

# 相位调制在可见光与红外图像融合中的应用

张雷<sup>1</sup>, 张宇<sup>1</sup>, 王肖霞<sup>2</sup>

(1. 南阳师范学院物理与电子工程学院, 河南 南阳 473061; 2. 中北大学信息与通信工程学院, 山西 太原 030051)

**摘要:**根据实际应用中要求图像融合算法简单有效的要求,提出了相位调制的图像融合算法,首先对可见光图像和红外图像按照通信原理中的相位调制方法进行相位调制,然后通过逆变换得到融合图像,通过实验表明,该算法在图像视觉效果、包含的信息量以及细节信息上都取得很好的效果,融合效果优于小波变换等算法。

**关键词:**图像融合;视觉效果;细节信息;相位调制

**中图分类号:**TP391 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.02.021

## Application of phase modulation in the visible and infrared images fusion algorithm

ZHANG Lei<sup>1</sup>, ZHANG Yu<sup>1</sup>, WANG Xiao-xia<sup>2</sup>

(1. Physics & Electronic Engineering Collage, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, China;

2. School of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** The purpose of this paper is to find a practical and effective fusion method for infrared and visible images. This paper proposes a novel method for fusion of the infrared and the visible images based on phase modulation. Firstly, phase modulation is conducted to the visible and infrared images. Then inverse transformation is made and the fusion image is obtained. Experimental results show that the method discussed above is effective in visual effect, the quantity of information, and the details of information. It also shows that this new method gets a better fusion image than wavelet transform.

**Key words:** image fusion; visual effect; the details of information; phase modulation

### 1 引言

由于红外成像系统和可见光成像系统原理不同,红外传感器对成像场景内的温差敏感,图像精度低且人眼难于识别<sup>[1]</sup>,相反,可见光图像能够提供更多的目标细节,较符合人眼的观察习惯<sup>[2]</sup>,因此可见光图像与红外图像融合算法成为现在图像融合研究的热点。

图像融合算法主要分为三种类型<sup>[3]</sup>:①像素级图像融合;②特征级图像融合;③决策级图像融合。目前融合算法多数属于像素级融合,在像素级图像融合算法中像素加权平均是最简单的融合算法,优点是提高了融合图像的信噪比,算法实现简单,但是造成图像的对比度的下降,而且使图像的边缘变得

模糊。为了克服其缺点,近年来多分辨率图像融合算法得到广泛的研究,1989年, Mallat 提出快速离散小波变换<sup>[4]</sup>,实现了离散小波变换的高效计算,小波分析在时域或频域上都具有良好的局部特性,由于对高频信号采取逐步精细的时域或频域步长,从而可以聚焦到分析对象的任意细节<sup>[5]</sup>,因此小波变换在图像处理中得到广泛的应用。但是小波变换的基不具备各向异性,缺乏方向性的缺点,因此提出了 Contourlet 变换,它是种具有多方向性、多尺度性的

**作者简介:**张雷(1981-),男,讲师,硕士研究生,主要研究方向为红外图像融合,数字信号处理。E-mail: zhanglei000223@163.com

**收稿日期:**2012-07-03; **修订日期:**2012-07-22

多维函数表示方法<sup>[6]</sup>,利用拉普拉斯塔形分解(LP)和方向滤波器组(DFB)实现的一种多分辨的、局部的、多方向的图像表示方法<sup>[7]</sup>,将它应用于图像增强,能更好地保留图像边缘和纹理信息<sup>[6]</sup>,此外还有金字塔算法<sup>[8]</sup>等。多分辨率图像融合算法能够更好的提取图像的细节信息因此取得了比较好的融合效果,但是融合算法比较复杂,计算效率较低<sup>[9]</sup>,根据实际应用的要求,本文提出基于相位调制的可见光和红外图像快速融合算法。

## 2 基于相位调制的融合算法

基于调制的图像融合算法通常分为对比度调制和灰度调制技术,基本原理是将一幅图像做归一化处理,然后将归一化的图像与另一幅图像相乘<sup>[10]</sup>,基于调制的图像融合算法都可以归为无线电中的幅度调制技术,调制技术本质上就是使载波信号随调制信号变化,使载波包含调制信号的信息,这与图像融合目的相同。

