

УДК 004.932.2

## ПОВЫШЕНИЕ РАЗЛИЧИМОСТИ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ФОРМИРУЕМЫХ ИК-СИСТЕМАМИ

<sup>1</sup>Трухачев В.В., <sup>2</sup>Поляков С.А.

<sup>1</sup>ООО «П-Технологии», Санкт-Петербург, e-mail: v\_truhachev@mail.ru;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, e-mail: kaf44@guap.ru

В статье рассматриваются методы улучшения визуализации объектов на растровых изображениях, формируемых ИК-системами. Приводятся их отличия от оптоэлектронных систем видимого диапазона и факторы, влияющие на повышение теплового контраста объектов, усиления контрастности формируемых изображений, а также требования к выбору оптики и растровых датчиков. Определены условия, при которых повышается различимость объектов тепловизионных изображений на произвольном фоне. Анализ показал, что эффективным способом увеличения теплового контраста объектов является оптимальный выбор начальной и конечной длин волн относительно узких поддиапазонов спектра пропускания инфракрасной системы, а также использование мультиспектральных систем. Среди методов повышения контрастности монохромных изображений предпочтителен выбор наиболее универсальных алгоритмов, не требующих настройки многочисленных параметров в процессе сигнальной обработки.

**Ключевые слова:** инфракрасные системы, тепловой контраст объектов, контрастность изображений, спектральный диапазон, спектр излучения, полоса пропускания, оптическая фильтрация, гамма-коррекция, поляризация

## INCREASE IN DISTINGUISHABILITY OF OBJECTS ON IMAGES WHICH ARE CREATED BY IR SYSTEMS

<sup>1</sup>Truhachev V.V., <sup>2</sup>Polyakov S.A.

<sup>1</sup>Chief Specialist P-Technologies, LLC, Saint-Petersburg, e-mail: v\_truhachev@mail.ru;

<sup>2</sup>Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, e-mail: kaf44@guap.ru

In article methods of improving of visualization of objects on the bitmap images created by IR systems are considered. Their differences from optoelectronic systems of the visible range and the factors influencing increase of thermal contrast of objects are given. Requirements to a choice of optics and raster sensors are formulated. Conditions under which distinguishability of objects of thermovision images on arbitrary background increases are defined. The analysis showed that effective way of increase in thermal contrast of objects is the optimum choice of initial and final lengths of waves of rather narrow subranges of a range of a transmission of infrared system, and also use of multispectral systems. Among methods of increase of contrast range of monochrome images the choice of the universal algorithms which aren't requiring setup of numerous parameters in the course of signal processing is preferable.

**Keywords:** Infrared systems, thermal contrast of objects, contrast of images, spectral range, radiation range, pass-band, optical filtration, gamma correction, solarization.

В настоящее время решение задач визуализации распределения тепловых потоков с помощью растровых датчиков, обладающих высокой чувствительностью в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн, становится чрезвычайно актуальным и используется в различных сферах [5, 10, 11]. Устройства данного назначения находят широкое распространение в системах охраны и наблюдения, в силовых структурах, на транспорте, в медицине, энергетике, строительстве и других отраслях. Поэтому выявление условий, при которых повышается различимость объектов тепловизионных изображений на произвольном фоне, также представляет определенный интерес при выборе или проектировании ИК-систем наблюдения.

Визуализация изображений, формируемых инфракрасными системами (ИКС), существенно отличается от условий наблюдения в видимом спектральном диапазоне. Послед-

ний случай, несмотря на относительно узкую (0,4–0,76 мкм) полосу воспринимаемых глазом человека длин волн, характеризуется очень большим динамическим диапазоном регистрируемых освещенностей объектов и фона, которые могут отличаться на несколько порядков, а также высоким многообразием различимых глазом человека цветовых оттенков отраженного света, что дополнительно повышает контрастность объектов. Поэтому основной проблемой повышения различимости объектов в видимом диапазоне является прием и обработка оптических сигналов с малым квантовым выходом.

