

文章编号: 1672-8785(2013)03-0015-06

# 夜视图像彩色融合中基于谱残差的显著目标增强算法

孟凡龙

(南京理工大学江苏省光谱成像与智能感知重点实验室, 江苏南京 210094)

**摘要:** 根据人类视觉系统的特点, 提出了一种基于谱残差、可在夜视图像彩色融合中的增强显著目标的算法。该方法在彩色融合过程中, 利用谱残差确定显著目标范围, 用 $5 \times 5$  的像素大小窗口对显著目标进行定位。当像素邻域均值大于图像整体均值时, 此像素位于显著目标, 用红色凸显目标可达到增强彩色融合图像的目的。实验结果表明, 该方法具有较强的稳定性和实用性, 增强显著目标的效果较好。

**关键词:** 显著目标; 谱残差; 图像彩色化; 红外图像

中图分类号: TP391 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.03.04

## Algorithm for Enhancing Salient Objects in Color Fusion of Night Vision Images Based on Spectral Residual

MENG Fan-long

(Jiangsu Key Laboratory of Spectral Imaging and Intelligent Sense, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** According to the characteristics of human visual systems, an algorithm for enhancing the salient objects in color fusion of night vision images based on spectral residual is proposed. In the color fusion process, the range of the salient object is determined by the spectral residual and the salient object is located with a window of  $5 \times 5$  pixels. When the mean value in this window is greater than the global mean value, the pixels are located on the salient object. Then, the salient object is highlighted in red color so as to enhance the color fusion image. The experimental result shows that the new algorithm is stable and practical and is more effective in the enhancement of salient objects.

**Key words:** salient object; spectral residual; image colorization; infrared image

## 0 引言

随着夜视技术的快速发展, 夜视技术的理论体系已经比较完整, 其技术基础也已经相当成熟。由于微光和红外图像都是单色图像, 微光图像灰度范围小, 因此很难分清目标与背景之间的边界, 信噪比低; 红外图像的细节表现能力差, 不利于目标识别。人眼对颜色的分辨能力远大于灰度, 为了充分利用人眼的视觉特性, 人们

一直在致力于目视夜视系统黑白夜视图像的彩色化, 以更有效地获取目标场景信息。Reinhard 等人提出了全局传递算法, 完成了 2 幅彩色图像的色彩迁移<sup>[1]</sup>。Welsh 算法在 Reinhard 的颜色传输算法上做了一些改进, 可直接用于灰度图像, 是一种将灰度图像彩色化的算法<sup>[2]</sup>。Levin 等人提出了一种给灰度图像上色的方法<sup>[3]</sup>, 其主要思想是空间上相邻的像素若亮度相似, 则

收稿日期: 2013-02-10

作者简介: 孟凡龙(1988-), 男, 江苏连云港人, 硕士研究生, 主要研究工作是图像处理与目标检测。

E-mail:mfl6533891@163.com

它们的颜色一般也会类似。这种方法需要通过人为每个区域涂上特定的颜色，无法实现自适应的彩色化。Toet 提出了基于颜色查找表的夜视图像彩色化算法<sup>[4]</sup>，实现了夜视图像自然感彩色融合图像。

夜视图像彩色融合后，由于图像背景的彩色化，红外图像热对比度被弱化。本文结合谱残差提取显著目标的方法，提出了一种用以增强彩色融合图像显著目标的方法。

## 1 谱残差模型

Barlow 的有效编码假说指出大脑感知系统的信息处理过程与外界输入信息的统计特性密切相关。感知系统的主要作用是去除外界输入信号的冗余信息。虽然外界不断地输入信息，但输入信息中存在大量冗余信息。因为大脑神经元能够去除这些冗余信息，所以大脑能够自适应处理复杂的环境信息<sup>[5]</sup>。

信息论指出，有效编码假说中图像信息 H 由目标信息和背景信息组成：

$$H = H(I) + H(P) \quad (1)$$

式中  $H(I)$  为图像中显著目标部分的信息， $H(P)$  为冗余的背景信息。在频率域中图像统计不变的特性可以表示图像信息<sup>[6]</sup>。如果图像中冗余的背景信息能够被去除，则图像仅剩下显著目标信息。

### 1.1 log 谱

变换不变性是自然图像具有的统计特性，其特点是将图像从原来的空间坐标变换到频率坐标系中后，图像在空间中所具有的统计特性在频域中仍然会被保留。这样就可以采用能量谱来刻画自然图像空间相关性的可靠性。

