

УДК 004.932.4

## АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДВУХ РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЦВЕТОВОГО СИНТЕЗА

*Шипко В.В., к.т.н., преподаватель кафедры автоматизации управления летательных аппаратов (и вычислительных систем) ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», e-mail: shipko.v@bk.ru.*

### THE ALGORITHM OF INTEGRATING TWO IMAGES OF DIFFERENT SPECTRUMS BASED ON COLOR SYNTHESIS

*Shipko V.V.*

*Methods of displaying images of different spectrums have been analyzed. There is a new original algorithm of integrating two digital gray-scale images as a color image. This way we increase the contrast of the resulting image which contains elements of the original ones. These elements are gained from images of different spectral ranges. At the same time the algorithm facilitates the identification of spectrally dependent objects. There are some examples of integrated images presented in the article.*

**Key words:** displaying images, spectrums, algorithm of integrating, contrast of the resulting image.

**Ключевые слова:** комплексирование изображений, многоспектральные изображения, цветные изображения, совместная обработка, цветовой синтез.

#### Введение

В последнее время активно развиваются комплексы многоканальной (многоспектральной, многозональной) съемки [1, 2]. Каждый из приемных каналов таких систем имеет свои преимущества и ограничения в применении в силу различных физических принципов формирования и представления двумерных изображений.

Изображения в оптическом диапазоне содержат информацию об отраженной или переотраженной энергии солнечного света, о химическом составе поверхностного слоя и т.д., в свою очередь изображения, полученные в инфракрасном диапазоне, несут информацию о распределении температурных полей, наконец, изображения, полученные в микроволновом диапазоне, предоставляют данные о геометрических и физических параметрах поверхности (шероховатость, диэлектрические свойства).

Существуют два обстоятельства, благодаря которым пред-почтительна одновременная съемка в нескольких спектральных диапазонах электромагнитного излучения [3]:

- априорная неопределенность спектральных отражательных (излучательных) свойств объекта и фона. Заранее не известно оптимальное расположение спектрального диапазона. Более того, ввиду многообразия фоно-объектовых ситуаций, расположение диапазона оказывается неоднозначным;

- в результате совместной обработки нескольких изображений одного и того же участка местности, полученных в различных спектральных диапазонах, можно дополнительно значительно повысить заметность объекта или его деталей. Это происходит благодаря возможности извлечения посредством такой обработки дополнительной информации об объектах местности, за-

*Проведен анализ способов отображения многоспектральной видеоинформации. Предлагается оригинальный алгоритм комплексирования двух разноспектральных цифровых полутоновых изображений в виде цветного изображения, что позволяет повысить локальный контраст результирующего изображения, содержащего элементы исходных изображений одной и той же сцены, полученных в различных спектральных диапазонах, а также упростить выявление спектрально зависимых объектов. Представлены примеры комплексированных изображений.*

ключенной в характере взаимосвязи зональных яркостей между спектральными диапазонами.

#### Анализ способов отображения многоспектральных данных

Существуют следующие подходы к отображению многоспектральной иконической информации [3, 4]:

- отдельно;
- синтез единого черно-белого изображения на основе линейной комбинации компонентов вектора зональных яркостей;
- синтез единого черно-белого изображения на основе нелинейных функций компонент вектора зональных яркостей;
- представление многозональной информации в виде единого цветного изображения в естественных или условных цветах.

Первый из подходов может использоваться в следующих случаях:

- когда анализ отдельно сформированных изображений в каналах достаточен для решения конкретной задачи;
- отсутствуют разработанные алгоритмы (либо знания, необходимые для конкретизации параметров алгоритмов) совместной визуализации измерений в разных каналах, повышающей эффективность анализа многоспектральных изображений;
- когда имеются вычислительные, либо другие трудности реализации таких алгоритмов.



Недостатками отдельного представления многоспектральных изображений являются:

- потеря части информации об изучаемой сцене, содержащейся в многоспектральных изображениях и связанной с корреляцией измерений в разных каналах;
- относительно большая продолжительность анализа в связи с тем, что приходится просматривать несколько, а не одно изображение, а также сопоставлять одно изображение с другим;
- игнорирование части зональных изображений (если нет возможности просматривать все изображения) может снизить эффективность дешифрирования многоспектральных изображений.

