文章编号　1004-924X(2016)11-2848-07

改进的响尾蛇双模式细胞模型的图像融合

王　勇[1*]，王宇庆[2]，马　娇[3]
(1. 吉林大学 通信工程学院，吉林 长春 130012；
2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所，吉林 长春 130033；
3. 中国科学院 电子学研究所，北京 100080)

摘要：由于基于经典 Waxman 融合模型得到的伪彩色融合图像目标不够清晰，本文提出了一种改进的感受野融合模型。对红外图像和可见光图像分别进行了 ON 对抗增强和 OFF 对抗增强；将红外 ON 对抗增强图像馈入中心-环绕感受野模型的中心兴奋区域，可见光 OFF 对抗增强图像馈入环绕抑制区，得到融合图像的 B 分量；将红外 OFF 对抗增强图像馈入中心-环绕感受野模型的环绕抑制区域，可见光 ON 对抗增强图像馈入中心兴奋区，得到融合图像的 G 分量；将可见光 ON 对抗增强图像直接作为融合图像的 R 分量；然后，输出 RGB 伪彩色融合图像。最后，用 Waxman 方法和本文提出的方法分别对两组源图像进行融合，并用信息熵和平均梯度对融合结果进行了评价。结果表明，采用提出的模型，第一组融合图像的信息熵和平均梯度比 Waxman 融合模型分别高出 0.314 6 和 0.004 1，第二组融合图像的信息熵和平均梯度比 Waxman 融合模型分别高出 0.255 1 和 0.002 7。得到的数据显示本文提出的融合模型的融合效果优于经典 Waxman 模型。

关　键　词：图像融合；感受野融合模型；红外图像；可见光图像；中心-环绕受域；双模式细胞
中图分类号：TP391.4　　**文献标识码**：A　　**doi**：10.3788/OPE.20162411.2848

Improved rattle snake dual mode cell model for image fusion

WANG Yong[1*], WANG Yu-qing[2], MA Jiao[3]

(1. *College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun* 130012, *China*;
2. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130033, *China*;
3. *Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100080, *China*)
* *Corresponding author, E-mail: wang-yong8205@163.com*

Abstract: Since the target in a pseudo color fusion image based on the classical Waxman fusion model is not clear, this paper proposes an improved receptive field fusion model. The infrared image and visible light image were respectively ON against enhanced and OFF against enhanced. The infrared ON against enhanced image was fed into an center exciting area of the center-surround receptive field model and the visible light OFF against enhanced image was fed into a surround inhibition zone to get the fusion image B component. Then, the infrared OFF against image was fed into a center inhibition zone of the center-surrounding receptive field model and the visible light ON against enhanced image

收稿日期：2016-06-29；**修订日期**：2016-08-13.
基金项目：国家自然科学基金青年基金资助项目(No. 61201368)；吉林省教育厅"十二五"科学技术研究计划资助项目(No. 吉教科合字[2015]第 484 号)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

was fed into the center exciting area to get the fusion image of G component. Furthermore, the visible ON against enhanced image was directly taken as the R component of fused image and to output the pseudo color fusion image. Finally, the fusion experiments were performed for two groups of original images by Waxman model and proposed model and the fusion results were evaluated by the information entropy of fused image and the average gradient. The results show that the first set data by proposed method are higher 0.314 6 and 0.004 1 respectively than that of Waxman fusion model, and that of the second set data by proposed method are higher 0.255 1 and 0.255 1 than that of the Waxman fusion model. It concludes that fusion effect of the proposed fusion model is superior to that of the classical Waxman model.