Условия формирования монохромных ИК-изображений в поддиапазонах 3–5 и 7–14 мкм, напротив, предусматривают относительную однородность многофотонных тепловых излучений от объектов и фона, различающихся по интенсивности для подавляющего большинства сюжетов

в лучшем случае на единицы процентов. Это обусловлено близостью температур объектов наблюдения и фона, типовая величина которых близка к 300 К, а также сопоставимостью их спектральных коэффициентов излучения. Анализ многочисленных факторов, влияющих на различимость объектов ИК изображений, показывает, что их можно сгруппировать в обобщенном виде следующим образом: факторы, влияющие на тепловой контраст объектов, факторы, определяемые параметрами оптики ИКС, приемника и усилительного тракта, а также факторы, связанные с выбором способов повышения контрастности самих изображений методами цифровой обработки.

### Оценка факторов, влияющих на тепловой контраст объектов

Как известно [9], интегральная плотность потока излучения в спектральном диапазоне работы приемника без учета слабых вторичного отражения излучений других объектов (в том числе элементов конструкции и оптики приемника) и спектрального поглощения атмосферной среды на коротких дистанциях от объекта до приемника определяется выражением

$$RT = \int \varepsilon(\lambda) [dR(\lambda, T)/d\lambda] d\lambda,$$

в интервале значений длин волн электромагнитного спектра  $\Delta\lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны спектра излучения;  $\varepsilon(\lambda)$  – спектральный коэффициент излучения объекта, определяемый его материалом, а  $dR(\lambda, T)/d\lambda$  – спектр излучения черного тела, распределенный по закону Планка и имеющий пропорцио-

$$CT = \frac{\int \varepsilon_o(\lambda) [dR(\lambda, T_o)/d\lambda] - \int \varepsilon_f(\lambda) [dR(\lambda, T_f)/d\lambda] d\lambda}{\int \varepsilon_o(\lambda) [dR(\lambda, T_o)/d\lambda] + \int \varepsilon_f(\lambda) [dR(\lambda, T_f)/d\lambda] d\lambda}$$

ную и конечную точки спектра  $\Delta\lambda$  пропускания ИКС, а также соответствующий тип растрового датчика, имеющего максимальную чувствительность в спектральном поддиапазоне наблюдения.

Построение кривых изменения теплового контраста для спектральных интервалов 3–5 и 8–14 мкм показывает, что для перепадов температур  $\Delta T$  между объектами и фоном в первом поддиапазоне тепловые контрасты существенно выше, чем во втором. Однако, согласно закону Планка, максимум кривой спектра излучения для температур, близких к 300 К, приходится тем не менее на 10 мкм, что также следует учитывать при проектировании конкретных ИК систем. Это означает, что при разработке систем прикладного назначения в зависимости от конкретности решаемых задач в первую очередь следует оптимально выбирать началь-

ную зависимость от абсолютной температуры  $T$  в четвертой степени.

Таким образом, в общем виде величина потока излучения, регистрируемого приемником, оптическая ось которого близка к нормали поверхности объекта, на коротких дистанциях зависит в первую очередь от температуры объекта, спектральных излучающих свойств его материала, а во вторую – от спектральных свойств оптики, включая светофильтры, и чувствительности самого приемника в диапазоне заданных длин волн. Факторы первой группы зависят только от свойств самих наблюдаемых объектов и не могут произвольно варьироваться пользователем, в то время как выбор спектральных свойств ИК-оптики и растровых датчиков может осуществляться при проектировании ИКС.

Таким образом, с учетом присутствия указанных спектральных зависимостей можно утверждать, что величина регистрируемого потока будет зависеть от выбора начальной и конечной точек спектра  $\Delta\lambda$  пропускания ИК системы. Наряду с этим при оценке факторов качества приема тепловых потоков следует также принимать во внимание очевидное влияние на величину регистрируемых сигналов таких параметров, как дистанция до объекта и светосила оптики ИКС.