尺度不变性是分析自然图像统计特性时最常用的特性。自然图像集合的平均傅里叶谱的幅值  $A(f)$  服从下式的分布

$$E\{A(f)\} \propto 1/f \quad (2)$$

此统计特性也称  $1/f$  法则<sup>[7]</sup>。

对一幅图像  $I(x)$  进行傅里叶变换，将图像的空间域转换成图像的频率域。图像傅里叶变换后的幅值为

$$F(f) = |\Im(I(x))| \quad (3)$$

$$\phi(f) = \varphi[F(I(x))] \quad (4)$$

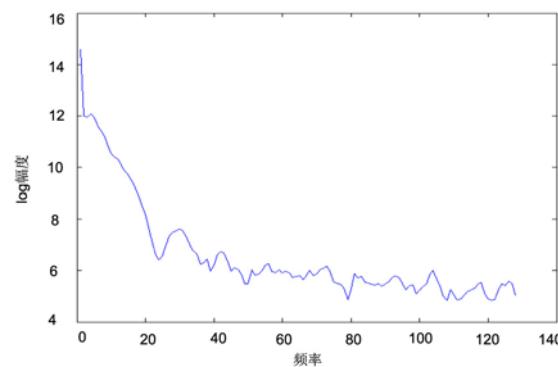
式中  $F$  代表二维离散傅里叶变换， $|\bullet|$  代表其幅值， $\varphi$  代表其相位。

然后对幅值取对数，得到 log 谱

$$L(f) = \log(F(f)) \quad (5)$$



(a) 原始图像



(b) log 谱

图 1 自然图像及其傅立叶频谱曲线

由图 1 可以看出， $\log$  曲线基本符合  $1/f$  法则。因此选用  $\log$  谱  $L(f) = \log(A(f))$  来表示图像。

## 1.2 谱残差

根据信息论, 可以定义

$$H(L(f)) = H(U(f)) + H(R(f)) \quad (6)$$

式中  $H(U(f))$  代表图像冗余信息,  $H(R(f))$  代表图像显著信息, 也就是我们所要利用的图像信息。

大量实验表明, 图像数据的曲线分布趋势大体一致,  $\log$  谱曲线具有局部线性条件<sup>[8-11]</sup>。利用局部平均滤波器  $h_n(f)$  对  $\log$  谱进行平滑, 获得的大致形状即为图像冗余信息, 表达式如下:

$$U(f) = L(f) * h_n(f) \quad (7)$$

式中,  $h_n(f)$  为滤波算子, 它是如下的  $n \times n$  矩阵

$$h_n(f) = \frac{1}{n^2} \begin{vmatrix} 1 & 1 & \cdot & \cdot & 1 \\ 1 & 1 & \cdot & \cdot & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 1 & \cdot & \cdot & 1 \end{vmatrix} \quad (8)$$

式中  $n$  可取 2、3…

谱残差是图像的傅里叶  $\log$  谱与其冗余信息的差, 如下式所示:

$$R(f) = L(f) - U(f) \quad (9)$$

谱残差体现的是图像中显著目标的信息。

以上是可以利用谱残差进行显著目标检测的理论基础。

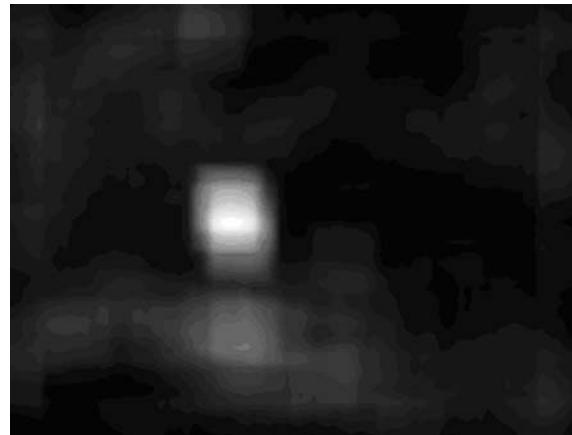
通过对频率域的谱残差信息进行傅里叶反变换, 便得到空间域的显著图:

$$S(x) = |\Im^{-1}(\exp\{R(f) + i\phi(f)\})|^2 \quad (10)$$

因此可以重构出一幅图像, 用来表示原图像各像素的显著性。该图像称为显著图。



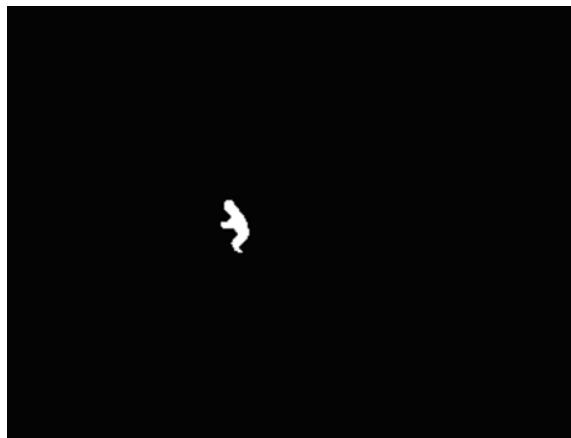
(a) 红外图像



(b) 显著图



(c) 显著目标范围



(d) 显著目标提取

图2 显著目标检测

## 2 显著目标检测

显著图中包含了图像的显著目标，为了从显著图中更加明确地分割出显著目标的范围，本文对显著图进行阈值分割

$$O(X) = \begin{cases} 1 & S(x) > T \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

阈值为  $T=M(S(x)) \times k$ ，其中  $M(S(x))$  为显著图  $S(x)$  的灰度均值， $k$  为加权系数，本文选择  $k=2.5$ 。显著图按式(11)分割得到显著目标的范围，结果如图2(c)所示。在利用红外图像的谱图像提取显著目标的范围时，为了进一步确定像素点是否属于热区，需对显著目标范围进行二次分割。首先定义一个窗口，设定大小为  $5 \times 5$  像素，当窗口的局部均值  $\mu_{IR}(i,j)$  大于红外图像的整体均值  $\bar{\mu}_{IR}(i,j)$  时，窗口中心像素点处于红外热目标区，如图2中(d)所示。

## 3 基于YUV空间的色彩传递

以一幅彩色图像  $C(x,y)$  作为参考图像，将参考图像和目标图像由 RGB 空间转换到 YUV 颜色空间

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (12)$$

计算 YUV 空间中的参考图像和目标图像各通道对应的灰度均值和方差时，为了使目标达到自然感彩色效果，要调整目标图像即伪彩色融合图像各通道灰度值的分布，使目标图像在 YUV 空间中的各通道所对应的灰度均值和方差的灰度分布与彩色参考图像的保持一致。

$$\begin{aligned} F^Y(x,y) &= \frac{\sigma_C^Y}{\sigma_S^Y} [S^Y(x,y) - \mu_S^Y] + \mu_C^Y \\ F^U(x,y) &= \frac{\sigma_C^U}{\sigma_S^U} [S^U(x,y) - \mu_S^U] + \mu_C^U \\ F^V(x,y) &= \frac{\sigma_C^V}{\sigma_S^V} [S^V(x,y) - \mu_S^V] + \mu_C^V \end{aligned} \quad (13)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_C^Y = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C^Y(i,j) \\ \mu_C^U = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C^U(i,j) \\ \mu_C^V = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C^V(i,j) \end{array} \right. \quad (14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_S^Y = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S^Y(i,j) \\ \mu_S^U = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S^U(i,j) \\ \mu_S^V = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S^V(i,j) \end{array} \right. \quad (15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_C^Y = [\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (C^Y(i,j) - \mu_C^Y)^2]^{1/2} \\ \sigma_C^U = [\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (C^U(i,j) - \mu_C^U)^2]^{1/2} \\ \sigma_C^V = [\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (C^V(i,j) - \mu_C^V)^2]^{1/2} \end{array} \right. \quad (16)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_S^Y = [\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (S^Y(i,j) - \mu_S^Y)^2]^{1/2} \\ \sigma_S^U = [\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (S^U(i,j) - \mu_S^U)^2]^{1/2} \\ \sigma_S^V = [\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (S^V(i,j) - \mu_S^V)^2]^{1/2} \end{array} \right. \quad (17)$$

式中,  $F(x,y)$  为自然感彩色融合图像,  $S(x,y)$  为假彩色图像,  $\mu_C$ 、 $\sigma_C$  分别为参考图像的均值和方差,  $\mu_S$ 、 $\sigma_S$  分别为假彩色图像的均值和方差。

