

评价多传感器图像融合效果方法的比较 *

王海晖,彭嘉雄,吴 巍

(华中科技大学 图像识别与人工智能研究所,
图像信息处理与智能控制教育部重点试验室,湖北 武汉 430074)

摘 要:为了选择一种在复杂条件下能与主观评价图像融合方法取得一致效果的客观评价方法,对一些方法进行了比较。通过量度融合图像与源图像的交互信息,评价多传感器图像的融合效果具有简单、准确、抗干扰性好的特点。通过红外图像与可见光图像融合的实验,将交互信息量的评价方法与其他评价方法相比较,结果表明,交互信息量是一种很好的评价指标。

关键词:图像融合; 评价准则; 融合性能; 交互信息量

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)02-0189-05

Comparison of the methods of evaluating the performance of multi-sensor image fusion *

WANG Hai-hui, PENG Jia-xiong, WU Wei

(State Key Laboratory for Image Processing and Intelligent Control,
Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science & Technology,
Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to choose an objective evaluation criterion which is always consistent with the subject evaluation criteria in the complicated conditions, some criteria are analyzed and compared in this paper. Through calculating the mutual information between source images and fused images, the fusion performance are evaluated. This method has the characters of simple, precise and anti-jamming. Furthermore, infrared image and visible image are merged. Compared with other evaluation criteria methods, the experimental results show that mutual information is better.

Key words: Image fusion; Evaluation criterion; Fusion performance; Mutual information

收稿日期:2003-05-14; 修订日期:2003-06-26

基金项目:精确制导与自动目标识别国防科技重点实验室基金资助项目(51483040103JW0515)

作者简介:王海晖(1969-),男,河北石家庄人,博士,主要研究方向为图像处理、模式识别和图像融合,已在国内外刊物和会议上发表论文多篇。

0 引言

多传感器图像融合是将多源信道所采集的关于同一目标的图像经过一定的处理,提取各自信道的信息,消除多传感器信息之间存在的冗余并加以互补,最后综合成统一图像,以便更好地进行监视和侦察之类的视觉感知^[1]。

在目前多传感器图像的融合研究中,已经使用了很多的融合方法。对同一对象,不同的融合方法可以得到不同的融合效果,即不同的融合图像。如何评价融合效果,即如何评价融合图像的质量,是图像融合的一个重要步骤,但目前还缺乏一种对融合效果进行系统、全面的评价方法。目前的融合效果评价中,主要有主观评价法和客观评价法。主观评价法是由判读人员直接对图像的质量进行评估,这种方法的主观性比较强。由于主观评定方法不全面,带有一定片面性,而且也经不起重复检查,因为当观测条件发生变化时,评定的结果有可能产生差异。主观评定法具有简单、直观的优点,对明显的图像信息可以进行快捷、方便的评价^[2]。通过对图像上的田地边界、道路、居民地轮廓、机场跑道边缘的比较,可直观地得到图像在空间分解力、清晰度等方面的差异。所以当融合图像之间差异比较明显时,主观评定方法可以快速地得出准确的评判结果,而当融合图像之间的差异较小时,主观评定方法则往往不能给出一个准确的判定,因此提出了一些不受人为影响的客观评价方法。

目前通常采用的客观评价法主要分为三大类:

(1) 只需要通过计算单幅图像(源图像和融合图像)的熵、平均梯度、标准差等来评价图像融合前后的变化、融合图像的质量好坏和融合方法的优劣。

(2) 通过计算融合图像与标准参考图像的相互关系来评判,主要有计算融合图像的均方根误差、信噪比和峰值信噪比等。但在实际应用中很难得到标准参考图像,所以这类方法在实际应用中很难实现。

(3) 根据融合图像与源图像关系来评定的方法,目前主要是通过计算它们之间的联合熵、偏差与相对偏差、交互信息量等参数来评价融合效果。

通过实际应用对这些评价参数进行比较,从中选择出容易与主观评价方法取得一致的、简单实用的、

具有较强抗干扰性和鲁棒性的客观评价参数来评价图像融合的效果。

1 客观评价方法

设经过严格配准的源图像为 A 和 B , 其图像函数分别为 $A(x, y)$ 、 $B(x, y)$ 。图像 A 和 B 具有相同的灰度级(假设都是 256 级灰度图像), 设图像的总的灰度级为 L 。由源图像经过融合得到的融合图像为 F , 其图像函数为 $F(x, y)$ 。所有图像的大小都是一样的。设图像的行数和列数分别为 M 和 N , 则图像的大小为 $M \times N$ 。

