

## Формирование изображений в мультиспектральных видеосистемах для визуального и автоматического неразрушающего контроля

М. А. Бондаренко, А. В. Бондаренко

*Рассматривается задача объединения разноспектральных цифровых изображений, формируемых мультиспектральной видеосистемой для отображения на одном цветном дисплее при условии полного сохранения информации, содержащейся в видеоканалах. Предлагаемый способ комплексирования изображений основан на линейном отображении совокупного спектрального диапазона видеосистемы на видимый человеком диапазон, который кодируется в вычислительной системе линейным цветовым пространством. Указанный подход позволяет добиться высокой реалистичности восприятия получаемых изображений и удобства его визуальной и автоматической интерпретации. Показано, что для полного сохранения информации при комплексировании необходимо, чтобы мерность цветового пространства была не ниже числа видеоканалов. Полученные решения и алгоритмы внедрены в аппаратно-программное обеспечение трёхспектральной видеосистемы RT-700Combo разработки ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», которая прошла успешные лётные испытания во ФГУП «ГосНИИАС».*

*Ключевые слова:* мультиспектральные видеосистемы, системы улучшенного видения, совмещение изображений, комплексирование изображений, неразрушающий контроль.

### Введение

Расширение возможностей наблюдения и анализа в реальном масштабе времени окружающей среды в различных погодных условиях с помощью одновременного применения матричных фотоприёмных видеодатчиков разных диапазонов спектра – важная и актуальная задача как для обеспечения технического превосходства, так и для научных исследований.

К настоящему моменту существует множество матричных фотоприёмных устройств, работающих в разных спектральных диапазонах, например, таких как ультрафиолет (УФ, 0,2–0,4 мкм), телевизионный диапазон (ТВ, 0,4–0,9 мкм), инфракрасный (ИК, 0,9–1,7 мкм) и тепловизионные (ТП, 3–5 мкм и 8–14 мкм). Фотоприёмные матрицы, чувствительные в указанных диапазонах, изготавливаются по разным топологическим нормам и с ис-

пользованием различающихся материалов, а им соответствующие видеокамеры используют оптику из разных материалов, что существенно затрудняет, а порой делает физически невозможным при текущем уровне техники объединение и сопоставление видеоинформации от разноспектральных каналов чисто оптическими и аппаратными методами.

В настоящей работе предлагается универсальное решение, позволяющее в реальном масштабе времени объединить попиксельно разнородные независимые видеоканалы, собранные в едином жёстком корпусе в общее мультиспектральное видео.

### Постановка работы

Предлагаемое решение будет рассмотрено на примере конкретной мультиспектральной видеосистемы RT-700Combo [1] (см. рис. 1), разработанной ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ». Видеосистема состоит из трёх монохромных видеоканалов, а именно: ТВ (0,4–0,9 мкм, 1280×960, размер пикселя 9,7 мкм, фокус объектива 25 мм), ИК (0,9–1,7 мкм, 640×512, размер пикселя 20 мкм, фокус объектива 25 мм) и ТП (8–14 мкм, 640×480, размер пикселя 17 мкм, фокус объектива 15 мм). Имеется также встроенный видеопроцессор с 256 МБ памяти DDR2, датчик температуры изделия, а также нави-

Бондаренко Максим Андреевич<sup>1</sup>, н.с., к.т.н.  
Бондаренко Андрей Викторович<sup>2</sup>, ген. директор.

<sup>1</sup> ФГУП «ГосНИИАС».

Россия, 125319, Москва, ул. Викторенко, 7.  
Тел. +7(499) 157-93-44. E-mail: max.bond@bk.ru

<sup>2</sup> ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ».

Россия, 117593, Москва, Соловьиный пр-д, 4-1-152.  
Тел. +7(495) 425-73-26. E-mail: rastermsk@gmail.com

Статья поступила в редакцию 9 июня 2018 г.

© Бондаренко М. А., Бондаренко А. В., 2018

гационная система, измеряющая положение, путевые скорость, угол, время и ориентацию в пространстве. Все данные передаются по общему коаксиальному кабелю с помощью интерфейса CoaXpress через плату управления RT-650СХР [2] с частотой 25 Гц. Запись видео и навигации производится с частотой в 25 Гц в несжатом бинарном

формате. Есть возможность дополнительно получать данные от внешней навигационной системы по интерфейсу RS-485. Предусмотрены встроенные аппаратные функции автонастройки экспозиции ТВ-видеоканала и фильтрации с комплексированием показаний датчиков для встроенной навигационной системы.



