

一种基于假彩色的像素级多传感器图像融合算法

赵巍,毛士艺

(北京航空航天大学电子信息工程学院 203 教研室,北京 100083)

摘要: 本文给出了一种基于假彩色的像素级多传感器图像融合算法,并将其用于两幅灰度图像的融合中. 这种算法将现有的图像融合技术和彩色显示技术相结合,在灰度融合图像的基础上利用色差来表现原图像与灰度融合图像的细节差异. 该算法分为三步:首先,用选择与平均相结合的方法得到两幅原图像的灰度融合图像;接着,求出灰度融合图像与两幅原图像的差异图像;最后,将两幅差异图像和灰度融合图像分别送至 R、G、B 颜色通道进行显示. 比起灰度融合图像,最终得到的彩色融合图像在色彩上更丰富,包含更多的细节,视觉上更容易辨认.

关键词: 像素级图像融合; 灰度融合图像; 彩色融合图像; 假彩色

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 03-0368-04

A Pixel-Level Multisensor Image Fusion Algorithm Based on False Color

ZHAO Wei, MAO Shi-yi

(Faculty 203, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: A pixel-level multisensor image fusion algorithm based on false color is proposed and used to fuse two gray images. This method combines image fusion technique with color display technique and shows the detail differences between the gray fusion image and original images by different colors after obtaining a gray fusion image. There are three steps in this algorithm. First, a gray-level fusion image of two original images is obtained by the hybrid average and selection fusion technique. Then, two images showing differences between two original images and gray-level fusion image are generated. At last, these two images including differences and the gray-level fusion image are sent to R, G, B color channels respectively. Compared with the gray-level fusion image, the final color fusion image generated by this algorithm has more color variation, more details and the targets in it is easy to be recognized.

Key words: pixel-level image fusion; gray fusion image; color fusion image; false color

1 引言

近年来,各种新型图像传感器的问世使人类可以更全面、更准确地认识物理世界. 利用这些图像传感器,人们可以在各种气候条件下从不同的角度观测同一事物的不同特质,得到不同模式下同一事物的多幅传感器图像. 如何将这些不同模式的传感器图像融合成一幅合成图像,使合成图像包含各幅原图像的所有有用信息,是图像融合技术所要研究的内容.

自问世以来,图像融合技术在军事领域、各民用领域发挥着不容忽视的作用. 在军事领域,以多传感器图像融合技术为核心内容的战场感知技术已成为现代战争中最具影响力的军事高科技. 1998年1月7日《防务系统月刊》电子版报道,美国国防部已授予BTG公司两项合同,其中一项就是美国空军的图像融合设计合同,此系统能给司令部一级的指挥机构和网络提供比较稳定的战场图像. 在医学界,CT、MR和PET图像的融合提高了计算机辅助诊断能力^[1]. 2001年11月25-30日在美国芝加哥召开了每年一度的RSNA北美放射学会年

会,在会议上GE公司医疗系统部展销了其产品Discovery LS. Discovery LS是GE公司于2001年6月刚推出的最新PET/CT,可以完成能量衰减校正、PET与CT的同机图像融合,使检查时间成倍地降低. 在网络安全领域,多尺度图像融合技术可将任意的图像水印添加到载体图像中,以确保信息安全^[2].

2 目前常用的图像融合技术

目前常用的图像融合技术有:加权平均法、彩色空间法、多分辨塔式算法、小波变换法、卡尔曼滤波算法和假彩色法.

加权平均法是一种最简单的多幅图像融合方法,其优点是简单直观,适合实时处理. 但简单的叠加会使合成图像的噪声比降低;当融合图像的灰度差异很大时,就会出现明显的拼接痕迹^[3],不利于人眼识别和后续的目标识别过程.

彩色空间变换法利用彩色空间RGB(红、绿、蓝)模型和HIS(色调、亮度、饱和度)模型各自在显示与定量计算方面的优势,将图像的RGB模型转换成HIS模型,在HIS空间对多幅图像进行融合,再将融合结果反变换回RGB空间进行显

示^[4,5].当融合低分辨的多光谱图像和高分辨的全色图像时,彩色空间变换法会使谱分辨率降低.若将小波变换和彩色空间变换法结合起来就既可保留空间信息又可保留谱信息^[5].