1.1 信息熵 E

图像的熵值是衡量图像信息丰富程度的一个重要指标,熵值的大小表示图像所包含的平均信息量的多少。对于一幅单独的图像,可以认为其各像素的灰度值是相互独立的样本,则这幅图像的灰度分布为 $p = \{p_0, p_1, \dots, p_i, \dots, p_{L-1}\}$ 。 p_i 为灰度值等于 i 的像素数与图像总像素数之比; L 为图像的总的灰度级。融合前后的图像其信息量必然会发生变化,计算信息熵可以客观地评价图像在融合前后信息量的变化。根据 Shannon 信息论的原理,一幅图像的信息熵为:

$$E = - \sum_{i=0}^{L-1} p_i \log_2 p_i \quad (\text{bit}) \quad (1)$$

如果融合图像的熵越大,可以认为融合图像的信息量增加,融合图像所含的信息越丰富,融合质量越好。

1.2 平均梯度 \overline{G}

平均梯度可敏感地反映图像对微小细节反差表达的能力,可用来评价图像的清晰程度,同时还反映出图像中微小细节反差和纹理变换特征^[3]。其计算公式为:

$$\overline{G} = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \sqrt{\left[\frac{\partial Z(x_i, y_j)}{\partial x_i} \right]^2 + \left[\frac{\partial Z(x_i, y_j)}{\partial y_j} \right]^2} / 2 \quad (2)$$

通常, \overline{G} 越大,图像层次越多,表示图像越清晰。因此可以用来评价融合图像在微小细节表达能力上的差异。

1.3 标准差 σ

标准差反映了图像灰度相对于灰度平均值的离散情况,在某种程度上,标准差也可用来评价图像反差的的大小。若标准差大,则图像灰度级分布分散,图像的反差大,可以看出更多的信息。标准差小,图像反差小,对比度不大,色调单一均匀,看不出太多的信息。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F(x_i, y_j) - \bar{f})^2} \quad (3)$$

式中 \bar{f} 为融合图像灰度的均值。

1.4 交互信息量 MI

评价图像融合效果的一个重要指标是看融合图像从源图像中获得了多少信息。交互信息量是信息论中的一个重要概念,可作为两个变量之间相关性的量度,或一个变量包含另一个变量的信息量的量度。

设有两个随机变量 X 和 Y , 边缘概率分布分别为 $p_X(x)$ 和 $p_Y(y)$, 联合概率密度为 $p_{XY}(x, y)$ 。按照信息论的有关概念,这两个随机变量之间的交互信息量 MI 为:

$$MI_{XY}(x, y) = \sum_{x,y} p_{XY}(x, y) \log \frac{p_{XY}(x, y)}{p_X(x) p_Y(y)} \quad (4)$$

可以将图像看作是二维随机变量,上面的概念可以很容易地推广到二维空间。 $p_A(a)$ 和 $p_B(b)$ 就是源图像的概率密度,融合图像 F 的概率密度为 $p_F(f)$ 。概率密度可以很方便地由图像的直方图除以图像的总像素个数得到。图像 A 和 B 的联合概率密度为 $p_{AB}(a, b)$, 它是在求出图像 A 和 B 联合灰度直方图的基础上,除以图像总的像素个数而得到的。

F 与 A 、 B 的交互信息量分别表示为 MI_{FA} 和 MI_{FB} ,

$$MI_{FA} = \sum_{f=0}^{L-1} \sum_{a=0}^{L-1} p_{FA}(f, a) \log_2 \frac{p_{FA}(f, a)}{p_F(f) p_A(a)} \quad (5)$$

$$MI_{FB} = \sum_{f=0}^{L-1} \sum_{b=0}^{L-1} p_{FB}(f, b) \log_2 \frac{p_{FB}(f, b)}{p_F(f) p_B(b)} \quad (6)$$

式中 $p_{FA}(f, a)$ 和 $p_{FB}(f, b)$ 分别代表融合图像 F 与源图像 A , 以及融合图像 F 与源图像 B 的联合概率密度。综合考虑这两个数值量,取:

$$MI_F^{AB} = MI_{FA} + MI_{FB} \quad (7)$$

以此来表示融合图像 F 包含源图像 A 和 B 的交互信息量总和。

交互信息量是反应融合效果的一种客观指标,它的值越大,表示融合图像从源图像中获取的信息越丰富,融合效果越好。它可以更准确地评价融合效果的优劣。

1.5 联合熵 UE

联合熵也是信息论中的一个重要概念,它可以作为两幅图像之间相关性的量度,也反映了两幅图像之间的联合信息。定义图像 F 和 A 的联合熵为:

$$UE_{FA} = - \sum_{f=0}^{L-1} \sum_{a=0}^{L-1} p_{FA}(f, a) \log_2 p_{FA}(f, a) \quad (8)$$