Рис. 1. Мультисенсорный блок видеосистемы RT-700Combo без внешнего корпуса – вид спереди и сзади.

### Технология совмещения изображений видеоканалов

Совмещение изображений представляет собой важный подготовительный этап перед их комплексированием в мультиспектральное изображение.

Известен способ аппаратного совмещения изображений [3], основанный на объединении входящего излучения с помощью применения системы призм, разделяющих общий световой поток и передающий его на фотоприёмники, что, по нашему мнению, является дорогим специализированным оптическим решением, которое необходимо модифицировать каждый раз при изменении количества и/или типа видеодатчиков. При этом каждое новое изделие нуждается в сложной процедуре аппаратной юстировки, так как невозможно выдержать точно при сборке параметры оптики. Поэтому предлагается использование оптически независимых жёстко фиксированных видеоканалов, причём с применением серийно выпускаемых объективов. Цифровые камеры и оптика к ним подбираются и собираются в общем жёстком корпусе так, чтобы максимизировать совокупное перекрытие полей зрения. После этого изображения от видеоканалов трансформируются программным образом так, чтобы объекты на любой паре изображений от разных видеоканалов при наложении не двоились. В силу жёсткости закрепления ви-

деодатчиков достаточно осуществить их предварительное совмещение программным образом с помощью обработки изображений от видеоканалов.

Для максимального сведения полей зрения видеосистемы технологически минимизировано взаимное расстояние между оптическими осями видеоканалов (см. рис. 1). Фотоприёмные модули конструктивно собраны в жёстком корпусе так, чтобы их оптические оси были параллельны. При этом имеется возможность механической юстировки нижних видеомодулей по крену.

В соответствии с ранее изложенной концепцией [4], технология совмещения видеоканалов реализована полностью программным образом с использованием графической библиотеки DirectX9 и пиксельных шейдеров версии 2b. Ключевая идея состоит в представлении результирующего изображения как полигона-прямоугольника, на который наложены уровни текстур, т. е. – по одной текстуре от каждого видеоканала. При этом суть совмещения видеоканалов заключается в редактировании двумерных нормированных координат текстур остальных видеоканалов относительно эталонного. В качестве эталонного предлагается выбирать канал с максимальным полем зрения. Совмещение производится с помощью известного способа с использованием матрицы гомографии [5]. Искомое матричное преобразование изображения имеет вид:

$$H(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4, u_1, v_1, u_2, v_2, u_3, v_3, u_4, v_4) = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Нужное преобразование ищется с использованием четырёх точек изображения от эталонного видеоканала  $(u_i, v_i)$  и им отвечающим точкам совмещаемого видеоканала  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ . Для искомой матрицы гомографии должны выполняться равенства, образующие систему уравнений:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix}, i = 1, 2, 3, 4; \\ \Leftrightarrow \begin{cases} u_i = \frac{ax_i + by_i + c}{gx_i + hy_i + 1} \\ v_i = \frac{dx_i + ey_i + f}{gx_i + hy_i + 1} \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

Систему (2) можно решить, например, известным методом Гаусса. Результат решения – переменные  $a, b, c, d, e, f, g, h$  матрицы гомографии (1). Для эталонного видеоканала имеем единичное преобразование, для двух других каналов преобразование находится перед использованием видеосистемы, после чего применяется на протяжении эксплуатации.

Оценка погрешности предлагаемой технологии совмещения для независимых видеодатчиков производилась экспериментальным путём в ходе лётных испытаний видеосистемы RT-700Combo. Рассматриваемая линейная модель совмещения разноспектральных изображений от независимых оптических датчиков не учитывает нелинейности типа дисторсии, так как в конкретном техническом решении нелинейные искажения от оптики имеют порядок погрешности визуального предварительного совмещения с использованием преобразования (1). Существенное расхождение деталей на изображении вплоть до совмещения содержательно разных ракурсов наблюдается из-за параллакса видеоканалов при наблюдении одновременно близких и далёких объектов. Если же расстояние до объектов наблюдения более чем на два порядка расстояния между видеоканалами, что составляет примерно 10 метров, то ошибка совмещения в рассматриваемом аппаратном решении не превосходит одного пикселя при выводе результата совмещения на монитор.

