноса» цвета до 1,8 раза по сравнению с алгоритмами формирования изображений в ложных цветах в пространстве  $RGB$ . Рассмотрены алгоритмы улучшения и комплексирования монохромных разносектральных изображений.

проксимируется многокомпонентным бета-распределением:

$$p(Y_n) = \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i(Y_n), \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1,$$

$$p_i(Y_n) = \frac{1}{B(\mu, \nu)} Y_n^{\mu-1} (1 - Y_n)^{\nu-1},$$

где  $Y_n \in [0, 1]$  – нормированное значение яркости,  $Y_n = Y/255$ ,  $B(\mu, \nu)$  – бета-функция,  $\mu, \nu$  – параметры бета-распределения,  $n \leq 6$  (в [5] рекомендовано значение  $n = 3$ ). Поэтому применение (1) к сюжетам, гистограммы распределения яркости которых имеют локальные максимумы, близкие к  $Y = 0$  и  $Y = 255$ , также приводит к снижению числа градаций яркости на локальных областях изображения.

Учитывая перечисленные недостатки, в [3, 4] отмечается целесообразность формирования ароматической компоненты  $Y_F$  итогового изображения как результата комплексирования по яркости монохромных телевизионных (ТВ) и тепловизионных (ТПВ) изображений:

$$Y_F(i, j) = F\{TV(i, j), IR(i, j)\}. \quad (2)$$

**Цель исследования:** разработка быстрых алгоритмов формирования цветного комплексированного изображения из разносектральных МХИ; поиск универсальных эталонов и анализ алгоритмов формирования яркостной компоненты  $Y$  итогового изображения.

### Повышение быстродействия метода «переноса» цвета

Изображение в ложных цветах ( $R_f, G_f, B_f$ ) можно сформировать из разносектральных МХИ не в пространстве  $RGB$ ,

$$\begin{aligned}
 R_f(i, j) &= f_R \{TV(i, j), IR(i, j)\}, \\
 G_f(i, j) &= f_G \{TV(i, j), IR(i, j)\}, \\
 B_f(i, j) &= f_B \{TV(i, j), IR(i, j)\},
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

с последующим переходом в декоррелированное цветное пространство по формулам

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_B \\ C_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2990 & 0,5870 & 0,1140 \\ -0,1687 & -0,3313 & 0,5000 \\ 0,5000 & -0,4187 & -0,0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,2990 & 0,5870 & 0,1140 \\ -0,1471 & -0,2888 & 0,4359 \\ 0,6148 & -0,5148 & -0,1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (5)$$

как это реализовано в [1, 2, 4], а непосредственно в  $YC_B C_R$  ( $YUV$ ). Если функционалы в (3) представить в виде

$$\begin{aligned}
 R_f(i, j) &= IR(i, j), \\
 G_f(i, j) &= TV(i, j), \\
 B_f(i, j) &= TV(i, j) - IR(i, j),
 \end{aligned}
 \quad (6)$$

то с учетом (4) и (5) приближенно можно считать, что

$$C_{Bf}(i, j) \approx U_f(i, j) \approx -IR(i, j) / 2,$$

$$C_{Rf}(i, j) \approx V_f(i, j) \approx [IR(i, j) - TV(i, j)] / 2. \quad (7)$$

Аналогичным образом можно показать, что если

$$\begin{aligned}
 R_f(i, j) &= IR(i, j), \\
 G_f(i, j) &= TV(i, j), \quad B_f(i, j) = TV(i, j),
 \end{aligned}
 \quad (8)$$

то

$$\begin{aligned}
 C_{Bf}(i, j) &\approx U_f(i, j) \approx [TV(i, j) - IR(i, j)] / 4, \\
 C_{Rf}(i, j) &\approx V_f(i, j) \approx [IR(i, j) - TV(i, j)] / 2.
 \end{aligned}
 \quad (9)$$

В [3] предложен несколько иной подход, при котором полагается, что

$$C_{Bf}(i, j) = TV(i, j) - IR(i, j), \quad (10)$$

$$C_{Rf}(i, j) = -C_{Bf}(i, j),$$

и, следовательно,

$$m_i^{CB} = -m_i^{CR}, \quad s_i^{CB} = s_i^{CR}, \quad (11)$$

что позволяет вдвое снизить объем вычислений при оценке  $\mu_i^\theta$  и  $\sigma_i^\theta$  ( $\theta = C_B, C_R$ ).