Достоинствами синтеза единого (комплексированного) изображения является:

- возможность аккумулирования в единое изображение особенностей спектросональных изображений объектов местности;
- возможность сделать доступной информацию многоспектральных изображений, связанную с корреляцией яркостей между каналами съемки, а точнее с различиями в корреляциях яркостей объектов и фонов.

Первое достоинство очевидно. Для иллюстрации второго рассмотрим возможные яркостные сечения двух гипотетических спектросональных изображений на рис. 1.

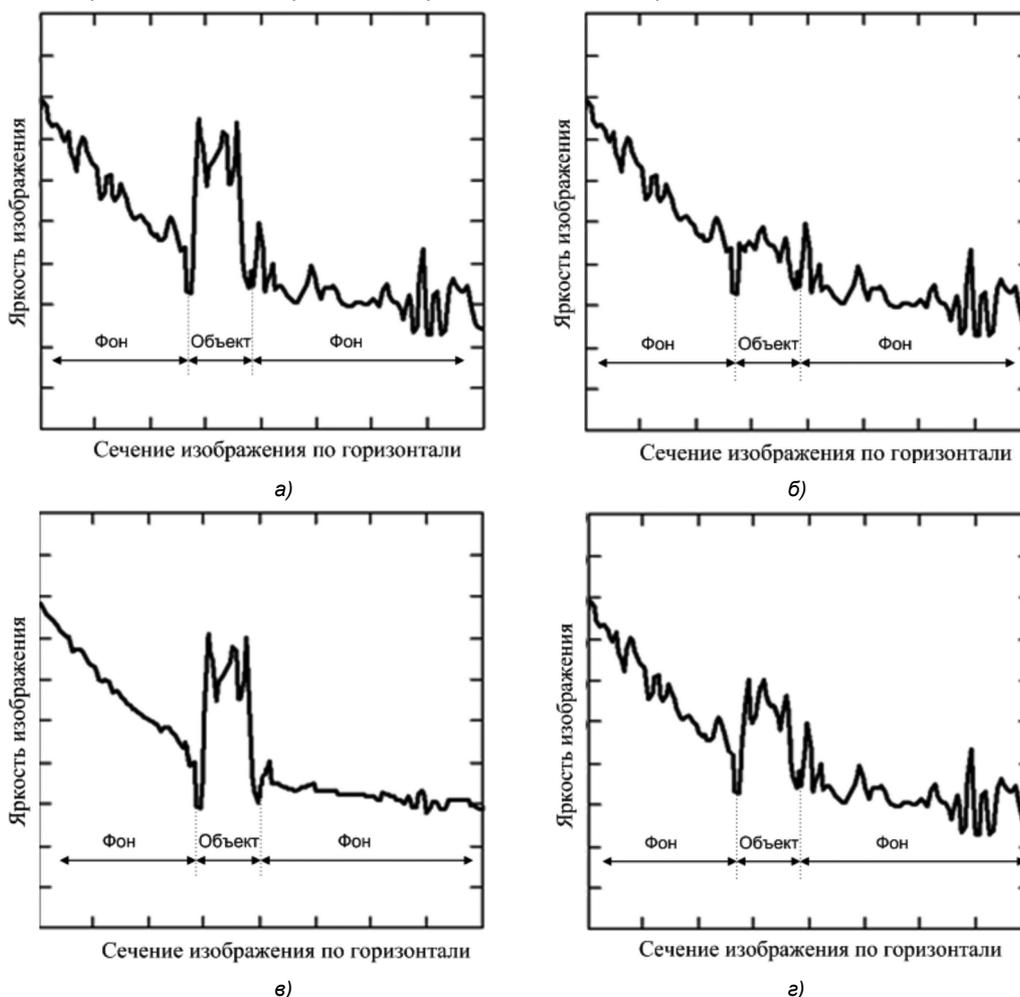


Рис. 1. Иллюстрация влияния корреляции яркостей между двумя спектросональными изображениями (а) и (б) на возможность повышения заметности объектов на едином комплексированном изображении при оптимальных (в) и неоптимальных (г) параметрах синтеза

Подобная ситуация часто реализуется при съемке в диапазонах отражательной области спектра излучения.