Key words: image fusion; receptive field fusion model; infrared image; visible image; center-surrounded by domain; dual mode cell

1　引　言

图像融合是通过提取两个或两个以上源图像的信息，得到同一场景或目标更为准确、全面和可靠的图像描述[1]。目前关于图像融合的研究多数集中在像素级、特征级或决策级的图像融合算法的探索上[2-5]。近年来，有部分学者提出了通过模拟生物视觉成像机制实现图像融合的方法[6]。他们将响尾蛇作为主要研究对象。

自然界中，任何物体都能够辐射红外能量，响尾蛇利用目标和背景红外辐射能量的差异得到不同目标的红外图像。即使相距较远，其红外感知系统也能排除外界事物的干扰，探测到隐藏着的热目标。然而红外图像的对比度较差，它只对环境中目标的热辐射比较敏感，对于亮度变化并不敏感，而且由于没有颜色信息，对场景细节也不敏感。可见光图像比红外图像包含更多的目标细节信息，但在环境亮度较低时，图像的亮度、对比度和图像分辨率都会下降[7-8]。科研人员通过研究发现，在响尾蛇的视觉系统中，红外信息和可见光信息可以很好地相互协同，形成的融合图像细节信息丰富、目标清晰。因此，人们试图通过研究响尾蛇的视觉成像机制，揭示出红外与可见光图像的融合机理，建立一套仿生融合算法。

近几年，在生物学研究成果的基础上，图像处理领域的研究者对基于响尾蛇的视觉成像系统做了深入研究[9]，概括为以下两个方面：(1)用感受野动力学方程做图像融合，探讨方程中各个参数的取值[6]。(2)提出了多波段图像假彩色融合技术[9-10]。本文对 waxman 感受野模型做了改进，先对红外图像和可见光图像分别进行 ON 对抗增强和 OFF 对抗增强，再将红外 ON 对抗增强图像馈入中心-环绕感受野模型的中心兴奋区域，将可见光 OFF 对抗增强的图像馈入环绕抑制区，得到融合图像的 B 分量；接着将红外 OFF 对抗增强图像馈入中心-环绕感受野模型的环绕抑制区域，可见光 ON 对抗增强的图像馈入中心兴奋区，得到融合图像的 G 分量；最后将可见光 ON 对抗增强的图像直接作为融合图像的 R 分量。输出 RGB 伪彩色融合图像。

2　经典双模式细胞模型

2.1　经典双模式细胞模型

Newman、Hartline 两人指出响尾蛇视顶盖中红外和可见光信息的融合作用通过双模式细胞的与、或、红外增强可见、可见增强红外、红外抑制可见和可见抑制红外这 6 种方式的相互作用实现。为了实现其视觉成像过程的仿真，需要对这 6 种双模式细胞建立合适的数学模型[9]。

文中将可见光图像和红外图像分别用 $f_v(x,y)$ 和 $f_{ir}(x,y)$ 表示，6 种模式分别描述如下。

2.1.1　可见光增强红外细胞

该细胞对单独的可见光信号不起作用，对单独的红外信号则能产生响应。当红外信号存在时加入可见光信号刺激，细胞的响应将明显增强。由此可知可见光对红外信号起到了辅助增强的作用。本文用指数函数来模拟红外信号的增强效果。可以得到：

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$f_{v+ir}(x,y)=f_{ir}(x,y)\exp f_v(x,y), \quad (1)$$

其中：$f_{v+ir}(x,y)$表示可见光增强红外后的图像。

2.1.2 可见光抑制红外细胞

该细胞对单独的红外信号可以产生响应，而对单独的可见光信号却不起作用。当红外信号存在时加入可见光信号的刺激，细胞响应将明显减弱，即可见光对红外信号的响应起到了抑制的作用。本文用对数函数来模拟可见光对红外信号的抑制：

$$f_{v-ir}(x,y)=f_{ir}(x,y)\log[f_v(x,y)+1], \quad (2)$$

其中：$f_{v-ir}(x,y)$表示可见光抑制红外后的图像。

2.1.3 红外增强可见光细胞

该细胞对单独的红外信号不起作用，对单独的可见光信号则能产生响应。当可见光信号单独存在时加入红外信号刺激，细胞的响应将大大增强。由此可知红外对可见光信号起到了辅助增强作用。本文用指数函数来模拟红外信号对可见光信号的增强效果。可以得到：