Результаты «переноса» цвета в соответствии с выражениями (6), (4); (7); (8), (4); (9) и (10), (11) приведены на рис. 1, а в табл. 1 сведены результаты количества арифметических операций (АО) на реализацию рассмотренных алгоритмов для изображений размером  $N \times N$  пикселей. При подсчете числа АО полагается, что  $Y_f(i, j) = TV(i, j)$  и моменты эталона  $\mu_i^\theta$  и  $\sigma_i^\theta$  вычислены заранее.

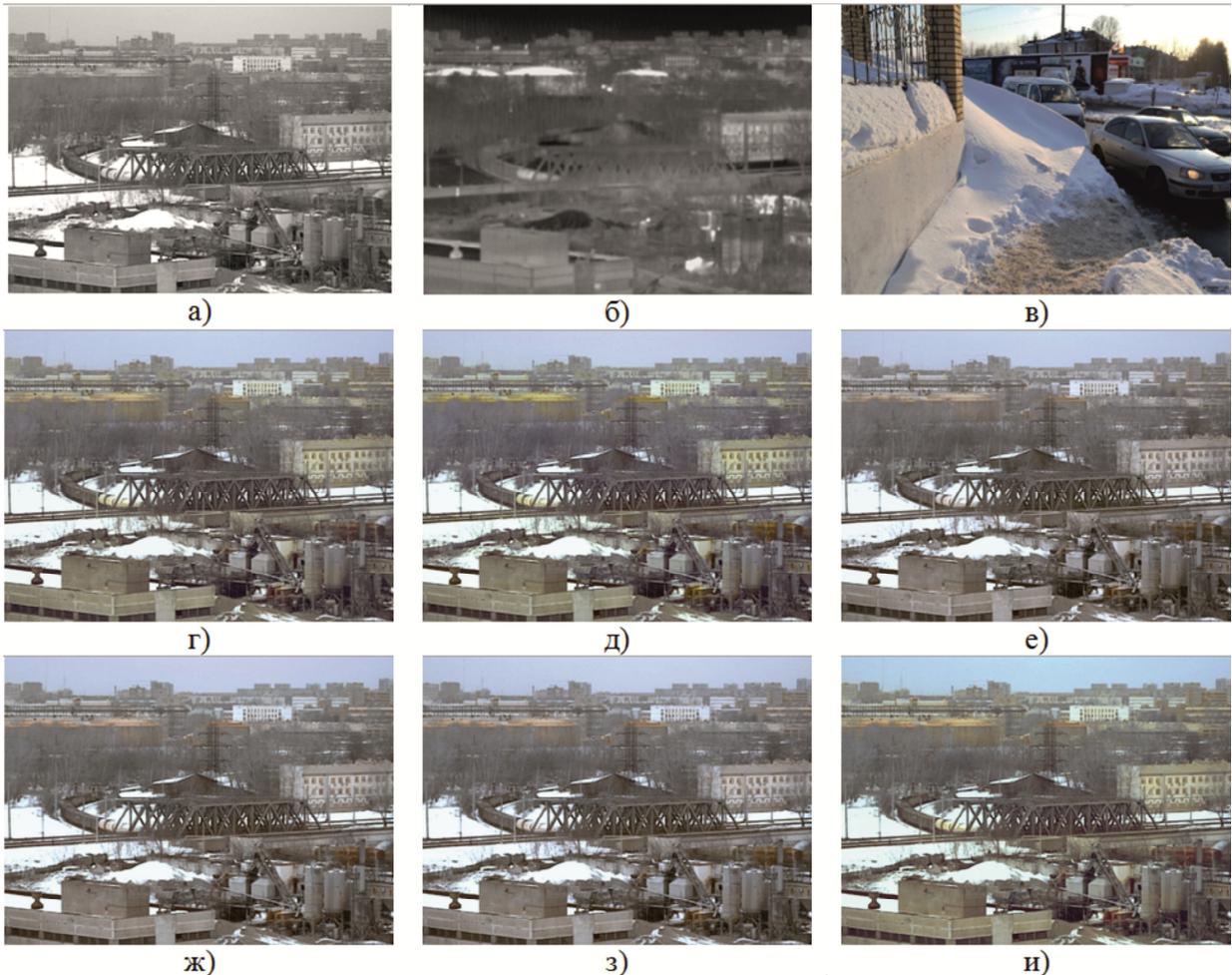


Рис. 1. Реализация метода «переноса» цвета по разным алгоритмам: а) ТВ изображение, б) ТПВ изображение, в) цветное изображение-эталон, г)-з) результат «переноса» цвета при формировании ложных цветов по формулам (6)-(10) соответственно, и) результат «переноса» цвета при эвристическом выборе  $\|\mu_i^{CB}, \mu_i^{CR}, \sigma_i^{CB}, \sigma_i^{CR}\|^T$

Таблица 1

Алгоритм	(6), (4)	(7)	(8), (4)	(9)	(10), (11)
«+»	$18N^2$	$9N^2$	$17N^2$	$10N^2$	$9N^2$
«*»	$16N^2$	$6N^2$	$16N^2$	$6N^2$	$6N^2$
«/»	$2N^2$	$2N^2$	$2N^2$	$2N^2$	$2N^2$
сдвиг вправо	-	$2N^2$	-	$2N^2$	-
Итого	$36N^2$	$19N^2$	$35N^2$	$20N^2$	$19N^2$

Таким образом, формирование цветоразностных компонент по приближенным формулам (7), (9) или (10) повышает быстродействие метода переноса цвета в среднем в 1,8 раза, а применение (10) и (11) вдвое уменьшает затраты машинного времени при вычислении  $\mu_t^{CB}$ ,  $\mu_t^{CR}$ ,  $\sigma_t^{CB}$  и  $\sigma_t^{CR}$  по заданному эталону. Анализ результатов «переноса» цвета показывает, что использование формул (6)-(10) обеспечивает приблизительно одинаковый результат. Применение при формировании ложных цветов (6) или (7) дает результирующее изображение с теплой гаммой цветов, а (8)-(10) – с холодной. Критерии выбора универсального эталона и повышение информативности.