Недостатками синтеза единого комплексированного изображения является:

- необходимость предварительного выполнения затратной процедуры точного совмещения (взаимной привязки) спектросональных изображений;
- требуется определенная априорная информация для настройки параметров алгоритма синтеза;
- требуется некоторое время для выполнения собственно процедуры синтеза в цифровых системах обработки изображений.

Первый недостаток исключается при работе с изображениями от многоспектральных оптико-электронных систем, в которых совмещение происходит автоматически благодаря единой оптической системе. Третий частично компенсируется при использовании рекуррентных процедур вычислений в алгоритмах синтеза.

### Предпосылки комплексирования разносспектральных изображений на основе цветового синтеза

Синтез цветного изображения используется с целью перевода различий классов в спектральной яркости в цветовые различия.

В простейшем случае синтез заключается в определении соответствия между номером спектрального изображения и номера компонента цветного изображения, например канал 1 –  $R$  (красная составляющая цветного единого комплексированного изображения), канал 2 –  $G$  (зеленая составляющая) и канал 3 –  $B$  (синяя составляющая).

В общем случае синтеза, исходное  $L$  – мерное яркостное пространство многоспектральных изображений отображается на трехмерное RGB-пространство. Другими словами, формируется три новых черно-белых изображения, каждое из которых – результат поточечного преобразования  $L$  исходных изображений. Подготовка полутонных RGB-составляющих цветного комплексированного изображения может производиться с использованием одного из методов синтеза единого черно-белого изображения.

Следует отметить, что практически все известные варианты синтеза цветного единого комплексированного изображения в той или иной мере имеют эвристический характер. Формализовать задачу оптимального получения цветосинтезированного изображения оказывается затруднительным. Это связано с относительно скудными данными по физиологии зрительного восприятия объектов на цветном и псевдоцветном изображениях.

Часто возникает вопрос о предпочтительности цветного или черно-белого синтеза. Он не имеет однозначного ответа. Все зависит от особенностей решаемой задачи дешифрирования. Однако очевидно, что цветовой синтез многоспектральных изображений является дополнительным эффективным инструментом, подчеркивающим спектральные особенности объектов сцены.

Одним из частных вопросов является комплексирование разносспектральных изображений, полученных в достаточно разнесенных между собой диапазонах, например в видимом и инфракрасном диапазонах. Классическим подходом комплексирования таких изображений является получение единого полутонного изображения, включающего отличительные особенности исходных изображений [5, 6, 7]. Существуют алгоритмы формирования цветных комплексированных изображений, например, на основе методов преобразования цветов [8, 9], требующие качественных эталонов цвета и предварительных настроек. При этом все разработанные алгоритмы не позволяют качественно выделить спектрально зависимые объекты и не всегда результирующее комплексированное изображение получается с высоким локальным контрастом этих объектов. Это связано с ограниченностью динамического диапазона полутонных изображений и разнообразием фоновых ситуаций, при этом построение адаптивных алгоритмов весьма затруднительно.

Далее предлагается оригинальный алгоритм, на основе цветного синтеза, позволяющий повысить локальный контраст результирующего изображения, содержащего элементы исходных изображений одной и той же сцены, полученных в различных спектральных диапазонах, а также упростить выявление спектрально зависимых объектов.

## Алгоритм комплексирования двух разносспектральных изображений

Формально алгоритм можно разбить на три основных этапа.

На первом этапе алгоритма осуществляется предварительная подготовка разносспектральных изображений (например, телевизионное (ТВ) и тепловизионное (ТПВ) изображение), далее определяют основное изображение с наибольшим количеством информативных деталей путем субъективной оценки изображений оператором, либо используя любой известный метод.

На втором этапе при комплексировании изображений вычисляют разности значений яркости каждого пиксела наиболее информативного изображения (например ТВ изображение) с окружающими его пикселями:

$$(\Delta_{i\pm p, j\pm q}^{\text{TB}})_d = (x_{i,j}^{\text{TB}} - x_{i\pm p, j\pm q}^{\text{TB}}), \quad (1)$$

где  $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; m, n$  – число строк и столбцов ТВ изображения  $x_{i,j}^{\text{TB}}$ ;  $p = 0, \dots, P$  – параметр, определяющий координаты пиксела окрестности по  $i$ ;  $q = 0, \dots, Q$  – параметр, определяющий координаты пиксела окрестности по  $j$ ;  $d = 1, \dots, ((2P+1)(2Q+1)) - 1$  – индекс разности значений яркости  $i, j$ -го пиксела с пикселями окрестности.