$$f_{ir+v}(x,y)=f_v(x,y)\exp f_{ir}(x,y), \quad (3)$$

其中：$f_{ir+v}(x,y)$表示红外增强可见光信号后的图像。

2.1.4 红外抑制可见光细胞

该细胞对单独的可见光信号可以产生响应，而对单独的红外信号不起作用。当可见光信号单独存在时加入红外信号的刺激，细胞响应将大大减弱。由此可知红外对可见光信号的响应起到了抑制作用。本文用对数函数来模拟红外信号对可见光信号的抑制。得到下式：

$$f_{ir-v}(x,y)=f_v(x,y)\log[f_{ir}(x,y)+1], \quad (4)$$

其中：$f_{ir-v}(x,y)$表示红外抑制可见光信号后的图像。

2.1.5 AND（与）细胞

当红外信号和可见光信号同时存在时，细胞才产生明显的响应。因此本文用“加权与”来模拟可见光图像和红外图像的共同作用。

①当 $f_v(x,y)>f_{ir}(x,y)$时，融合结果为：

$$f_{and}(x,y)=bf_v(x,y)+af_{ir}(x,y). \quad (5)$$

②当 $f_v(x,y)<f_{ir}(x,y)$，融合结果为：

$$f_{and}(x,y)=af_v(x,y)+bf_{ir}(x,y), \quad (6)$$

其中：$a>0.5$，$b<0.5$。

2.1.6 OR（或）细胞

可见光信号或红外信号任意一种存在或两者都存在时，细胞都会产生明显的响应。本文用“加权或”来模拟可见光图像和红外图像的共同作用。

①当 $f_v(x,y)>f_{ir}(x,y)$时，融合结果为：

$$f_{or}(x,y)=af_v(x,y)+bf_{ir}(x,y). \quad (7)$$

②当 $f_v(x,y)<f_{ir}(x,y)$时，融合结果为：

$$f_{or}(x,y)=bf_v(x,y)+af_{ir}(x,y), \quad (8)$$

其中：$a>0.5$，$b<0.5$。

生理视觉研究发现，视网膜中神经细胞的不同位置对光照产生的反应不同，即兴奋或抑制响应。本文把视网膜上能够影响某一个神经细胞反应的区域称为神经细胞的受域，也称作感受野（RF）。神经元细胞的受域是视觉信息处理的基本单位[6]。

根据视网膜锥体细胞与大脑视觉皮层细胞之间的联系，可将视网膜神经细胞的感受野分为两种：ON 中心-OFF 环绕感受野和 OFF 中心-ON 环绕感受野，分别表示中心兴奋/环绕抑制和中心抑制/环绕兴奋，简称为 ON-中心型和 OFF-中心型感受野。图1表示了视神经节细胞的同心圆结构对抗受域模型，其中+区域表示兴奋区域，-区域表示抑制区域。ON-中心型对抗受域是由中心的兴奋区和环绕的抑制区组成，当给予中心光照时，神经细胞的反应活动增强；而当光照充满环绕区域时，神经细胞的反应活动将受到抑制。ON-中心型感受野的兴奋性分布为从中心到周边逐渐减弱。OFF-中心型感受野则与之相反。生物物理学家将中心区域和环绕区域对于光照作用的不同反应称为拮抗作用。利用中心和环绕区域的拮抗响应，突出图像中的高频或细节信息，据此，可以提取出图像的边缘信息[11-12]。

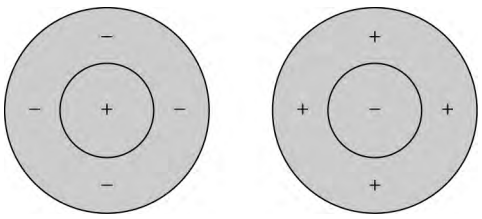


图1 ON-中心型和 OFF-中心型感受野

Fig. 1 Receptive fields of ON- and OFF- center types

生理学研究发现，距离视网膜中心越近，神经节细胞的受域越大。神经节细胞受域的模型为高斯差函数模型。中心受域和环绕受域的细胞活跃特性符合高斯分布，受域中心的敏锐性最高，距离