Важной задачей при формировании цветного комплексированного изображения из разносектральных МХИ является выбор эталона, который, во-первых, обеспечивает приблизительно правильную цветопередачу для широкого класса сюжетов, в том числе и для разных времен года, а, во-вторых, упрощает визуальное выделение представляющих интерес объектов.

Эталон используется исключительно для вычисления моментов  $\mu_t^{CB}$ ,  $\mu_t^{CR}$ ,  $\sigma_t^{CB}$  и  $\sigma_t^{CR}$ . Вместе с тем его выбор можно связать с необходимостью выделения заданных объектов, например, холодных и горячих, видимых на ТПВ изображении как темные и светлые объекты соответственно. При выводе ТПВ изображения на монитор, как правило, используется стандартная цветовая палитра, в соответствии с которой темные объекты (холодные) окрашиваются в синие тона, а светлые объекты (горячие) – в красные. В этом случае выбирается конкретная конфигурация, например (8), (9), (10) или

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

$$G_f(i, j) = TV(i, j), \tag{12}$$

$$B_f(i, j) = 255 - IR(i, j)$$

и соответствующий эталон, в котором акцентируются именно синие и красные тона.

Очевидно, что эталон должен быть высококонтрастным по каждому каналу RGB и иметь совокупность областей с доминирующими цветами, которые присущи соответствующим сюжетам.