Усредняют полученные разности по количеству пикселей окрестности с заданным коэффициентом усиления:

$$\Delta_{i,j}^{\text{TB}} = \left( \frac{\sum_d (\Delta_{i\pm p, j\pm q}^{\text{TB}})_d}{((2P+1)(2Q+1)) - 1} \right) k. \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент усиления средней разности яркостей пикселей наиболее информативного изображения.

Формируют комплексированное полутонное изображение путем суммирования значений яркости пикселей второго изображения (например, ТПВ изображение) с соответствующими значениями средней разности яркостей пикселей наиболее информативного изображения:

$$x_{i,j}^{\text{компл}} = x_{i,j}^{\text{ТПВ}} + \Delta_{i,j}^{\text{TB}}. \quad (3)$$

На третьем этапе, для визуализации отличительных признаков разносспектральных изображений, результирующее изображение представляют в виде синтезированного RGB-цветного изображения  $\mathbf{X} = [\mathbf{R}_{i,j} \quad \mathbf{G}_{i,j} \quad \mathbf{B}_{i,j}]^T$

с тремя компонентами (например  $\mathbf{R}_{i,j} = x_{i,j}^{\text{TB}}$ ,

$\mathbf{G}_{i,j} = x_{i,j}^{\text{компл}}$ ,  $\mathbf{B}_{i,j} = x_{i,j}^{\text{ТПВ}}$ ):

$$\mathbf{X}^{\text{компл}} = \begin{bmatrix} x_{i,j}^{\text{TB}} \\ x_{i,j}^{\text{компл}} \\ x_{i,j}^{\text{ТПВ}} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

После чего выравнивают яркостный диапазон результирующего цветного изображения с помощью любого известного метода [10].

Блок-схема разработанного алгоритма представлена на рис. 2, где 1 – блок предварительной подготовки



изображений, выполняющий геометрические преобразование изображений, улучшение яркости и контраста, фильтрацию шума, 2 – блок выбора наиболее информативного изображения; 3 – блок вычисления разностей значений яркости каждого пикселя наиболее информативного изображения с окружающими его пикселями; 4 – блок вычисления среднего значения разностей яркости пикселей наиболее информативного изображения; 5 – блок усиления средних значений разностей яркости пикселей наиболее информативного изображения; 6 – блок формирования комплексированного полутонового изображения, согласно выражения (3); 7 – блок формирования результирующего RGB-цветного комплек-

сированного изображения, согласно выражения (4); 8 – блок выравнивания яркостного диапазона цветного изображения; 9 – блок вывода результирующего цветного изображения.

### Пример комплексирования изображений

На рис. 3 (а, б) представлены исходные ТВ изображения (на рис. 3 (а) засветка объектов сцены, на рис. 3 (б) плохо различимые объекты с низким контрастом). На рис. 3 (в, г) представлены исходные ТПВ изображения с контрастными объектами. На рис. 3 (д, е) представлены результирующие комплексированные изображения полученные по одному из известных алгоритмов [5, 6]. На рис. 4

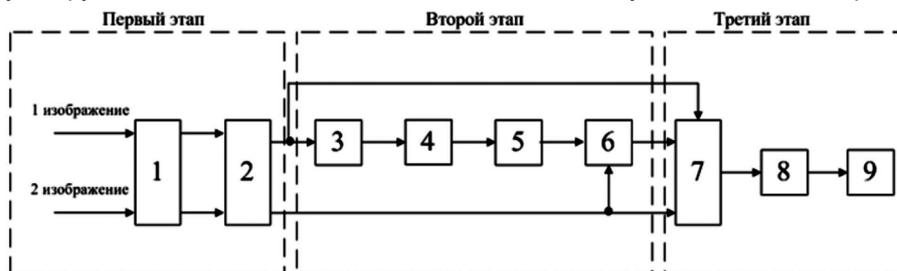


Рис. 2. Блок-схема алгоритма комплексирования двух разносектральных изображений



Рис. 3. Пример комплексирования ТВ изображений – а, б и ТПВ изображений – в, г по известным алгоритмам [5, 6] – д, е