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中心越远，受域的敏锐性越低[6]。

2.2　视觉感受野的数学模型

E. H. Land 在 1971 年发表的具有划时代意义的论文“Lightness and Retinex Theory”中提出把明度计算和颜色恒定性简化为工程可操作的计算方法，并称之为 Retinex。该词是组合词，来源于视网膜 Retina 和大脑皮层 Cortex 两个词[4]。在生物视觉系统中，ON-中心型感受野和 OFF-中心型感受野在大脑皮层的视觉信息处理阶段起着很重要的作用，此视觉细胞感受野数学模型的建立使图像处理的前景十分广阔。

中心-环绕对抗受域的一种动力学描述是被动膜方程（Passive Membrane Equation）。此方程最早由 A. L. Hodgkin 和 A. F. Huxley 提出，后来 S. Grossberg 在描述中心-环绕受域神经网络的动力学过程时，也得到了形式相似的网络动力学方程[7]：

ON 对抗系统细胞响应：

$$X_k(i,j)=\frac{AD+EC_k(i,j)-FS_k(i,j)}{A+C_k(i,j)+S_k(i,j)}. \quad (9)$$

OFF 对抗系统细胞响应：

$$\overline{X_k}(i,j)=\frac{AD+ES_k(i,j)-FC_k(i,j)}{A+C_k(i,j)+S_k(i,j)}, \quad (10)$$

式中：A 是衰减常数，i,j 为像素坐标，D 表示细胞基底活性，k 是颜色通道，E 和 F 是极化常数。$C_k(i,j)$ 为受域兴奋中心，其可描述为：

$$C_k(i,j)=I_k(i,j)*W_c(i,j)=\frac{1}{2\pi\sigma_c^2}\sum_{m,n}I_k(i-m,j-n)\mathrm{e}^{\left(-\frac{m^2+n^2}{2\sigma_c^2}\right)}. \quad (11)$$

$S_k(i,j)$ 为受域抑制环绕区域，其可描述为：

$$S_k(i,j)=I_k(i,j)*W_s(i,j)=\frac{1}{2\pi\sigma_s^2}\sum_{p,q}I_k(i-p,j-q)\mathrm{e}^{\left(-\frac{p^2+q^2}{2\sigma_s^2}\right)}, \quad (12)$$

其中：$I_k(i,j)$ 为输入图像，$*$ 是卷积算子，$W_c(i,j)$、$W_s(i,j)$ 分别是中心区域和环绕区域的高斯分布函数，它们的高斯模板大小分别为 $m\times n$ 和 $p\times q$，σ_c，σ_s 分别为中心区域和环绕区域的空间常数，上下标 c、s 分别表示中心（Center）和环绕区域（Surround）。

3　融合结构及评价方法

3.1　经典融合结构

美国麻省理工大学 MIT 实验室的 A. M. Waxman 等模仿响尾蛇双模式细胞机理建立了基于生物特性的假彩色图像融合的典型结构。Waxman 融合结构如图 2 所示。其中 ON/OFF 结构表现了中心-环绕对抗受域的对比度感知属性，第一阶段为增强阶段，第二阶段为对红外增强可见光和红外抑制可见光的处理，这与响尾蛇的视觉融合机理相符。