Как показали реальные лётные эксперименты, ключевыми факторами, оказывающим влияние на рассогласование изображений видеоканалов, являются вибрация и тряска, которые периодически выбивают составляющие мультиспектрального изображения на несколько пикселей относительно правильного положения, что объясняется неидеальной синхронностью формирования изображений разными видеоканалами. Одной из выявлен-

ных причин задержки прихода изображений от разных видеодатчиков являются электромагнитные помехи. Указанные факторы надёжнее всего компенсировать путём гиросtabilизации видеосистемы и замены медного коаксиального кабеля на оптоволокно для передачи видеoinформации от мультисенсорного блока на бортовой компьютер.

На рис. 2 показан кадр мультиспектрального видео с совмещением полей зрения. Для наглядности используется цветное RGB-комплексирование видеоканалов: красная R компонента цвета соответствует ТП-каналу, зелёная G – ИК-каналу, а синяя B – ТВ-каналу.



Рис. 2. Комплексирование трёх видеоканалов с совмещением полей зрения.

### Общий подход к комплексированию разноспектральных изображений

Рассмотрим задачу комплексирования цифровых монохромных изображений в общем виде. Без потери общности будем считать, что элементы всех изображений имеют одинаковый яркостной диапазон  $[L_{\min}, L_{\max}]$ . Пусть у нас имеется  $N$  совмещённых разноспектральных цифровых изображений от видеоканалов:

$$\begin{cases} K_j = K_j(x, y) \in [L_{\min}, L_{\max}], \\ j = \overline{1, N}, N > 1, x = \overline{0, W-1}, y = \overline{0, H-1}. \end{cases} \quad (3)$$

Информацию от каналов необходимо записать в цветное изображение в  $M$ -мерном цветовом пространстве, причём при  $M = 1$  цветное изображение вырождается в полутоновое монохромное. Тогда каждая цветовая компонента для мультиспектрального цветного изображения запишется как

$$\begin{cases} C_i = C_i(x, y) \in [L_{\min}, L_{\max}], \\ i = \overline{1, M}, M \geq 1, x = \overline{0, W-1}, y = \overline{0, H-1}. \end{cases} \quad (4)$$

Яркостной диапазон цифровых изображений определяется не столько глубиной их оцифровки в видеодатчиках, сколько их особенностями представления в вычислительной системе. Поэтому без потери общности считаем, что яркостной диапазон цветовой компонент (4) мультиспектрального изображения совпадает с диапазоном значений элементов входных изображений (3). В противном случае диапазон в формуле (3) или (4) всегда можно расширить и пересчитать значения с помощью интерполяции.

Будем далее рассматривать всевозможные линейные комбинации входных разноспектральных изображений с вещественными весами  $a_{ij} \in \mathbb{R}$ , т. е. всевозможные линейные методы их комплексирования, которые тогда запишутся в виде системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ):

$$\begin{cases} C_i = \frac{(a_{i1}K_1 + a_{i2}K_2 + \dots + a_{iN}K_N)}{(a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{iN})}, \\ \sum_{j=1}^N a_{ij} \neq 0, \quad i = \overline{1, M}. \end{cases} \quad (5)$$

Рассмотрение класса линейных методов комплексирования изображений (5) объясняется простотой их анализа. В конечном счёте, линейный метод представляет собой простейшую математическую модель формирования мультиспектрального изображения без учёта нелинейности цветового восприятия человеком.

Чтобы мультиспектральное изображение закономерно содержало в себе всю информацию о входных изображениях, необходимо и достаточно однозначное восстановление по мультиспектральному изображению входных данных, т. е. единственность решения системы (5) относительно неизвестных  $K_j, j = \overline{1, N}$ . Такое условие требует, согласно теореме о единственности решения СЛАУ, чтобы число линейно независимых уравнений совпадало с числом неизвестных. Из последнего вытекает необходимое фундаментальное условие сохранения информации на мультиспектральном изображении: число базисных цветовых компонент мультиспектрального изображения должно быть не менее числа комплексимуемых разноспектральных изображений, другими словами, необходимо соблюдение неравенства:

$$M \geq N. \quad (6)$$

Заметим, что комплексирование двух и более информативных изображений в монохромное «мультиспектральное» ведёт к неизбежным потерям информации, а все результаты, достигнутые многими авторами ранее без учёта условия (6), например, работы [6–9], являются лишь компро-

миссами между тем, информация с какого изображения будет сильнее «забывать» данные от других каналов.