Поскольку для большинства природных сцен в цветовых пространствах  $YCbCr$  и  $YUV$ , как правило, выполняются неравенства

$$|\mu_t^\theta| < 15; 5 < \sigma_t^\theta < 25; \theta = C_B, C_R (\theta = U, V),$$

это позволяет полностью отказаться от изображений-эталонных и эвристически подобрать некоторые численные значения  $\mu_t^{CB}$ ,  $\mu_t^{CR}$ ,  $\sigma_t^{CB}$  и  $\sigma_t^{CR}$ , обеспечивающие приблизительно такую же цветопередачу, что и ряд эталонных. Можно рекомендовать следующие значения па-

раметров математического ожидания и СКО:  $\|\mu_t^{CB}, \mu_t^{CR}, \sigma_t^{CB}, \sigma_t^{CR}\|^T = \|-10, -15, 20, 15\|^T$  – для сюжетов «весна-лето»,  $\|\mu_t^{CB}, \mu_t^{CR}, \sigma_t^{CB}, \sigma_t^{CR}\|^T = \|-2, 2, 15, 20\|^T$  – для осенних сюжетов,  $\|\mu_t^{CB}, \mu_t^{CR}, \sigma_t^{CB}, \sigma_t^{CR}\|^T = \|2, -2, 10, 10\|^T$  – для зимних сюжетов. Результат переноса цвета при эвристическом выборе параметров  $\mu_t^\theta$  и  $\sigma_t^\theta$  приведен на рис. 1, и.

Повышение информативности ахроматической составляющей обеспечивают алгоритмы улучшения и комплексирования ТВ и ТПВ каналов. При выборе функционала  $F\{\cdot\}$  в (2) необходимо учитывать, что на практике он должен быть реализован в реальном масштабе времени для видеоряда с размерами кадра не менее 800x600 пикселей и частотой  $f_k = 25...50$  Гц. Это не позволяет применять вычислительно емкие алгоритмы: пирамиды лапласианов для комплексирования ТВ и ТПВ изображений [6, 7] и алгоритмы *Multiscale Retinex* [8] для улучшения. Поэтому для практической реализации (2) можно рекомендовать:

1) улучшение ТВ и ТПВ изображений посредством применения к ним процедур эквализации или приведения гистограммы (например, в соответствии с алгоритмами, изложенными в [5] или [6]) и билатеральной фильтрации [9];

2) комплексирование по яркости в соответствии с одной из формул:

$$Y_F(i, j) = TV_y(i, j), \tag{13}$$

$$Y_F(i, j) = [TV_y(i, j) + IR_y(i, j)] / 2, \tag{14}$$

$$Y_F(i, j) = TV_y(i, j) + k |IR_y(i, j) - \overline{IR}| - \overline{\Delta IR}, \tag{15}$$

где  $TV_y(i, j)$  и  $IR_y(i, j)$  – пиксели улучшенных в результате выполнения процедуры 1) ТВ и ТПВ МХИ,

$$\overline{IR} = \sum_{j=0}^{h-1} \sum_{i=0}^{w-1} IR_y(i, j) / (wh),$$

$$\overline{\Delta IR} = \sum_{j=0}^{h-1} \sum_{i=0}^{w-1} |IR_y(i, j) - \overline{IR}| / (wh),$$

$h$  – высота изображения (в пикселях),  $w$  – ширина,  $k$  – весовой коэффициент. Варианты комплексирования ТВ и ТПВ изображений в спектральной области рассмотрены в работах [10, 11].

Необходимость улучшения исходных изображений при формировании компоненты яркости  $Y_F(i, j)$ , а также применение этапов 1) и 2) совместно или по отдельности являются задачей отдельного исследования.

Примеры формирования цветного комплексированного изображения в соответствии с изложенной выше процедурой улучшения ТВ и ТПВ МХИ и использованием эталонного изображения с  $\|\mu_t^{CB}, \mu_t^{CR}, \sigma_t^{CB}, \sigma_t^{CR}\|^T = \|0, -12, 20, 35\|^T$  представлены на рис. 2. Несмотря на тот факт, что применение «переноса» цвета при выбранном эталоне не приводит гамму цветов изображения к естественным цветовым оттенкам (т.е. фактически выполняется переход от одних ложных цветов к другим, а не от ложных цветов – к натуральным), сформированные цветные изображения обеспечивают комфортное визуальное выделение и распознавание основных сюжетных элементов сцены. Дополнительная информация от результатов окрашивания позволяет качественно разделить объекты на изображении на холодные и нагретые.