Тепловой контраст объектов, наблюдаемый на произвольном фоне с температурами, близкими к нормальным, в основном и определяющий их различимость на ИК-изображениях, будет равен разнице интегральных плотностей потоков излучений объектов и фона, отнесенной к сумме этих величин [9]:

В особых случаях для визуализации очень слабоконтрастных объектов, имеющих изрезанную кривую спектрального излучения, допустимо использование двух- или даже трехполосной системы оптической фильтрации, с максимальным пропусканием на длинах волн экстремумов спектра излучения объектов, подлежащих обнаружению. В частности следует отметить, что спектральный коэффициент излучения  $\varepsilon(\lambda)$  кожи человека имеет максимум, близкий к единице на длине волны 3 мкм, провал на 4 мкм и приближение к максимуму в интервале 6–14 мкм [9].

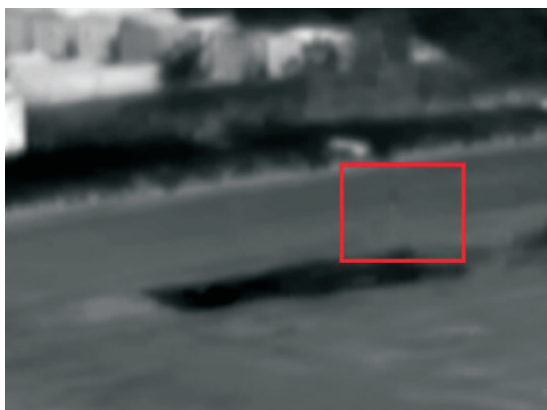


Рис. 1. Потеря визуализации

В условиях широкополосного приема при определенных сочетаниях температур излучения объектов и их спектральных коэффициентов излучения существует опасность полной потери визуализации на фоне поверхности с совпадающей интегральной плотностью потока излучения (рис. 1). Поэтому наиболее эффективным способом увеличения теплового контраста объектов является оптимальный выбор относительно узких поддиапазонов спектра пропускания ИКС, при котором визуальные различия между светимостью объекта и фона существенно увеличиваются (рис. 2). Введение ограничений на спектр пропускания ИК системы с целью повышения теплового контраста производится, как правило, включением в оптическую схему устройства узкополосных интерференционных фильтров. Широкая номенклатура типовых и заказных фильтров ИК диапазона для достижения поставленных целей в настоящее время вполне доступна [13].

#### Реализация способов повышения различимости объектов

Кроме рассмотренных вариантов повышения теплового контраста ИКС, следует также оптимизировать факторы второй группы: параметры оптики ИКС, приемника и усилительного тракта. В обобщенном виде к параметрам оптики относятся: спектральный и интегральный коэффициенты пропускания, геометрооптические параметры, функции рассеяния, дисторсии и разрешения объектива. В последнее время предложены технические решения [1, 2] по проектированию классических и гибридных объективов, содержащих минимальное число формирующих поток оптических элементов, что позволяет существенно улучшить частотно-контрастные характеристики, снизить световые потери, а также в ряде случаев сформировать заданный спектр пропускания непосредственно при про-



Рис. 2. Наличие теплового контраста

ектировании оптической системы [7]. При этом предусматривается, что для коррекции хроматических aberrаций используются гибридные дифракционно-рефракционные элементы.

Наряду с этим следует также учитывать минимизацию шумов электронного тракта системы и очевидные требования к ее разрешающей способности, определяемой количеством чувствительных элементов растровой матрицы, частотно-контрастными характеристиками [3, 4, 6] и точностью фокусировки оптической системы.

Существенную роль в повышении контрастности объектов на растровых изображениях, формируемых ИК-системами, играют также факторы третьей группы – программные средства вторичной обработки видеoinформации [8, 12], которые подразделяются на глобальные и адаптивные.

Контрастность монохромных изображений при этом определяют как разность между максимальной и минимальной яркостью пикселей изображения. Глобальные методы увеличения контрастности растровых изображений предусматривают линейные, а чаще нелинейные преобразования шкалы яркости, причем к последним относятся методы гамма-коррекции, соляризации и другие. Данные методы основаны на увеличении контрастности на наиболее информативных отрезках шкалы яркости за счет снижения ее в других поддиапазонах. Основными преимуществами этих методов являются высокое быстродействие, позволяющее производить обработку изображений в реальном временном масштабе и минимальные аппаратные затраты. Это связано с тем, что нелинейному преобразованию шкалы яркости по единому алгоритму подвергается каждый пиксель исходного изображения в отдельности. Адаптивные методы повышения контрастности в свою очередь требуют постоянной перестройки ряда параметров в зависимости от яркости множества



соседних пикселей на обрабатываемых сюжетах изображений, что занимает существенно больше время на их обработку.