Если же перейти к количественному описанию с позиции объёма информации, которое может занимать в памяти компьютера мультиспектральное изображение по сравнению с его составляющими, то из неравенства (6) следует утверждение, что

$$V_M \geq \sum_{j=1}^N V_j, \quad (7)$$

где  $V_M$  – объём данных, занимаемый мультиспектральным изображением, а  $V_j, j = 1, \dots, N$  – объёмы данных, которые занимают его составляющие. Следствие (7) подтверждает указанные выше доводы с позиции теории информации: если данные из некоторого набора несжимаемы без потерь, то в общем случае невозможна их запись в одну структуру данных меньшего объёма (в битах), чем их суммарный объём.

Далее необходимо сузить класс методов комплексирования (5), чтобы результирующее изображение естественно воспринималось и правильно анализировалось его конечным потребителем, т. е. человеком. Для этого будем учитывать особенности формирования цветного изображения в человеческом глазу, где имеется три типа специальных клеток – колбочек, отвечающих за цветовое восприятие в коротких (*S*-тип), средних (*M*-тип) и длинных (*L*-тип) волнах видимого излучения. Совокупное нервное возбуждение от тройки колбочек определяет воспринимаемый людьми цвет объекта. По такому же принципу работает широко известная аддитивная трёхмерная ( $M = 3$ ) цветовая модель RGB, повсеместно применяемая для хранения цветных изображений и вывода их на цветные дисплеи. Кривые абсолютной спектральной чувствительности колбочек  $I$  [10] от длины волны  $\lambda$  видимого излучения показаны на рис. 3:

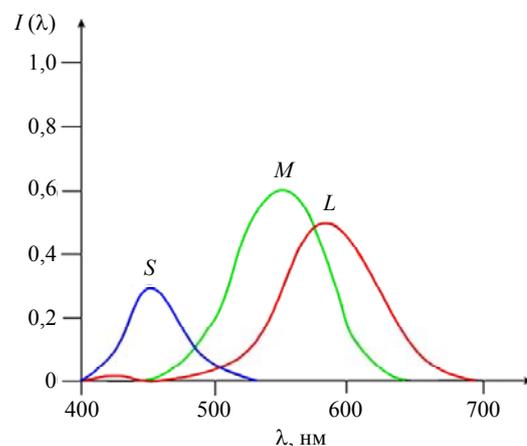


Рис. 3. Графики абсолютной спектральной чувствительности колбочек  $I(\lambda)$ .

Как видно из рис. 3, кривые чувствительности всех колбочек близки к нормальным распределениям:

$$S(\lambda) \cong \frac{1}{\sigma_S \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_S)^2}{2\sigma_S^2}\right), \quad (8)$$

$$M(\lambda) \cong \frac{1}{\sigma_M \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_M)^2}{2\sigma_M^2}\right), \quad (9)$$

$$L(\lambda) \cong \frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_L)^2}{2\sigma_L^2}\right), \quad (10)$$

где  $\lambda_S, \lambda_M, \lambda_L$  – длины волн, на которые приходится максимум чувствительности колбочек типа

$$\left\{ \begin{aligned} C_i &= \frac{(a_{i1}K_1 + a_{i2}K_2 + \dots + a_{iN}K_N)}{(a_{i1} + a_{i2} + \dots + a_{iN})}, \quad a_{ij} = \exp(-(i-j)^2), \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, N}, \\ \lambda(C_{i_1}) &< \lambda(C_{i_2}), \quad i_1 < i_2, \quad i_{1,2} = \overline{1, N}, \\ L(K_{j_1}) &< L(K_{j_2}), \quad j_1 < j_2, \quad j_{1,2} = \overline{1, N}, \end{aligned} \right. \quad (11)$$

где  $\lambda(C_i)$  – длина волны базисного цвета  $C_i, i = \overline{1, N}$ ,  $L(K_j)$  – средняя длина волны спектрального диапазона видеоканала  $K_j, j = \overline{1, N}$ .

Если  $M > N$ , то после вычисления базисных цветов  $C_i, i = \overline{1, N}$  необходимо осуществить передискретизацию цветовых компонент с учётом их равномерного распределения по спектру.