多分辨塔式图像融合算法是现在较为常用的图像融合方法^[6].按照塔式结构形成方法的不同,多分辨塔式图像融合算法可分为高斯拉普拉斯金字塔^[7]、梯度金字塔、比率低通金字塔^[8-10]、形态学金字塔^[11].图像的多分辨塔式表征将图像分解到一系列的频率通道中,减少了融合图像时的拼接痕迹.但在拉普拉斯金字塔中,不同分辨率的细节信息彼此相关.当要融合的多传感器图像差别很大时,这种相关性就容易引起算法的不稳定.而基于正交小波变换的多分辨融合算法就可克服这个缺点.

根据分解形式的不同,基于小波变换的图像融合技术可分为金字塔形小波融合技术^[12]和树状小波融合技术^[13].小波变换的多分辨结构可解决图像灰度特性不同给图像融合带来的困难.正交小波变换去除了两相邻尺度上图像信息差的相关性,所以基于小波变换的图像融合技术能克服拉普拉斯金字塔的不稳定性.在小波分解过程中,由于图像的数据量不变,同时各层的融合可并行进行,所以其计算速度和所需的存储量都要优于拉普拉斯金字塔.

如果把两幅图像上的对应像素点当作是两个传感器在时刻 1 和时刻 2 的测量值,就可利用卡尔曼滤波给出以统计方法得到的最优融合结果^[14].卡尔曼滤波方法实际上是一种加权处理,权值的选择在最小方差意义下是最优的.

Toet 和 Jan Walraven 将假彩色技术用于热成像图像和电视图像的融合中,其基本思想是用色差来增强图像的细节信息^[15].但是,用 Toet 提出的假彩色图像融合算法得到的融合图像反映的并不是事物的真实色彩,所以融合图像的色彩不是很自然.另一种假彩色图像融合算法由 MIT 的 A M Waxman 等人提出^[16],这种算法利用了较为准确的人眼彩色视觉模型,并针对假彩色合成图像的色彩不自然这一缺点,对融合后的颜色进行了重新映射,取得了很好的视觉效果.

3 一种基于假彩色的像素级多传感器图像融合算法

上面给出了各种多传感器图像融合算法,其中大部分算法属于灰度图像融合技术.在一幅灰度图像中,人眼只能同时区分出由黑到白的二十多种灰度级,而人眼对彩色的分辨率可达到几百种甚至上千种.所以,可以将彩色显示技术用到图像融合中,用不同的彩色来显示灰度差,以便增强融合图像的可辨识度.另外,用灰度图像融合技术得到的融合图像与各幅原图像在细节上还存在着一些差异,可以在灰度融合图像的基础上将灰度融合图像、两幅原图像与灰度融合图像的差异送到不同的颜色通道,用不同的彩色表示这些细节上的差异,形成一幅彩色融合图像,这幅彩色融合图像比原图像和灰度融合图像都要包含更多信息.基于上述思想,本文将灰度融合图像和彩色显示技术相结合,提出了一种基于假彩色的像素级多传感器图像融合算法.这种算法先用现有的融合技术得到两幅原图像的一幅灰度融合图像;求出这幅灰度融合图像相

对于两幅原图像的差异,也就是灰度融合图像的独特部分;将这些差异在两幅原图像中进行强调,得到两幅原图像与灰度融合图像的差异图像;将两幅差异图像和灰度融合图像送到不同的彩色通道进行显示,得到最终的彩色融合图像.这个算法的流程如图 1 所示,可分为下面几步:灰度融合图像的合成;差异图像的形成;彩色融合图像的形成.下面分别加以介绍.