Таким образом, комплексный подход к выбору спектра пропускания ИКС и методов нелинейной коррекции растровых ИК изображений может обеспечить существенное повышение различимости объектов на сложных фонах.

### Заключение

На различимость объектов растровых изображений, формируемых ИК-системами, оказывают наиболее существенное влияние факторы теплового контраста, зависящего от условий приема потоков излучений, и контрастности монохромных изображений, вторично обрабатываемых в электронном тракте.

Эффективным способом увеличения теплового контраста объектов заданного класса является оптимальный (применительно к спектральным коэффициентам излучения объектов) выбор начальной и конечной длин волн относительно узких поддиапазонов спектра пропускания ИКС.

Среди методов повышения контрастности монохромных изображений предпочтительно выбирать универсальные алгоритмы, не требующие настройки многочисленных параметров в процессе сигнальной обработки.

### Список литературы

1. Анализ параметрической модели обобщенного триплета и его применение в оптико-информационных системах / Р.В. Анитропов, И.Г. Бронштейн, В.Н. Васильев, В.А. Зверев, И.Л. Лившиц, М.Б. Сергеев, Унчун Чо. // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 1. – С. 6–14.
2. Упрощение оптической схемы приемного объектива в цифровых камерах за счет аппаратной и программной компенсации его аберраций / Р.В. Анитропов, В.Н. Васильев, В.А. Зверев, И.Л. Лившиц, М.Б. Сергеев, Унчун Чо. // Информационно-управляющие системы. – 2011. – № 1. – С. 57–61.
3. Теория и практика расчета малогабаритных объективов для оптико-информационных систем / И.Г. Бронштейн, И.Л. Лившиц, М.Б. Сергеев, Унчун Чо. // Информационно-управляющие системы. – 2007. – № 5. – С. 52–55.
4. Характеристики программного обеспечения для проектирования дифракционно-ограниченных оптико-электронных систем / И.Г. Бронштейн, М.А. Пашковский, И.Л. Лившиц, М.Б. Сергеев, Унчун Чо // Информационно-управляющие системы. – 2008. – № 3. – С. 19–22.
5. Васильев А.Е., Криушов А.В., Шилов М.М. Инструментальные средства и методология подготовки специалистов в области встраиваемых интеллектуальных систем управления // Информационно-управляющие системы. – 2009. – № 4. – С. 43–52.
6. Адаптация схем классических широкоугольных объективов для использования в цифровых камерах / В.Н. Васильев, А.И. Драгунов, И.Л. Лившиц, М.Б. Сергеев, Е.М. Соколова // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 6. С. 2–6.
7. Гибридный микрообъектив для оптико-информационных систем комбинационного рассеяния / В.Н. Васильев, И.Л. Лившиц, М.Б. Сергеев, Е.М. Соколова // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 5. – С. 2–6.
8. Ерош И.Л., Сергеев М.Б., Соловьев Н.В. Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности: учебное пособие. – СПб.: ГУАП, 2005. – 154 с.
9. Ж. Госсорг. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. – М.: Мир, 1988. – 399 с.

10. Колбанев М.О., Рогачев В.А. Анализ проблемы обнаружения в инфракрасных системах // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 5. – С. 51–54.

11. Прищепа М.В., Будков В.Ю., Ронжин А.Л. Система интеллектуального управления мобильным информационно-справочным роботом // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 6. – С. 2–6.

12. Соловьев Н.В., Стадник А.И., Сергеев М.Б. Методы повышения контрастности растровых изображений для систем цифровой обработки видеоинформации // Информационно-управляющие системы. – 2007. – № 1. – С. 2–7.