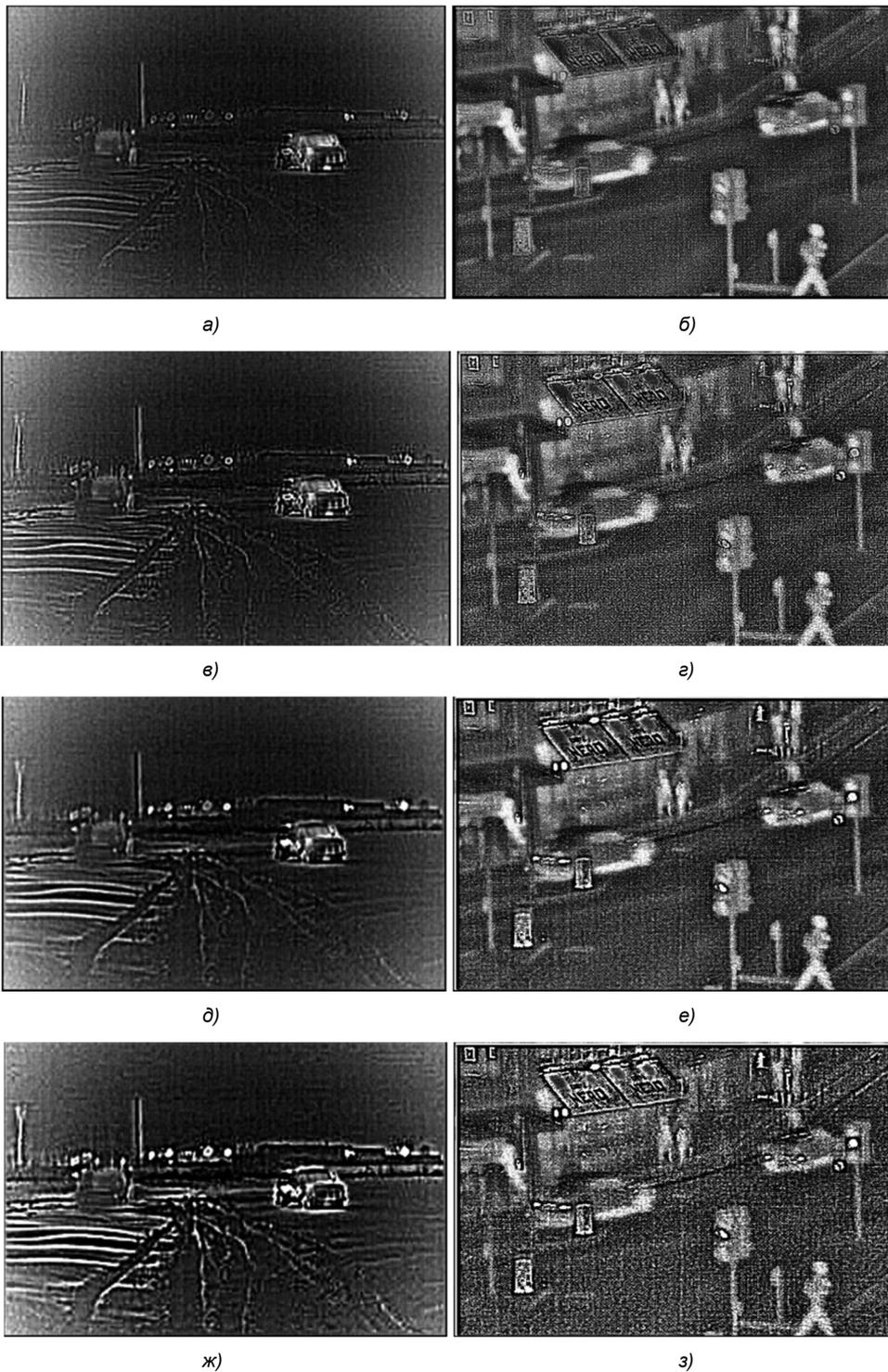


Рис. 4. Комплексированные полутоновые изображения полученные согласно выражения (3) для следующих исходных данных:

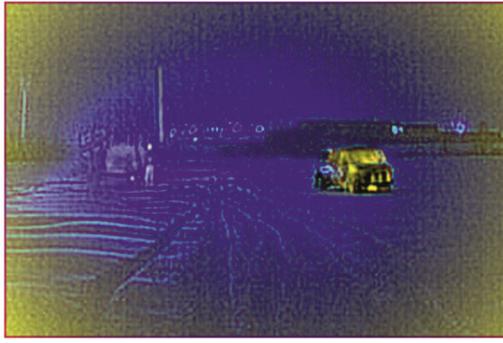
$(P, Q) = 1, k = 4$  – а, б;  $(P, Q) = 1, k = 8$  – в, г;  $(P, Q) = 3, k = 4$  – д, е;  $(P, Q) = 3, k = 8$  – ж, з

представлены комплексированные полутоновые изображения, полученные на втором этапе предлагаемого алгоритма, согласно выражения (3). На рис. 5 представлены результирующие цветные комплексированные изображения, полученные на основе разработанного алгоритма, согласно выражения (4). Результирующее комплексированное цветное изображение является более информативным с высоким локальным контрастом и позволяет осуществлять селекцию спектрально зависимых объектов по их цветовому различию, как в условиях засветочных помех, так и в условиях низкого контраста

одного из исходных изображений.

### Заключение

Таким образом, цветовой синтез является эффективным средством для комплексного дешифрирования изображений, полученных в различных областях электромагнитного спектра. Важным свойством синтеза является то, что результат синтеза по своим дешифровочным свойствам при прочих равных условиях не хуже, чем каждое из спектрально-зональных изображений, что говорит в пользу его применения для сокращения времени де-



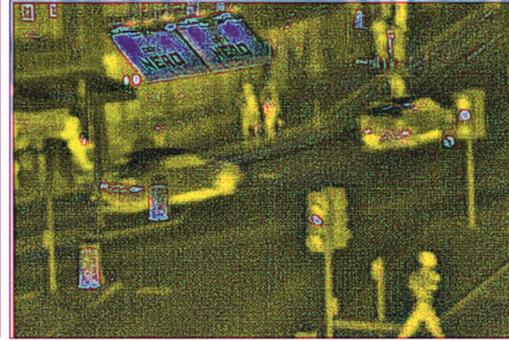
а)



б)



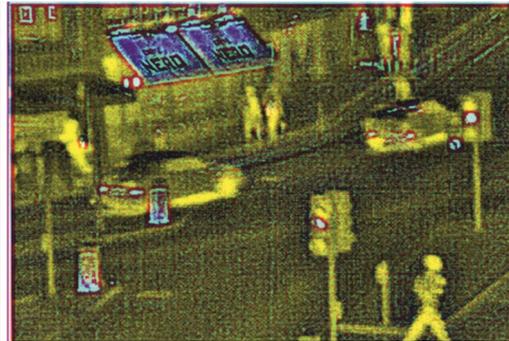
в)



г)



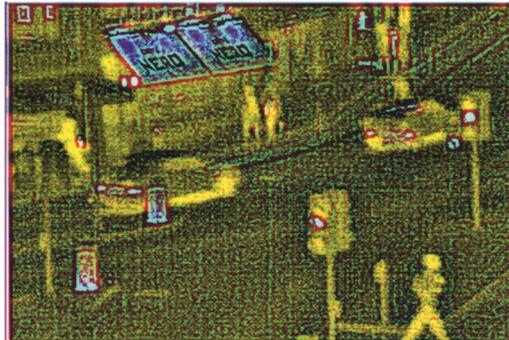
д)



е)



ж)



з)

Рис. 5. Комплексированные цветные изображения полученные согласно выражения (4) для следующих исходных данных:

$(P, Q) = 1, k = 4$  – а, б;  $(P, Q) = 1, k = 8$  – в, г;  $(P, Q) = 3, k = 4$  – д, е;  $(P, Q) = 3, k = 8$  – ж, з

шифрования при исключении потерь информации. Его важной особенностью следует считать сохранение релевантной информации, необходимой для принятия решения. Цветовой синтез оказывается выгодным и с точки зрения вычислительных затрат, так как не требует обработки изображения попиксельно, а использует физиологи

ческие особенности цветового зрения человека. При этом вопрос автоматического обнаружения и распознавания объектов заданного интереса на многоспектральных изображениях остается открытым. Разработанный алгоритм может использоваться в любых многоспектральных следящих системах с целью повышения их информативности.