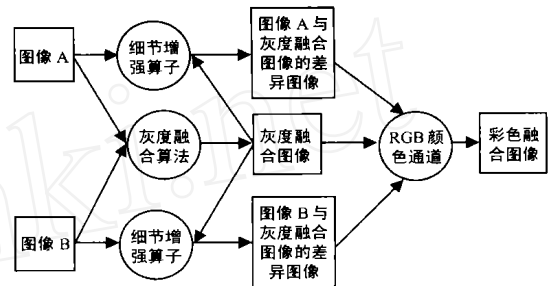


图 1 基于伪彩色的像素级多传感器图像融合算法

3.1 灰度融合图像的合成

根据实际需要,可选用现有的图像融合技术得到一幅灰度融合图像,本文采用选择与平均相结合的方法^[17].这个算法的基本思想是:当两幅图像对应的像素点很相似时,合成图像中的像素点就采用两个像素点的平均值;当两幅图像对应的像素点差异很大时,就选择最显著的那一个像素点作为合成图像的像素点.为了比较像素点的显著性,先定义图像的显著性矩阵.对图像 A 中的某一像素点 $A(i, j)$,可以用其邻域内各像素点强度值平方的加权平均来表示显著性.如果用 $S_A(i, j)$ 表示图像 A 在 (i, j) 点处的显著性,则:

$$S_A(i, j) = \frac{1}{m} \sum_{i, j = -m}^m p(i, j) A^2(i+i, j+j)$$

其中 $p(i, j)$ 表示权值,像素点离 (i, j) 点越近,权值越大.为了衡量两幅图像的相似程度,接着定义图像 A 和 B 的匹配矩阵 M_{AB} :

$$M_{AB}(i, j) = \frac{2 \sum_{i, j = -m}^m p(i, j) \cdot A(i+i, j+j) \cdot B(i+i, j+j)}{S_A(i, j) + S_B(i, j)}$$

匹配矩阵各点的值在 0 和 1 之间变化,接近 0 就说明两幅图的相关程度低,接近 1 就说明相关程度高.因此,我们可选取一个阈值.当匹配矩阵在某一点的值大于阈值时,合成图像在这一点就采用两幅原图像像素点的加权平均值;否则,就选择最显著的那个点.该算法可用下面的数学公式表示:

$$C(i, j) = w_A(i, j) A(i, j) + w_B(i, j) B(i, j)$$

if $M_{AB}(i, j)$

$$w_{\min} = 0, w_{\max} = 1;$$

$$\text{else } w_{\min} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \left[\frac{1 - M_{AB}}{1 - \text{阈值}} \right], w_{\max} = 1 - w_{\min}$$

if $S_A > S_B$

$$w_A = w_{\max}, w_B = w_{\min};$$

else $w_A = w_{\min}, w_B = w_{\max}.$

其中 $C(i, j)$ 表示灰度融合图像中的像素点, 为阈值.

3.2 差异图像的形成

3.1 节中得到的灰度融合图像在细节上与两幅原图像还存在差异,为了尽可能不损失信息,可以将这些细节差异找出来,强调后用不同的颜色表示,得到最终的彩色融合图像.寻找两幅原图像与灰度融合图像之间差异的方法采用 T_{0et} 在文献[15]中提出的算法.首先找出图像 A 与灰度融合图像 C 的共同部分:

$$A \cap C(i, j) = \min\{A(i, j), C(i, j)\}$$

再找出图像 A 与灰度融合图像 C 的独有部分:

$$A^* = A - A \cap C,$$

$$C_A^* = C - A \cap C.$$

然后将 C 的独有部分进行强调,得到图像 A 与灰度融合图像 C 的差异图像:

$$A_{dif} = A - C_A^*.$$

从物理上可以这样解释上式的合理性:通常人眼对局部对比度比较大的像素点较为敏感,也就是对强度较大的像素点敏感;对于某一位置 (i, j) ,如果灰度融合图像中这一位置的对比度大于原图像中这一位置的对比度,就应保留灰度融合图像中这一位置的对比度,降低原图像中这一位置的对比度,也就是减小原图像中这一位置的强度,这样在后面的彩色融合中就能产生更大的色差,以利于识别.对于图像 B 同样可得到 $B \cap C(i, j)$ 、 B^* 、 C_B^* 和 B_{dif} .