在无线电调制技术中除了幅度调制外还有相位调制,与调幅相比,相位调制具有抗干扰能力强的特点。可见光图像细节信息丰富根据调相原理可以将可见光图像作为高频载波,红外图像中目标清晰可以作为调制信号,对调制后的信号求反变换就是融合图像。

调相的数学公式<sup>[11]</sup>:

$$\nu_c = V_{cm} \cos \omega_c t \quad (1)$$

$$\nu_\Omega = V_{\Omega m} \cos \Omega t \quad (2)$$

$$\nu = V_{cm} \cos(\omega_c t + k_f \cos \Omega t) \quad (3)$$

式中, $\nu_c$ 为载波信号; $V_{cm}$ 为载波幅度; $\omega_c$ 为载波角频率; $\nu_\Omega$ 为调制信号; $V_{\Omega m}$ 为调制信号幅度; $\Omega$ 为调制信号角频率; $\nu$ 为调相信号; $k_f$ 为调相指数。

相位调制融合算法过程如下:

(1)将可见光增强图像和红外增强图像归一化如式(4)和式(5):

$$f_b(i, j) = \frac{F_b(i, j) - F_{b\min}}{F_{b\max} - F_{b\min}} \quad (4)$$

$$g(i, j) = \frac{G(i, j) - G_{\min}}{G_{\max} - G_{\min}} \quad (5)$$

式中, $f_b$ 和 $g$ 为归一化后的图像; $F_{b\min}$ 为图像 $F_b$ 最小灰度值; $F_{b\max}$ 为图像 $F_b$ 最大灰度值; $G_{\min}$ 为图像 $G$ 最小灰度值; $G_{\max}$ 为图像 $G$ 最大灰度值。

(2)根据公式(1)和式(2)将归一化后的可见光图像灰度值为载波相位,将归一化后红外图像灰度

值作为调制信号相位,则载波信号和调制信号分别为:

$$\nu_c(i, j) = V_{cm} \cos f_b(i, j) \quad (6)$$

$$\nu_\Omega(i, j) = V_{\Omega m} \cos g(i, j) \quad (7)$$

式中, $V_{cm}$ 和 $V_{\Omega m}$ 分别取1。

(3)根据公式将式(6)和式(7)代入式(3)并作相应修改得:

$$\nu(i, j) = \cos(\alpha * f_b(i, j) + k_f \cos(g(i, j))) \quad (8)$$

式中, $k_f = 1$ , $\alpha$ 作为调整系数取值在(0,1]之间。

(4)融合结果:

反余弦函数的取值范围为 $[0, \pi]$ ,由于 $\alpha * f_b(i, j) + \cos(g(i, j))$ 大于0,因此 $\arccos(\nu(i, j))$ 取值范围在 $[0, \frac{\pi}{2}]$ ,将 $\arccos(\nu(i, j))$ 做归一化处理并转变到 $[0, 255]$ 之间得到融合后的图像,如下式:

$$h(i, j) = |(\arccos(\nu(i, j)) - 1) / \max| * 255 \quad (9)$$

式中, $h(i, j)$ 为融合后的图像; $\max$ 为 $|(\arccos(\nu(i, j)) - 1)|$ 中最大值。

## 3 融合结果分析

为了对比本文算法的有效性,文中还使用小波变换、曲波变换和算数平均的融合算法,其中小波变换和曲波变换融合规则采取低频系数取平均的方法,从视觉效果来看,曲波算法最好,细节信息更丰富,小波算法次之,算数平均算法最差,算数平均融合图像整体图像对比度降低,目标较红外图像中的低,细节信息也较小波变换和曲波变换差。如图1~图4所示。



图1 可见光图像



图2 红外图像



图3 小波融合图像



图4 曲波变换融合图像

本文融合图像同源图像和其他三种算法融合图像相比,整体亮度降低,图像细节信息更加丰富,图像背景更加清晰,树木、栏杆、房屋、道路、植被都比源图像以及其他三种融合算法融合图像相对应的景物都清晰,目标的亮度有所下降,但是同背景的对比度并没有下降,同时算法过程较小波变换和曲波变换简单,因此本文融合算法在图像细节信息、视觉效果和复杂度上都达到了预期效果。如图5、图6所示。