### Комплексирование двух и трёх видеоканалов в цветовом пространстве RGB

Для большинства практических задач обычно объединяют два видеоканала: тепловизионный (ТП) и телевизионный (ТВ), при этом  $L(\text{ТВ}) < L(\text{ТП})$ ,  $N = 2$ . В этом случае мультиспектральное изображение представляется без потерь в виде трёхкомпонентного цветного изображения по формуле (11). Алгоритм комплексирования ТВ- и ТП-изображений с учётом передискретизации будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{aligned} B &= \frac{(\text{ТВ} + e^{-1}\text{ТП})}{1 + e^{-1}}, \\ G &= \frac{(B + R)}{2}, \\ R &= \frac{(\text{ТП} + e^{-1}\text{ТВ})}{1 + e^{-1}}. \end{aligned} \right. \quad (12)$$

$S, M$  и  $L$  соответственно, а параметры  $\sigma_S, \sigma_M, \sigma_L$  отвечают за эффективные диапазоны их спектральной чувствительности  $[\lambda_C - 3\sigma_C, \lambda_C + 3\sigma_C]$ ,  $C = S, M, L$ .

Пусть далее  $M = N$ . В этом случае имеем  $N$  «колбочек»-видеоканалов, которые образуют кусочно-непрерывный расширенный спектральный диапазон, если они упорядочены по возрастанию (убыванию) усреднённых значений длин волн зарегистрированного излучения. Полученный так расширенный диапазон следует линейно преобразовать по формуле (5) в видимый диапазон, состоящий из  $N$  цветовых компонент, упорядоченных таким же образом, что дополняет систему (5) следующими условиями с учётом рис. 3 и приближений графиков усреднённой спектральной чувствительности человеческого глаза по формулам (8)–(10):

Результат попиксельного комплексирования по формулам (12) реальных изображений, показанных на рис. 4 а, б, представлен на рис. 4, в. В данном примере (и в следующем) для большей объективности визуальной оценки все рисунки линейно приведены к одному яркостному диапазону. Съёмка осуществлялась в тёмном ангаре во время открытия ворот. При этом в ТВ-канале видны только очертания человека, но отлично виден задний план через открывающиеся ворота, а в ТП-канале (в тепловизоре) – всё наоборот.



а



б



в

Рис. 4. Попиксельное комплексирование реальных изображений: а – исходное ТВ-изображение; б – исходное ТП-изображение; в – результат обработки по формулам (12).

Полученное двухспектральное изображение не только полностью сохраняет информацию от его составляющих (т. е. в данном случае позволяет увидеть и человека, и задний план), но также позволяет легко визуально оценить, какие признаки принадлежат какому видеоканалу. Это связано с тем, что способ комплексирования (12) учитывает особенности визуального восприятия разнотипных признаков на уровне его линейной аппроксимации.

Для случая комплексирования изображений трёх видеоканалов ( $N = 3$ , т. е. ТВ, ИК и ТП) имеем алгоритм:

$$\begin{cases} B = \frac{(ТВ + e^{-1}ИК + e^{-4}ТП)}{1 + e^{-1} + e^{-4}}, \\ G = \frac{(e^{-1}ТВ + ИК + e^{-1}ТП)}{1 + 2e^{-1}}, \\ R = \frac{(e^{-4}ТВ + e^{-1}ИК + ТП)}{1 + e^{-1} + e^{-4}}. \end{cases} \quad (13)$$

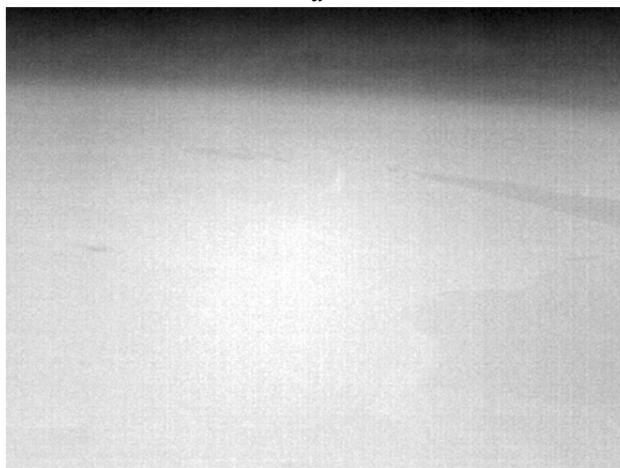
На рис. 5 показан результат попиксельного комплексирования по формулам (13) трёх изображений. Разнотипные изображения были получены при заходе самолёта на посадку в ходе лётных экспериментов с видеосистемой RT-700Combo, проводимых в подразделении 1900 ФГУП «ГосНИИАС». Легко заметить, что ТП-изображение (рис. 5, в) лишь дополняет мультиспектральное изображение на рис. 5, г полезной информацией в виде соответствующих красноватых оттенков, т. е. усиливая контраст между небом и землёй, а не забывает контрасты других более информативных каналов своим тепловым распределением, как это произошло бы в случае с широко распространённым комплексированием каналов в монохромное изображение. Таким образом, представленный способ позволяет в любой момент одновременно оценивать все видеоканалы как визуально, так и автоматически, вместо того, чтобы просто частично или полностью отказываться в таком случае от комплексирования, причём возможно упуская из виду что-то важное.