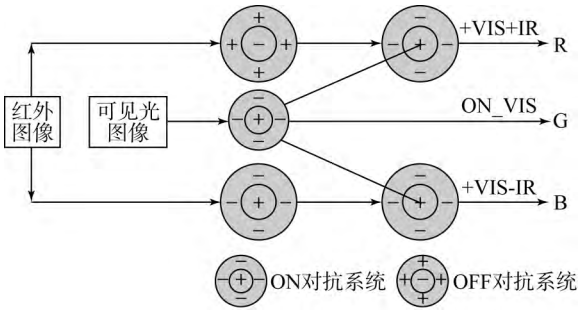


图 2　Waxman 融合结构

Fig. 2　Waxman fusion structure

该算法在第一阶段，分别使用 OFF 对抗系统和 ON 对抗系统得到了红外图像的 OFF 增强图像和 ON 增强图像，及 ON 对抗系统增强可见光信号，用 ON_VIS 表示。第二阶段为融合阶段，该阶段将 ON 对抗系统增强可见光信号分别馈入两个中心-环绕对抗受域的兴奋中心细胞中，红外图像的 OFF 增强图像和 ON 增强图像则分别馈入相应神经元的环绕抑制细胞中，得到了两个融合信号＋VIS＋IR 和＋VIS－IR。这两个信号分别模拟了红外增强可见细胞响应和红外抑制可见细胞响应。最后将得到的 3 个信号＋VIS＋IR、ON_VIS 和＋VIS－IR 分别映射到 R、G、B 3 个通道，形成了假彩色融合图像[10]。

3.2　本文融合结构

Waxman 融合算法中模拟了“红外增强可见光细胞”和“红外抑制可见光细胞”，但融合图像中的目标并不明显，细节也不够突出。针对这一问题，本文提出一种基于 Waxman 融合结构的改进结构，用以模仿响尾蛇视觉成像中红外信息和可见光信息的融合过程。改进的融合结构如图 3 所示。该算法在第一阶段，分别使用 OFF 对抗系统和 ON 对抗系统得到了红外图像和可见光图像的 OFF 增强图像和 ON 增强图像。第二阶段为融合阶段，将 ON 对抗系统增强可见光信号

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

ON_VIS 馈入中心-环绕对抗受域的兴奋中心细胞，红外图像的 OFF 增强图像馈入相应神经元的环绕抑制细胞，得到了可见增强红外细胞响应＋VIS＋IR 融合信号。将 OFF 对抗系统增强可见光信号馈入中心-环绕对抗受域的环绕抑制细胞，红外图像的 ON 增强图像馈入相应神经元的兴奋中心细胞，得到了红外增强可见细胞响应＋IR＋VIS融合信号。最后将 3 个信号＋VIS＋IR、ON_VIS 和＋IR＋VIS 分别映射到 R、G、B 3 个通道，形成了假彩色融合图像。使用两组源图像进行了仿真实验，图 4 为第一组源图像的仿真结果，图 6～7(彩图见期刊电子版)为第二组源图像的仿真结果。

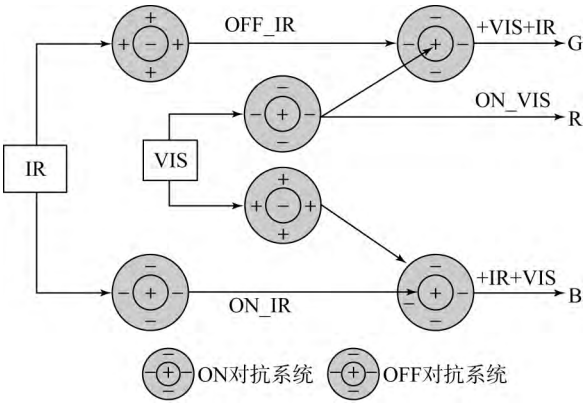


图 3 改进的融合结构

Fig. 3 Improved fusion structure

3.3 融合图像评价方法

本文采用的客观评价指标为信息熵和平均梯度。

(1)信息熵

从所含信息量的角度看，融合后图像的信息量会有所增加，因此可以根据信息熵的变化来评价融合图像的效果。信息熵的值越高，融合效果也越好。信息熵 H 的定义如下：

$$H=-\sum_{i=0}^{L-1} p_i \log p_i, \tag{13}$$

其中：L 为图像总的灰度级，p_i 为不同的灰度值像素的概率分布。

(2)平均梯度

平均梯度可以表示图像的清晰度，还可用来表示图像细节之间的差距。平均梯度的定义如下：

$$\nabla \bar{G}=\frac{1}{M\times N}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}[\Delta x_f(i,j)^2+\Delta y_f(i,j)^2]^{1/2}, \tag{14}$$