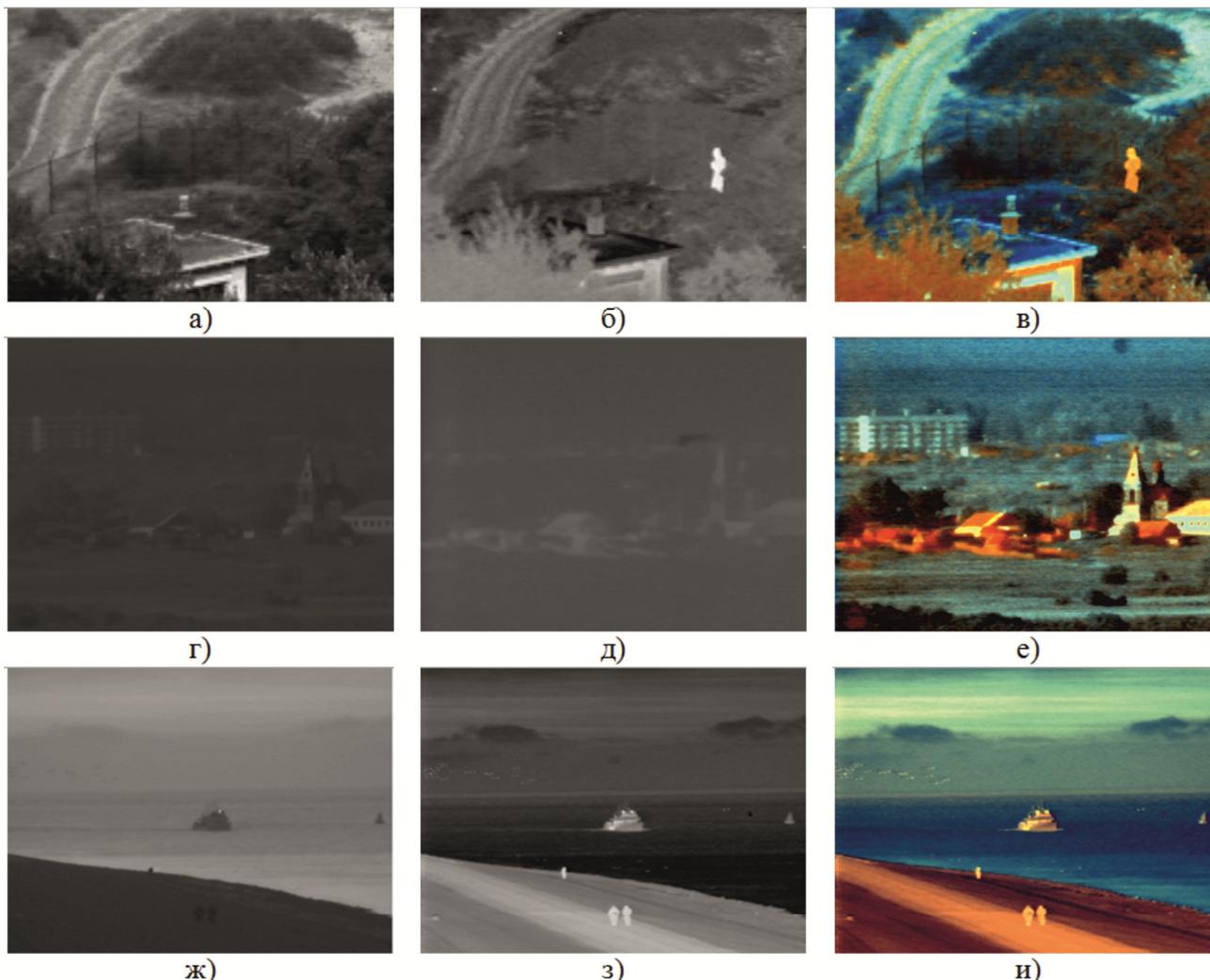


Рис. 2. Результаты улучшения и комплексирования ТВ и ТПВ МХИ с использованием формул (13)-(15): а), в), ж) – ТВ МХИ, б), д), з) – ТПВ МХИ, в), е), и) – результат комплексирования