式中 $p_{FA}(f, a)$ 代表融合图像 F 与源图像 A 的联合概率密度。融合图像与源图像联合熵的值越大,则图像所包含的信息越丰富,因此可以用它来评价融合图像信息增加程度。如果要综合考虑两幅源图像 A 、 B 和融合图像 F 联合熵,令 UE_F^{AB} 表示总的联合熵:

$$UE_F^{AB} = UE_{FA} + UE_{FB} \quad (9)$$

1.6 偏差 D 与相对偏差 RD

偏差 D 是指融合图像 F 像素灰度平均值与源图像 A 像素灰度平均值之差,也可以说是融合图像与源图像的差值图像的灰度平均值。表达式为:

$$D_F^A = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |F(x_i, y_j) - A(x_i, y_j)| \quad (10)$$

它也被称为图像光谱扭曲值,反映融合图像和源图像在光谱信息上的差异大小和光谱特性变化的平均程度^[4],值越小表明差异越小,理想的情况下, $D = 0$ 。此外,在多传感器图像应用中,还可以用它来反映每一个地物覆盖类型融合后的光谱变异程度。

综合考虑融合图像 F 与源图像 A 、 B 的偏差 D_F^{AB} ,可以取:

$$D_F^{AB} = (D_F^A + D_F^B) / 2 \quad (11)$$

相对偏差 RD 是融合图像各个像素灰度值与源图像相应像素灰度值差绝对值同源图像相应像素灰度之比的平均值,其表达式为:

$$RD_F^A = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{|F(x_i, y_j) - A(x_i, y_j)|}{A(x_i, y_j)} \quad (12)$$

相对偏差值的大小表示融合图像与源图像平均灰度值的相对差异,用来反映融合图像与源图像在光谱信息上的匹配程度和将源高分辨率图像的细节传递给融合图像的能力。

综合考虑融合图像 F 与源图像 A 、 B 的相对偏差 RD_F^{AB} ,可以取:

$$RD_F^{AB} = (RD_F^A + RD_F^B) / 2 \quad (13)$$

2 实验分析

为了比较验证上述客观评价方法,进行了大量的实验。其中的一组实验结果如图 1 所示。图 1(a)和 (b)是由不同传感器得到的同一地区的源图像。图 1(a)是可见光图像,其分辨率为 1 m,图 1(b)是红外图

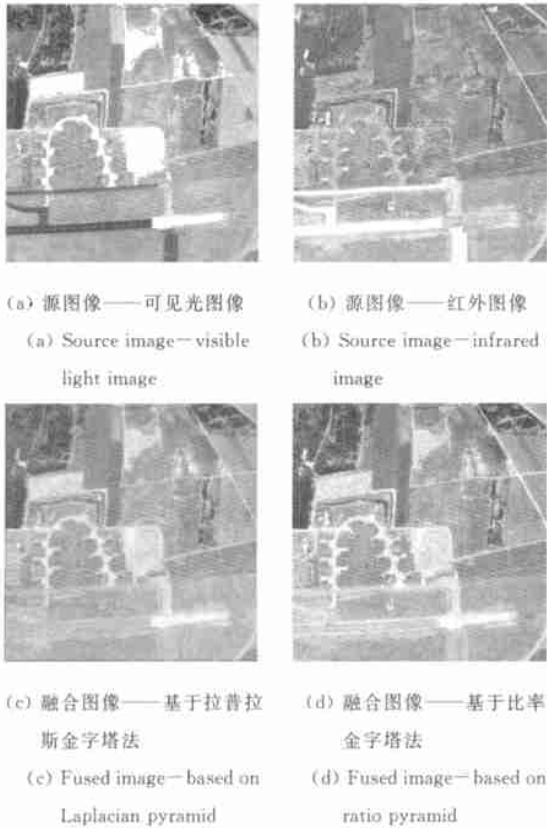


图 1 源图像及融合图像

Fig. 1 Source images and fused images

像,其分辨率为 5 m。这两幅源图像都是 256 级灰度,经过空间完全对准后^[5],其图像大小均为 256 × 256 像素。从图像上可以看出由于它们的成像机理和分辨率不同,所以两幅源图像的反差很大。采用不同的融合方法得到的融合图像为图 1(c)和图 1(d)。其中图 1(c)是采用了基于拉普拉斯金字塔的融合方法得到的融合图像^[6],图 1(d)是采用了基于比率金字塔的融合方法得到的融合图像^[7]。

从主观角度比较融合图像可以看出,图 1(d)的融合效果要明显好于图 1(c)。说明这种方法不仅能够完好地显示源图像各自的信息,而且将源图像的细节很好地融合在了一起。

假设在图像融合的过程中,由于融合方法选择不当而引入了噪声,从而得到了另外的一幅融合图像,即图 2。在实验中通过给图 1(c)中添加噪声(添加均值为 0,方差为 0.01 的高斯噪声)而得到图 2。可以明显地看出,图 2 的质量很差,它的融合效果要远劣于图 1(c)和图 1(d),从中得不到多少有用的信息。