其中：$M\times N$ 表示融合图像的大小，$\Delta x_f(i,j)$ 表示 (i,j) 处像素在 x 方向的梯度，$\Delta y_f(i,j)$ 表示 (i,j) 处像素在 y 方向的梯度。

4 仿真实验

本文采用两组源图像进行仿真实验，图 4 为第一组源图像，是正常情况下拍摄的可见光和长波红外图像；图 6 为第二组源图像，是在烟雾环境下拍摄的可见光和长波红外图像，图 5 和图 7 为用 Waxman 方法和本文提出的方法分别对两组源图像进行融合的结果。

(a)可见光图像 (b)红外图像

(a)Visible light image (b)Infrared image

图 4 第一组源图像

Fig. 4 The first set of source images

(a)Waxman 融合图像 (b)本文方法融合图像

(a)Waxman fusion image (b)Fusion image by proposed method

图 5 第一组源图像融合结果

Fig. 5 Fusion results of the first set of source images

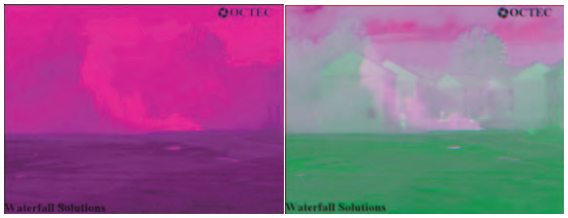
(a)可见光图像 (b)红外图像

(a)Visible light image (b)Infrared image

图 6 第二组源图像

Fig. 6 The second set of source images

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a)Waxman 融合图像
(a)Waxman fusion image

(b)本文融合图像
(b)Fusion image by proposed method

图 7　第二组图像融合结果

Fig. 7　Fusion results of the second set of image

从图 5 融合图像结果看，本文方法得到的融合图像有较好的视觉效果，且较接近自然色彩，目标更加突出，场景的细节信息也比较好，较原 Waxman 方法融合效果有所提升。图 7(a)是 Waxman 方法对图 6 源图像的融合结果，从图中已无法看清被烟雾遮挡的房屋、人物以及着火点。图 7(b)是采用本文提出的融合结构得到的融合结果，可见，不仅保留了可见光图像的背景信息，如房屋、树木、人物和烟雾，而且包含了红外图像的主要信息，如较清晰的目标人物和发热源位置。

两种方法的信息熵、平均梯度及仿真时间如表 1 所示。信息熵和平均梯度越大，说明融合图像中包含的信息越完整，细节越突出。从表 1 可以看出，对于两组红外和可见，本文光源图像，本文方法的信息熵和平均梯度都要优于经典 Waxman 方法。但本文算法的仿真时间略大于 Waxman 算法，可见算法还有待进一步简化以缩小图像融合时间。

表 1　融合结果量化评价

Tab. 1　Quantitative evaluation of fusion results

	Waxman 融合结果		本文融合结果	
	第一组	第二组	第一组	第二组
信息熵	5.847 7	5.950 0	6.162 3	6.205 1
平均梯度	0.007 8	0.006 3	0.011 9	0.009 0
仿真时间/s	2.98	3.01	3.20	3.24

综上所述，无论从从视觉效果看，还是从量化评价指标看，本文感受野融合结构模拟出的响尾蛇视觉成像效果均较好，较符合其捕食活动准确而可靠的特点。

5　结　论

针对经典 Waxman 融合模型得到的伪彩色融合图像目标不够清晰的缺点，本文研究了响尾蛇的视觉成像系统，在此基础上，对 Waxman 结构进行了改进。两组源图像融合实验结果显示，本文方法较 Waxman 结构的信息熵和平均梯度分别高 0.314 6 和 0.004 1；0.255 1 和 0.002 7。证明本文方法效果较好。下一步将对算法进行简化以缩小图像融合时间。

参考文献：

[1]　陈浩，朱娟，刘艳滢，等. 利用脉冲耦合神经网络的图像融合[J]. 光学 精密工程，2010，18(4)：995-1001.
CHEN H，ZHU J，LIU Y Y，*et al*.. Image fusion based on pulse coupled neural network [J]. *Opt. Precision Eng.*，2010，18(4)：995-1001. (in Chinese)

[2]　AGRAWAL J D，SINGHAI J. Multifocus image fusion using modified pulse coupled neural network for improved image quality [J]. *IET Image Processing*，2010，4(6)：443-451.