## Заключение

Таким образом, формирование из монохромных телевизионных и тепловизионных изображений цветоразностных компонент итогового изображения непосредственно в декоррелированном цветовом пространстве повышает быстродействие классических алгоритмов «переноса» цвета [1, 2] до 1,8 раза. С целью дальнейшего сокращения объема памяти и вычислительных затрат целесообразно использовать ограниченное количество векторов параметров математических ожиданий и среднеквадратических отклонений изображения-эталона, выбирая их либо исходя из фенологических условий (наборы параметров для разных времен года), либо исходя из условий комфортного визуального восприятия. Дальнейшим направлением развития критериев выбора оптимального (как с точки зрения правильности передачи цвета, так и с точки зрения выделения и распознавания объектов) критерия выбора эталона является использование информации от спутниковых, геоинформационных и метеорологических систем.

## Литература

1. Image Fusion and Its Applications / edited by Yufeng Zheng. – Rijeka: InTech, 2011. – 242 p.
2. 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.

3. 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.

4. Alexander Toet, Maarten A. Hogervorst. Progress in color night vision // Optical Engineering. – 2012. – Vol. 51(1). – pp. 010901-1-010901-19.

5. Кириллов С.Н., Косткин И.В. Алгоритм эквализации на основе многокомпонентного бета-распределения яркости изображения // Вестник РГРТУ. – 2007. – Вып. 21. – С. 50-54.

6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.

7. Wang W., Chang F. A multi-focus image fusion method based on Laplacian pyramid // Journal of computers. – 2011. – Vol. 6, No. 12. – Pp. 2559-2566.

8. Jobson D.J., Rahman Z., Woodell G.A. A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes // IEEE Transactions on image processing. – 1997. – Vol. 6, No. 7. – Pp. 965-976.

9. Система коррекции темных, светлых и средних тонов на цифровых изображениях: пат. 2452025 РФ: МПК

Н04N1/409 / А.П. Богданов, Л.Н. Костяшкин, Е.И. Матвеева, А.В. Морозов, О.В. Павлов, Ю.Н. Романов, А.В. Рязанов; заявитель и патентообладатель ОАО «Государственный Рязанский приборный завод». – № 2011136844/07; заявл. 05.09.2011; опубл. 27.02.2013, Бюл. № 6. – 17 с.

10. Бородинский А.А., Дрынкин В.Н. Синтез многомерных рекурсивно-нерекурсивных фильтров // Радиотехника. – 1986. № 4. – С. 47-51.

11. Дрынкин В.Н., Фальков Э.Я., Царева Т.И. Формирование комбинированного изображения в двухзональной бортовой авиационно-космической системе // Сб. тр. научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления 2012» / под ред. Р.Р. Назирова. – М.: МЕХАНИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА, 2012. – С. 33-39.

## IMPROVE PERFORMANCE OF ALGORITHMS FOR FORMING COLOR FUSION IMAGE FROM MULTISPECTRAL MONOCHROME SENSORS SIGNALS

*Bogdanov A.P., Pavlov O.V., Kholopov I.S.*

Presents simplified algorithms of imaging in false colors in a decorrelated color space for the task of forming a color image with color range approximated daylight conditions. It is shown that the performance of the proposed method of color transfer up to 1.8 times higher compared with algorithms of forming false color images in the space of RGB. Algorithms to improve and fusion of multispectral monochrome images is considered.

# Лазерная система наведения ЛСН



Основные технические характеристики ЛСН:

Параметры	Значение
число каналов управления	до 3
угловой размер поля управления надлинком	до 3
сектор выстреливаемости (до 500 - 800 м), не менее	15°
сектор наведения одновременно двух надлинком, не менее	2,5°
дальность управления	до 10 000 м
энергетический потенциал, не менее	2000
ошибка вычисления координат, не более	0,1 м
диапазон компенсации угла крена носителя	±100°
масса перемещаемого модуля (ПМ), кг	1,2
габаритные размеры, мм (длина, ш) (ПМ)	254x85x50 (0,8)
потребляемая от бортовой мощности, Вт, не более	500

ЛСН и УФП

- высокоточное наведение управляемого оружия
- электронный способ создания информационного управляющего поля
- исполнение для всех видов вооружений



Выстрелил - попал 100%!



**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