各个融合图像的客观评价参数的计算结果如表 1 所示。



图 2 图 1(c)添加了高斯噪声后的融合图

Fig. 2 Fused image by appending gaussian noise to Fig. 1 (c)

表 1 融合图像客观评价参数的计算结果

Tab. 1 Calculated results of object evaluation parameter of the fused images

Calculated results	Fused images		
	Fig. 1(c)	Fig. 1(d)	Fig. 2
Information entropy E	6.897	7.209	7.408
Average gradient G	6.201	11.071	20.362
Standard deviation σ	31.199	38.452	41.443
Mutual information MI_F^{AB}	2.585	2.759	1.454
United entropy UE_F^{AB}	25.353	25.887	27.455
Difference D_F^{AB}	21.085	22.469	30.443
Relative difference RD_F^{AB}	0.164	0.1746	0.241

从表1的计算结果可以看出,当融合过程中没有引入噪声、融合方法运用得当的时候,图1(d)的信息熵、平均梯度、标准差、交互信息量和联合熵等指标都要优于图1(c),这与主观评定的结果是一致的,说明融合图1(d)从源图像中获取的信息最丰富。但图1(d)的偏差和相对偏差指标却低于图1(c),与实际情况不符,说明这两个评价指标判断有误。

但从表1中也可以看出,图2的信息熵、平均梯度、标准差和联合熵等指标却要高于图1(c),甚至高于图1(d),说明这几个评价指标在图像中引入噪声后判断失误,对噪声的抗干扰性很差。图2的偏差和相对偏差指标准确地判断出了噪声对融合图像的影响。

在实验中,可以看出只有交互信息量这个指标的判定结果始终与主观判定的结果保持一致。图1(d)的交互信息量要大于图1(c),而图2的交互信息量却远小于图1(c)和图1(d)。这就说明交互信息量可以正确地评价融合效果,同时具有抗干扰的性质。

3 结论

交互信息量是通过衡量融合图像与源图像的交互信息来评价图像融合效果的,具有很强的抗干扰性

和鲁棒性。由于它不需要源图像的先验知识,也不用对图像进行预处理以及定义其他的参数,因此它还是一种简单、实用的评价方法。

参考文献:

- [1] 陈勇,皮德富,周士源,等. 基于小波变换的红外图像融合技术研究[J]. 红外与激光工程,2001,30(1): 15-17.
- [2] 贾永红,李德仁. SAR与TM影像的HIS变换复合及其质量定量评价[J]. 国土资源遥感,1997,32(3): 34-39.
- [3] 王昱. 数字遥感影像构像质量评价方法初探[J]. 遥感信息,2000,15(4): 32-33.
- [4] 江东,王钰,王建华,等. 多源图像信息融合的理论和技术[J]. 甘肃科学学报,2002,14(1): 41-45.
- [5] 王海晖,彭嘉雄,吴巍. 一种多传感器遥感图像的配准方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2002,30(8): 1-3.
- [6] Burt P J, Adelson E H. The laplacian pyramid as a compact image code[J]. IEEE Transactions on Communications, 1983, 31(4): 532-540.
- [7] Toet A. Hierarchical image fusion[J]. Machine Vision and Applications, 1990, 3(2): 1-11.

(上接第180页)

对于图3(c)、4(c),虽然提出的图像分割方法中适应度函数仍然采用Ostu评价准则,但是由于免疫遗传算法的入侵抗原为区域图像,从而增大了目标相对于待分割图像的面积比例,并且解决了遗传算法未成熟收敛的问题,所以分割效果较为理想。

4 结论

提出了基于免疫遗传算法的图像分割新方法。该方法通过将生物免疫系统与遗传算法相结合,有效避免了遗传算法未成熟收敛的缺陷。实验结果表明这种方法与其他分割方法相比,具有目标面积及数量限制小、分割效果理想等优点,是一种有效的图像分割新方法。如何进一步增强算法对复杂多峰值图像的分割效果,减少运算开销及提高运算速度等问题都

有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 王爱民,沈兰荪. 图像分割研究综述[J]. 测控技术,2000,19(5): 1-6.
- [2] Lee S U, Chung S Y, Park R H. A comparative performance study of several global threshold techniques for segmentation. Computer Vision[J]. Graphics and Image Processing, 1990, 52(2): 171-190.
- [3] 漆安慎,杜婵英. 免疫的非线性模型[M]. 上海:上海科技教育出版社,1998.
- [4] 郭英凯,杨杰,陆正刚. 基于模糊和遗传算法的阈值分割方法[J]. 红外与激光工程,2000,29(5): 15-18.
- [5] 刘克胜,曹先彬,郑浩然,等. 基于免疫算法的TSP问题求解[J]. 计算机工程,2000,26(1): 1-2.