3.3 彩色融合图像的形成

将上一节得到的灰度融合图像 C 和两幅差异图像 A_{dif} 、 B_{dif} 分别送到不同的 RGB 通道,就可得到一幅彩色融合图像.至于如何选择颜色通道与图像的对应关系,可根据颜色的冷暖和各传感器的成像模式而定.也可以直接将灰度融合图像和两幅原图像送到彩色通道进行融合,但比起本文给出的算法来说,其产生的色差较小,后者更加有利于人眼的识别.比起灰度融合图像,得到的彩色融合图像用彩色表示了两幅原图像与灰度融合图像之间的差异,丰富了灰度融合图像的信息含量;比起 T_{0et} 提出的算法,本文提出的算法利用灰度融合图像,产生更多的色彩变化,使图像从视觉上更容易辨认.

4 仿真结果

下面给出本文算法的仿真结果.图 2(a)和 2(b)是两幅分辨率为 600×890 的航空照片,256 个灰度级,照片的内容是德国南部 Offenberg 的一个村庄.两幅图片来源于德国 Definiens 公司的演示软件 eCognition.图 3(a)给出了用 3.1 节的算法得到的灰度融合图像.图 4(a)给出了灰度融合图像与图像 2(a)的共同部分,图 4(b)给出了灰度融合图像与图像 2(b)的共同部分.图 5(a)给出了图像 2(a)相对于灰度融合图像的独有部分,图 5(b)给出灰度融合图像相对于图像 2(a)的独有部分.图 6(a)给出了图像 2(b)相对于灰度融合图像的独有部分,图 6(b)给出灰度融合图像相对于图像 2(b)的独有部分.图 7(a)、图 7(b)分别给出了图 2(a)、图 2(b)与灰度融合图像的差异图.图 3(b)是最终的彩色融合图像.从融合结果可以看出,本算法得到的彩色融合图像比起灰度融合图像来说更清晰,更易识别,包含更多的细节.在彩色融合图

像中,可以一眼就分辨出房屋和草地的界限,尤其是对于图像右上角的区域;而在两幅灰度原图像中,要分辨出右上角区域内房屋和草地的界限就比较困难.