图5 算数平均融合图像



图6 本文融合算法图像

从客观上来讲,对于图像融合质量的评价,现在并没有统一的标准,本文使用图像的均值、方差、熵和平均梯度来评价图像效果。均值衡量图像整体的亮度,方差表示图像的离散程度,熵表示图像的信息量,平均梯度描述图像的细节信息。从表1中可以看到本文算法融合图像的均值最低、方差和熵以及平均梯度最大,因此本文算法符合人的视觉效果,图像灰度值分布更广,图像包含的信息量更大,图像的细节信息更丰富。

表1 图像评价指标

图像	均值	方差	熵	平均梯度
红外图像	120.040	36.257	6.8245	0.094715
可见光图像	129.020	34.103	6.8868	0.083857
小波算法融合图像	169.26	26.778	3.1353	0.080881
曲波算法融合图像	124.11	32.114	3.2415	0.11761
算术平均融合图像	100.33	30.155	2.2755	0.073871
本文算法融合图像	58.511	43.524	7.0428	0.16368

#### 4 结论

本文在分析可见光图像和红外图像特征的基础上,提出了基于相位调制图像融合算法,通过实验表明与源图像相比本文算法融合图像亮度下降更符合人的视觉效果,同小波算法、曲波算法和算数平均算法相比图像动态范围更大,图像信息量更多,图像的细节信息更加丰富,说明本文算法简单有效,达到了预期要求。

#### 参考文献:

- [1] Zhou Yunchuan, He Yongqiang, Li Jitian. Research on dual-band target tracking algorithm based on image fusion [J]. *Laser & Infrared*, 2011, 41(12): 1387 - 1391. (in Chinese)  
周云川, 何永强, 李计添. 基于图像融合的双波段目标跟踪算法研究 [J]. *激光与红外*, 2011, 41(12): 1387 - 1391.
- [2] Zhang Yu, Fu Dongmei, Li Xiaogang, et al. Method of infrared and visible image fusion based on multifeatures [J]. *Laser & Infrared*, 2008, 38(12): 1262 - 1265. (in Chinese)  
张宇, 付冬梅, 李晓刚, 等. 基于多特征的红外与可见光图像融合方法的研究 [J]. *激光与红外*, 2008, 38(12): 1262 - 1265.
- [3] Firouz Abdullah Al-Wassai, N V Kalyankar, Ali A Al-Zuky. Arithmetic and frequency filtering methods of pixel-based image fusion techniques [J]. *Computer Vision and Pattern Recognition (cs. CV)*, July, 2011, 19.
- [4] Mallat S A. Theory for multi-resolution signal decomposition; the wavelet representation [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1989, 11(7): 674 - 693.
- [5] Feng Zhen, Ma Qinshuang. Research on infrared image nonlinear enhancement algorithm based on wavelet analysis [J]. *Laser & Infrared*, 2010, 40(3): 315 - 318. (in Chinese)

- Chinese)
- 冯贞,马齐爽. 基于小波分析的红外图像非线性增强算法[J]. 激光与红外,2010,40(3):315-318.
- [6] Peng Zhou,Zhao Baojun,Novel scheme for infrared image enhancement based on contourlet transform and fuzzy theory[J]. Laser & Infrared,2011,41(6):635-640. (in Chinese)
- 彭洲,赵保军. 基于 Contourlet 变换和模糊理论的红外图像增强算法[J]. 激光与红外,2011,41(6):635-640.
- [7] Yan Jingwen. Beyond wavelets and its applications[M]. Beijing:National Defense Industry Press,2008. (in Chinese)
- 闫敬文. 超小波分析与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
- [8] Tote A. Image fusion by ratio of low-pass pyramid[J]. Patter Recognition Letter,1989,9(4):245-253.
- [9] Li Yufeng,Feng Xiaoyun,et al. A fast multi-sensor image mutual fusion algorithm[J]. Opto-Electronic Eegineering,2011,38(8):117-123. (in Chinese)
- 李郁峰,冯晓云,等. 多传感器图像互调制快速融合[J]. 光电工程,2011,38(8):117-123.
- [10] Jing Zhongliang, Xiao Gang, Li Zhenhua. Image fusion: theory and application[M]. Beijing: Higher Education Press,2007-10-01. (in Chinese)
- 敬忠良,肖刚,李振华. 图像融合:理论与应用[M]. 北京:高等教育出版社,2007-10-01.
- [11] Fan Changxin,et al. Principle of communication[M]. Beijing:National Defense Industry Press,2001,5. (in Chinese)
- 樊昌信,等. 通信原理[M]. 北京:国防工业出版社,2001,5.
-