[3]　YOUNGGI B，JAEWAN C，YOUKYUNG H. An area-based image fusion scheme for the integration of SAR and optical satellite imagery [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*，2013，6(5)：2212-2220.

[4]　XU M，CHEN H，PRAMOD K V. An image fusion approach based on markov random fields [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*，2011，49(12)：5116-5127.

[5]　REN H ZH，LAN Y H，ZHANG Y. Research of multi-focus image fusion based on m-band multi-wavelet transformation [J]. *Fourth International Workshop on Advanced Computational Intelligence*，*Wuhan*，*Hubei*，*China*，2011(10)：395-398.

[6]　倪国强. 基于视觉神经动力学的图像融合与处理技术若干新进展[J]. 激光与红外，2005，35(11)：817-821.
NI G Q. Image fusion technology and its new development [J]. *Laser & Infrared*，2005，35(11)：817-

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

821. (in Chinese)

[7] 邢素霞,常本康,张俊举. 基于红外目标分割的图像融合方法研究[J]. 视频工程与应用,2009,33(11):110-112.
XING S X,CHANG B K,ZHANG J J. Study of fusion method based on infrared object segmentation [J]. *Video Application & Project*, 2009,33(11):110-112. (in Chinese)

[8] 陈少华. 基于红外与可见光图像融合的目标跟踪[D]. 南京:南京航空航天大学,2012.
CHEN SH H. *Target tracking based on infrared and visible image fusion* [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics,2012. (in Chinese)

[9] 荆绍威. 多波段图像仿生假彩色融合技术研究[D]. 太原:中北大学,2009.
JING SH W. *Study of bionic false color fusion of multi-band image* [D]. Taiyuan: North University of China,2009. (in Chinese)

[10] 倪国强. 多波段图像融合算法研究及其新发展Ⅰ[J]. 光电子技术与信息,2001,14(5):11-17.
NI G Q. Study on multi-band image fusion algorithms and its progressing(Ⅰ)[J]. *Optoelectronic Technology & Information*, 2001, 14(5): 11-17. (in Chinese)

[11] 张彬,许廷发,黄光华,等. 基于小波框架的红外/可见光图像融合[J]. 光学技术,2007,32(3):334-336.
ZHANG B, XU T F, HUANG G H, *et al*.. Fusion of infrared and visible images based on wavelet frame [J]. *Optical Technique*, 2007, 32(3): 334-336. (in Chinese)

[12] 倪国强,肖蔓君,秦庆旺,等. 近自然彩色图像融合算法及其实时处理系统的发展[J]. 光学学报,2007,27(12):2101-2109.
NI G Q, XIAO M J, QIN Q W, *et al*.. Development of near natural color image fusion algorithms and real time image fusion system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(12): 2101-2109. (in Chinese)

作者简介:

王 勇(1982—),女,山西太原人,博士,讲师,2004年于吉林大学获得工学学士学位,2010年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得工学博士学位,主要从事数字图像处理,模式识别等方面的研究。E-mail: wang_yong8205@163.com

王宇庆(1979—),男,吉林长春人,博士,副研究员,2002年于吉林大学通信工程学院获得学士学位,2005年于吉林大学信号与信息处理专业获得硕士学位,2008年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所光学工程专业获得博士学位,主要从事图像质量评价、图像增强、图像融合、FPGA设计,群体智能的研究。E-mail: wyq7903@163.com

(版权所有 未经许可 不得转载)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net