а



б



в



г

Рис. 5. Попиксельное комплексирования по формулам (13) трёх изображений: а – ТВ-изображение; б – ИК-изображение; в – ТП-изображение; г – мультиспектральное изображение, полученное по формулам (13).

### Заключение

В работе представлена технология программного совмещения изображений от ряда независимых видеоканалов, которая закономерно может быть использована и легко реализуема для мультиспектральной видеосистемы реального времени с любым набором матричных фотоприёмных датчиков, при этом не сильно заботясь об их оптической юстировке, которую достаточно сделать грубо.

Получен и обоснован с помощью методов линейной алгебры и базовых принципов физиологии зрения человека класс методов комплексирования для мультиспектральных видеосистем реального времени, который позволяет в полной мере раскрыть их потенциал, заключающийся в одновременном различении полутонов всех составляющих мультиспектрального изображения. Это даёт новое свойство, а именно, возможность проведения визуального и автоматического спектрального анализа, а также неразрушающего контроля, что переводит такие мультиспектральные видеосистемы в класс измерительных оптико-электронных видеосистем.

Результаты работы внедрены в программное обеспечение видеосистемы RT-700Combo, которая является пока макетным образцом, т. е. демонстратором представленной технологии. В качестве дальнейшего развития видеосистемы возможны следующие направления, реализация которых зависит от области применения: повышение кадровой частоты видеоканалов с 25 до 100 Гц для повышения оперативности и плавности обновления видео; использование фотоприёмников более высокого разрешения и чувствительности; разработка и реализация планшетного бортового компьютера, например, на базе серийно выпускаемого вычислительного модуля COM Express [11] вместо использования персонального компьютера с интерфейсной платой управления RT-650CXP [2] и общего (автономного, бортового) источника питания, т. е. обеспечивая существенное уменьшение массы, габаритов, энергопотребления и помех видеосистемы; реализация временной аппаратной

синхронизации между видеомодулями; доработка встроенной навигационной системы в части повышения надёжности и точности выдаваемых показаний для возможной интеграции с системой синтезированного зрения – сопоставление мультиспектральных изображений с проекциями трёхмерной модели местности; возможная интеграция в видеосистему лазерного лидара для измерения дальностей до объектов по наведению.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мультиспектральная система улучшенного видения RT-700Combo. – М.: РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ. URL: <http://rastr.net/product/special/onboard-vision.html>.
2. Контроллер управления цифровыми камерами RT-650CXP. – М.: РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ. URL: <http://rastr.net/product/digit-cam/controller/rt-650cxp.html>
3. Ерош И. Л., Козлов А. А., Литвинов М. Ю., Сергеев М. Б., Соловьев Н. В., Филатов Г. П. Способ совмещения изображений, полученных с помощью различных фотодатчиков, и устройство для его реализации. Патент РФ № 2435221; заявлен 10.12.2007, опубликован 27.11.2011.
4. Бондаренко М. А., Бондаренко А. В. / Труды XXIV Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения – М.: АО «НПО «Орион». 2016. С. 232–237.
5. Ефимов А. И., Новиков А. И. // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. № 2. С. 258.
6. Богданов А. П., Костяшкин Л. Н., Морозов А. В., Павлов О. В., Романов Ю. Н., Рязанов А. В. Способ комплексирования цифровых полутоновых телевизионных и тепловизионных изображений. Патент РФ № 2451338; заявлен 23.12.2010; опубликован 20.05.2012.
7. Дрынкин В. Н., Фальков Э. Я., Царёва Т. И. // Техническое зрение. 2013. Вып. 1(1). С. 60.
8. Инсаров В. В., Тихонова С. В., Михайлов И. И. // Приложение к журналу «Информационные технологии». 2014. № 3. – М.: Новые технологии. 2014.
9. Рубис А. Ю., Визильтер Ю. В., Горбацевич В. С., Выголов О. В. / Сборник тезисов конференции «Техническое зрение в системах управления – 2015» – М.: ИКИ РАН. 2015. С. 112–113. URL: [http://tvcs2015.technicalvision.ru/docs/Сборник\\_тезисов\\_ТЗСУ\\_2015.pdf](http://tvcs2015.technicalvision.ru/docs/Сборник_тезисов_ТЗСУ_2015.pdf)
10. Болдасов В. С. Информатика. Часть 1: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУП. 2009.
11. Компьютерный модуль стандарта COM Express Basic, Type 6, на базе процессоров x86. URL: <http://www.fastwel.ru/products/vstraivaemye-sistemy/kompiuternye-moduli/568933.html>