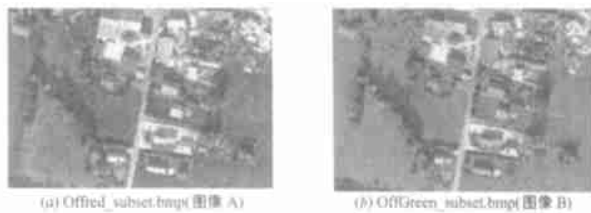


图 2 两幅原图像

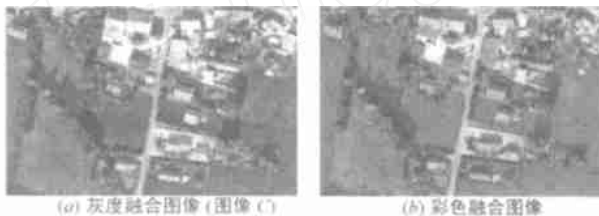


图 3 灰度融合图像和彩色融合图像

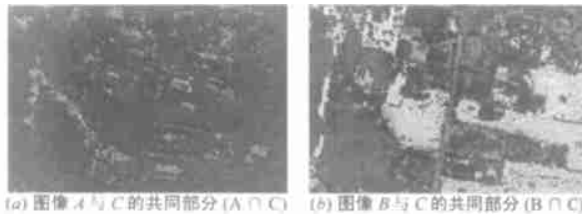


图 4 灰度融合图像与两幅原图像的共同部分

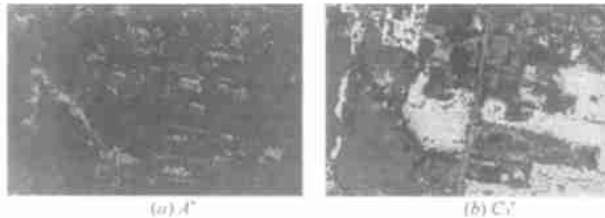


图 5 图 2(a)和灰度融合图像的独有部分

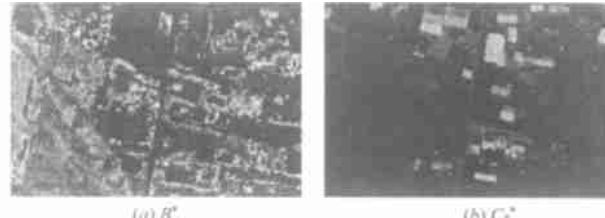


图 6 图 2(b)和灰度融合图像的独有部分



图 7 两幅原图像与灰度融合图像的差异图像

5 结论

本文提出了一种基于假彩色的图像融合算法,这种算法综合了现有的灰度图像融合技术和彩色显示技术.由于本算法用色差来表示原图像与灰度融合图像之间的差异;所以,本文得到的彩色融合图像比灰度融合图像包含更多的信息.同时,人眼对彩色的敏感程度要比灰度大得多;因此,在灰度融合图像的基础上引入彩色显示可使彩色融合图像在视觉上更容易辨认.另外,和 Toet 提出的假彩色算法相比,本文利用了灰度融合图像,在彩色融合图像中产生了更多的色彩变化,这样就相当于增强了图像的细节信息,使图像更易识别.

参考文献:

- [1] Claudia V. Kropas-Hughes. Image fusion using Autoassociative-Heteroassociative neural networks [D]. Ohio: Air University, U S A, 1999.
- [2] 朱晓松,茅耀斌,戴跃伟,王执铨.一种基于 HVS 的小波水印方案[J].南京理工大学学报,2001,25(3):262-268.
- [3] 张加友,王江安.红外图像融合[J].光电子.激光,2000,11(5):537-539.
- [4] 金红,刘榴娣.彩色空间变换法在图像融合中的应用[J].光学技术 July 1997,(4):44-48.
- [5] Jorge Núñez, Xavier Otazu et al. Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition [J]. IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing,1999,37(3):1204-1211.
- [6] Theodore R Meek. Multiresolution image fusion of thematic mapper imagery with syn aperture radar imagery [D]. Utah:Utah State University,U S A,1999.
- [7] Peter J Burt,Edward H Adelson. The Laplacian pyramid as a compact image code [J]. IEEE Trans on Communications,1983,COM-31(4):532-540.
- [8] A Toet. Multiscale Contrast enhancement with applications to image fusion [J]. Optical Engineering,1992,31(5):1026-1031.
- [9] A Toet,L J van Ruyven,J M Valetton. Merging thermal and visual images by a contrast pyramid [J]. Optical Engineering,1989,28(7):789-792.
- [10] 蒲恬,倪国强.应用于图像融合中的多尺度对比调制法[J].北京理工大学学报,2000,20(2):119-223.
- [11] A Toet. A morphological pyramid image decomposition [J]. Pattern Recognition Letters,1989,9(4):255-261.
- [12] 崔岩梅,倪国强,等.一种基于小波变换的多尺度多算子图像融合方法[J].光学技术 July 1999,(4):37-39.
- [13] 李树涛,王耀南.基于树状小波分解的多传感器图像融合[J].红外与毫米波学报,2001,20(3):119-222.
- [14] 蒋晓瑜.基于小波变换和伪彩色方法的多重图像融合算法研究[D].北京:北京理工大学研究生院,1997.
- [15] A Toet,Jan Walraven. New false color mapping for image fusion [J]. Optical Engineering,1996,35(3):650-658.
- [16] David A Fay,et al. Fusion of visible,infrared and 3D LADAR imagery [A]. Proc of the 4th Inter Conf on Information Fusion [M/CD]. Montréal,2001.WEC23.
- [17] P J Burt,R J Kokzynski. Enhanced image capture through fusion [A]. 1993 IEEE 4th Inter. Conf. on Computer Vision [C]. Berlin:IEEE,ICCV,1993.173-182.

作者简介:



赵 巍 女,1972年6月出生于陕西省西安市,1994年获西北工业大学电气技术专业学士学位,1997年获西北工业大学电力传动及其自动化专业硕士学位,2000年获西北工业大学控制理论和控制工程专业博士学位,现为北京航空航天大学电子信息工程学院博士后,主要研究领域为:图像处理、数据融合、图像融合、多尺度系统理论.

毛士艺 男,1935年生于浙江省,北京航空航天大学电子信息工程学院教授,博士生导师,中国电子学会(CIE)会士,主要研究领域为:高分辨率雷达成像、信号建模与谱分析、信号检测与分类、多目标跟踪与数据融合等.