#### 4 增强彩色融合中的显著目标

夜视图像中, 微光图像的场景细节丰富, 热图像可呈现人、机动车等目标的热辐射, 使得目标与背景具有较好的对比度。因此, 微光图像与红外图像具有良好的互补性, 可将二者融合起来, 在一幅图像中同时呈现微光图像和红外图像信息。

在夜视图像彩色融合过程中, 图像背景经彩色化以后, 由于热目标与背景的灰度差不足, 会导致红外图像热对比度被弱化。针对这个问题, 本文提出了增强彩色融合图像显著目标的方法。

设红外图像为  $IR(x,y)$ , 微光图像为  $LL(x,y)$ , 彩色融合的步骤为:

(1) 首先对红外图像进行傅里叶变换, 得到其 log 谱残差, 即显著图。对红外图像的显著图进行目标提取, 得到红外显著目标, 如图 3(d) 所示;

(2) 对红外微光图像进行 NRL 通道映射, 即

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IR \\ LL \\ LL \end{bmatrix} \quad (18)$$

(3) 对于 NRL 通道映射的融合图像, 按式(13)在 YUV 空间进行色彩传递。色彩传递过程中, 按式(19)对  $S(x,y)$  的 V 通道进行显著目标增强, 得到伪彩色增强图像  $F(x,y)$ 。

$$F^V(x,y) =$$

$$\begin{cases} 255, S(x,y) \in \text{显著目标} \\ \frac{K \times \sigma_C^V}{\sigma_S^V} [S^V(x,y) - \mu_S^V] + \mu_C^V, S(x,y) \geq \text{Mean}(S) \end{cases} \quad (19)$$

式中,  $\mu_C^V$ 、 $\sigma_C^V$  分别为参考图像 V 通道的均值和方差,  $\mu_S^V$ 、 $\sigma_S^V$  分别为假彩色图像 V 通道的均值和方差。

由图 3 可以看出, 图 3(f) 的效果明显优于图 3(e)。图 3(e) 中的彩色化图像的目标与背景的色彩差别较小, 目标难以识别。本文的方法通过提取显著目标并赋予目标鲜艳的颜色, 达到了图像的彩色化, 使得目标更容易被识别。



(a) 红外图像



(b) 微光图像



(c) 彩色参考图像



(d) 红外显著目标



(e)YUV 色彩传递法



(f) 本文方法

图3 显著目标增强

## 5 结论

在红外图像和微光图像的彩色化过程中，背景与目标虽然被赋予了自然感色彩，但两者之间的色彩差异被削弱了。为了增大目标与背

景之间的差异，本文提出了结合谱残差提取显著目标的方法，有效地突出了目标，改善了彩色融合图像的质量。

## 参考文献

- [1] Ruderman D L, Cronin T W, Chiao C C. Statistics of Cone Responses to Natural Images: Implications for Visual Coding[J]. *Optical Soc. Of America*, 1998, **15**(8) : 2036–2045 .
- [2] Reinhard E ,Ashikhmin M, Gooch B, et al. Color Transfer Between Images[J]. *Computer Graphics and Applications ,IEEE* ,2001,**21**(5):34–41.
- [3] Welsh T , Ashikhmin M, Mueller K. Transferring Color to Greyscale Images [C]. *Computer Graphics Proceedings of Siggraph*, 2002:277–280.
- [4] Levin A, Lischinski D, Weiss Y. Colorization Using Optimization [C]. *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, 2004:689–693.
- [5] Barlow H B. Possible Principles Underlying the Transformation of Ensory Messages [C]. *Sensory Communication. Cambridge*,1961: 217–234.
- [6] D. Ruderman. The Statistics of Natural Images. *Network: Computation in Neural Systems*, 1994,**5**(4):517-548.
- [7] Daniel L Ruderman. The Statistics of Natural Images [J].*Network: Computation in Neural Systems*, 1994, **5**(4):517-548.
- [8] Toet A. Color the Night: Applying Daytime Colors to Nighttime Imagery[C]. *SPIE* 2003,5081:168–178 .
- [9] Toet A. Color the Night: Applying Daytime Colors to Nighttime Imagery [C]. *SPIE*, 2003, 5081:168–178 .
- [10] Toet A. Natural Colour Mapping for Multi-band Night Vision Imagery[J].*Information Fusion*, 2003,**4**(3):155–166.
- [11] 王岭雪, 史世明, 金伟其, 等. 可见光与红外图像彩色融合中的热目标增强方法 [J].*北京理工大学报*,2008,**28**(1):1–4.