## Image forming in multispectral video systems for visual and automatic nondestructive testing

M. A. Bondarenko<sup>1</sup> and A. V. Bondarenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State Research Institute of Aviation Systems “GosNIIAS”  
7 Victorenko str., Moscow, 125319, Russia  
E-mail: max.bond@bk.ru

<sup>2</sup> Raster Technology Co., Ltd.  
4-1-152 Solov’iny passage, Moscow, 117593, Russia  
E-mail: rastermsk@gmail.com

Received June 9, 2018

**Consideration is given to a common task of digital images fusion formed by multispectral video system. The fusion result is the multispectral image displays on one color monitor with condition of saving full information from video channels. The proposed fusion method is based on linear transition of full video system spectral range to visual spectral range considered as RGB linear color space. This approach is able to get high realistic perception of fused images and convenience of visual and automatic interpretation. It is shown that color space dimension of multispectral image must be greater or equal than video channels number for saving full fused information from video channels. The decision of the task was integration into hardware and software of the RT-700Combo three-spectral enhanced vision system developed by Raster Technology Co. Ltd. The video system has successfully passed the flying tests in the State Research Institute of Aviation Systems “GosNIIAS”.**

**Keywords:** multispectral video systems, enhanced vision systems, image alignment, image fusion, non-destructive testing.

### REFERENCES

1. *Multispectral enhanced vision system RT-700Combo*. (Raster Technology, Moscow. URL: <http://rastr.net/product/special/onboard-vision.html>)
2. *RT-650CXP controller for digital cameras*. (Raster Technology, Moscow. URL: <http://rastr.net/product/digit-cam/controller/rt-650exp.html>)
3. I. L. Erosh, A. A. Kozlov, M. Yu. Litvinov, M. B. Sergeev, N. V. Solovev, and G. P. Filatov, *Method of superimposing images obtained using different photosensors, and apparatus for realizing said method* (RF Patent 2435221 C1, 2011).
4. M. A. Bondarenko and A. V. Bondarenko, in *Proceedings of the XXIV International scientific and technical conference on photoelectronics and night vision devices* (JSC “SPA “ORION”, Moscow, 2016), pp. 232–237.
5. A. I. Efimov and A. I. Novikov, *Computer optics* **40** (2), 258 (2016).
6. A. P. Bogdanov, L. N. Kostjashkin, A. V. Morozov, O. V. Pavlov, Yu. N. Romanov, and A. V. Rjazanov, *Method of integrating digital grayscale television and thermal images* (RF Patent 2451338 C1, 2012).
7. V. N. Drynkin, E. Ya. Falkov, and T. I. Tsareva, *Tekhnicheskoe Zrenie*, No. 1(1), 60 (2013).
8. V. V. Insarov, S. V. Tikhonova, I. I. Mikhaylov, *Application of Information Technologies Journal*, No. 3 (2014) (Novye tekhnologii, Moscow, 2014).
9. A. Yu. Rubis, Yu. V. Vizilter, A. Yu. Gorbatshevich, and O. V. Vygolov, in *Proc. Scientific Technical Conference «TVCS ‘2015»* (SRI RAS, Moscow, 2015), pp. 112–113.
10. V. S. Boldasov, *Informatics. Part 1* (MGUP publishing, Moscow, 2009) [in Russian].
11. *Computer-on-module COM Express Basic, Type 6, based on x86 platform*. URL: <https://www.kontron.com/products/boards-and-standard-form-factors/com-express>