13. Beratung und Lieferung von OEM-Komponenten // EURECA MESSTECHNIK GMBH – URL: <http://www.eureca.de>.

### References

1. Anitropov R.V., Bronshteyn I.G., Vasil'ev V.N., Zverev V.A., Livshits I.L., Sergeev M.B., Unchun Cho. Analiz parametricheskoy modeli obobshchennogo tripleta i ego primeneniye v optiko-informatsionnykh sistemakh // Informatsionno-upravlyayushie sistemy. 2010. no. 1. pp. 6–14.
2. Anitropov R.V., Vasil'ev V.N., Zverev V.A., Livshits I.L., Sergeev M.B., Unchun Cho. Uproshcheniye opticheskoy skhemy priemnogo ob'ektiva v tsifrovyykh kamerakh za schet apparatnoy i programmnoy kompensatsii ego aberratsiy // Informatsionno-upravlyayushie sistemy. 2011. no. 1. pp. 57–61.
3. Bronshteyn I.G., Livshits I.L., Sergeev M.B., Unchun Cho. Teoriya i praktika rascheta malogabaritnykh ob'ektivov dlya optiko-informatsionnykh sistem // Informatsionno-upravlyayushie sistemy. 2007. no. 5. pp. 52–55.
4. Bronshteyn I.G., Pashkovskiy M.A., Livshits I.L., Sergeev M.B., Unchun Cho. Kharakteristiki programmnogo obespecheniya dlya proektirovaniya difraktsionno-ogranichennykh optiko-elektronnykh sistem // Informatsionno-upravlyayushie sistemy. 2008. no. 3. pp. 19–22.
5. Vasil'ev A.E., Kriushov A.V., Shilov M.M. Instrumental'nye sredstva i metodologiya podgotovki spetsialistov v oblasti vstraivaemykh intellektual'nykh sistem upravleniya // Informatsionno-upravlyayushie sistemy. 2009. no. 4. pp. 43–52.
6. Vasil'ev V.N., Dragunov A.I., Livshits I.L., Sergeev M.B., Sokolova E.M. Adaptatsiya skhem klassicheskikh shirokougol'nykh ob'ektivov dlya ispol'zovaniya v tsifrovyykh kamerakh // Informatsionno-upravlyayushie sistemy. 2012. no. 6. pp. 2–6.
7. Vasil'ev V.N., Livshits I.L., Sergeev M.B., Sokolova E.M. Gibridnyy mikroob'ektiv dlya optiko-informatsionnykh sistem kombinatsionnogo rasseyaniya // Informatsionno-upravlyayushie sistemy. 2012. no. 5. pp. 2–6.
8. Erosh I.L., Sergeev M.B., Solov'ev N.V. Obrabotka i raspoznavaniye izobrazheniy v sistemakh preventivnoy bezopasnosti. Uchebnoye posobie. SPb: GUAP. 2005. 154 p.
9. Zh. Gossorg. Infkrasnyaya termografiya. Osnovy, tekhnika, primeneniye. M.: Mir, 1988. 399 p.
10. Kolbanev M. O., Rogachev V. A. Analiz problemy obnaruzheniya v infrakrasnykh sistemakh // Informatsionno-upravlyayushie sistemy. 2010. no. 5. pp. 51–54.
11. Prishchepa M.V., Budkov V.Yu., Ronzhin A.L. Sistema intellektual'nogo upravleniya mobil'nym informatsionno-spravochnym robotom // Informatsionno-upravlyayushie sistemy. 2010. no. 6. pp. 2–6.
12. Solov'ev N.V., Stadnik A.I., Sergeev M.B. Metody povysheniya kontrastnosti rastrovyykh izobrazheniy dlya sistem tsifrovoy obrabotki videoinformatsii // Informatsionno-upravlyayushie sistemy. 2007. no. 1. pp. 2–7.
13. Beratung und Lieferung von OEM-Komponenten // EURECA MESSTECHNIK GMBH URL: <http://www.eureca.de>.

### Рецензенты:

Сергеев М.Б., д.т.н., профессор, директор НИИ информационно-управляющих систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий механики и оптики (ИТМО), г. Санкт-Петербург;

Юлдашев З.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета (ГЭТУ), г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 01.08.2013.