## Литература

1. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения. М.: Университетская книга; Логос. 2007. 192 с.
2. Действующие и перспективные спутники наблюдения земли // Геоматика. 2013. № 2. С. 107–111.
3. Автоматизированные системы наземных комплексов сбора и обработки данных воздушной разведки. Учебное пособие / Под ред. И.Н. Белоглазова. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. 2003. 296 с.
4. Шипко В.В. О возможных подходах комплексирования иконической информации в многоканальных системах воздушно-космической разведки. Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки: сб. тезисов докл. IV Всероссийской научно-практической конференции «АВИАТОР», Воронеж, 16-17 февраля 2017 г., Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. 232 с.
5. Патент RU 2451338 опубликовано 20.05.2012 г., МПК G06T 5/00
6. Патент RU 2540778 опубликовано 10.02.2015 г., МПК G06T 5/50, G06K 9/46
7. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / Под ред. В.В. Еремеева. М.: Физматлит, 2015. 460 с.
8. Богданов А.П., Холопов И.С. Алгоритмы формирования цветного комплексированного изображения из многоспектральных монохромных на основе методов преобразования цветов / Цифровая обработка сигналов. 2013. № 3. С. 26-32.
9. Богданов А.П., Павлов О.В., Холопов И.С. Повышение быстродействия алгоритмов формирования цветного комплексированного изображения по сигналам разноспектральных монохромных датчиков / Цифровая обработка сигналов. 2013. № 3. С. 33-37.
10. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

## Уважаемые коллеги!

*Приглашаем Вас принять участие в формировании тематических выпусков журнала «Цифровая обработка сигналов» и размещению рекламы продукции (услуг) Вашей организации на его страницах. В случае положительного решения просим представить в редакцию журнала Ваши предложения по плановому размещению информационных материалов и макет рекламы продукции (услуг) с указанием желаемого её месторасположения: обложка (2-я, 3-я или 4-я стр.), цветная внутренняя полоса (объем полосы).*

Журнал «Цифровая обработка сигналов» издается с 1999 года. Выходит ежеквартально, тиражом – 700 экз. Распространяется по подписке через агентство «Роспечать» в России (индекс 82185), СНГ и странах Балтии (индекс 20630), а также на Конференции: «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA'».

Научно-технический журнал «Цифровая обработка сигналов» включен в Перечень изданий, рекомендуемый ВАК РФ для публикации результатов научных исследований соискателями ученой степени доктора и кандидата технических наук в области радиотехники, связи, вычислительной техники, электроники, приборостроения, информационных технологий, информационно-измерительных и управляющих систем. По предварительным итогам за 2015 год по рейтингу Science Index базы РИНЦ (3,394) журнал «Цифровая обработка сигналов» занимает 344-ю позицию из почти 3000 представленных изданий. Импакт-фактор журнала за 5-летний период цитируемости составил 0,535!

## Планируемые сроки издания отдельных номеров журнала:

- № 4 декабрь 2017 г. Тематический выпуск: «ЦОС в радиотехнике и системах телекоммуникаций».
- № 1 март 2018 г. Тематический выпуск: «ЦОС в радиотехнике и системах телекоммуникаций».
- № 2 июнь 2018 г. Тематический выпуск по материалам 20-й Международной научно-технической конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение-DSPA».
- № 3 сентябрь 2018 г. Тематический выпуск: «Цифровая обработка изображений».

## Ориентировочная стоимость рекламных услуг:

- 4-я (внешняя) страница цветной обложки – 25 тысяч рублей.
- 2-я и 3-я (внутренние) страницы цветной обложки – 15 тысяч рублей.
- 1/2 цветной внутренней полосы – 8 тысяч рублей.

Ждем Ваших предложений.

С наилучшими пожеланиями, зам. главного редактора

д.т.н., профессор Витязев Владимир Викторович, телефон 8-903-834-81-81.

Предложения прошу направлять по адресу: E-mail: [vityazev.v.v@rsreu.ru](mailto:vityazev.v.v@rsreu.ru) или [info@dspa.ru](mailto:info@dspa.ru)