一种基于多尺度边缘的图像融合算法

李小娟 赵 巍

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083)

摘 要: 给出了一种只利用源图像多尺度边缘点进行融合的图像融合算法. 该算法分为三步:首先,对源图像进行多尺度边缘检测;其次,采用边缘相关性最大的融合准则对源图像的多尺度边缘进行融合,得到融合图像的多尺度边缘;最后,由融合图像的多尺度边缘重构出融合图像. 该算法融合过程中计算量小,融合图像中最大程度地保留了源图像的边缘信息,在一定程度上对融合图像进行了压缩,从而减小了数据存储所占用的资源以及数据传输占用的带宽. 仿真结果表明,用该算法得到的融合图像能有效包含源图像的信息.

关 键 词: 图像融合; 小波变换; 多尺度边缘; 边缘相关性

中图分类号: TP 391.4

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2007)02-0229-04

Image fusion algorithm based on multiscale edges

Li Xiaojuan Zhao Wei

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: An image fusion algorithm just using multiscale edges of original images was proposed. There are three steps in this algorithm. Firstly, multiscale edges of the original images were detected. Secondly, these multiscale edges were fused to get the fusion image's multiscale edges according to the fusion rule, maximizing edge correlation between the fusion image and original images. At last, the fusion image was reconstructed from its multiscale edges. The algorithm using only multiscale edges reduced the computation complexity in the fusion process. The fusion rule enabled the fusion image to hold as much as edge information of original images. Furthermore, the algorithm could compress data even without using any compression coding method, which reduced memory cost and decreased data transfer bandwidth. The experimental results demonstrate that fusion images generated by this algorithm contain the information of original images effectively.

Key words: image fusion; wavelet transform; multiscale edges; edge correlation

图像融合是多传感器信息融合中可视部分的融合,实际上就是将两幅或两幅以上的源图像或者它们的特征按照一定的规则进行合并形成一幅新图像的过程. 新图像比任一幅源图像包含的信息丰富,对目标的表征更为精确,可以提高目标检测和目标识别的可靠性,有利于人眼识别和机器视觉. 自问世以来,图像融合技术在军事领域和民用领域都发挥着重要的作用.

在一幅图像中,图像的边缘是信息量最为丰富的部分. 实践证明,人的视觉系统首先在视网膜上实现边界线的提取,然后再把所得的视觉信息提供给大脑,因此对于一幅图像来说,最重要的可视信息就是边缘信息. 文献[1]用小波理论对边缘的特性进行了研究,提出了一种多尺度边缘检测方法,并用实验证明,只利用图像的多尺度边缘就可以重构出源图像的近似图像,近似图像和源图像在视觉上没有差异. 多尺度边缘的这个特点使得可以将对源图像的处理转化为对多尺度边缘的

收稿日期: 2006-03-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60502019)

作者简介: 李小娟(1980—),女,河南正阳人,硕士生, juanjuanxiaoli@163.com.

处理,从而应用到图像处理的很多方面,例如用于图像压缩和去噪等.

只利用多尺度边缘点进行图像融合的概念最早由 Nikolov 等[2]提出,本文提出了一种新的基于多尺度边缘的图像融合算法,仿真结果表明,尽管只使用了源图像的多尺度边缘点,该算法仍然可以得到很好的融合效果.该算法的主要优点是:①由于该算法只对多尺度边缘点进行融合,从而使得融合过程的计算量减小;②该算法采用了适用于边缘的融合准则,即边缘相关性最大化,该准则使得源图像的边缘信息最大程度地保留在融合图像中;③由于融合得到的只是融合图像的多尺度边缘点,在不采用任何压缩编码算法的情况下,该算法压缩了数据量,从而减小了数据存储所占用的资源,使得传输融合图像时占用的带宽减小.在带宽有限的环境下(例如战场环境下),可以充分体现该算法的优越性.

1 多尺度边缘检测

边缘是指图像上灰度不连续的点,或者灰度急剧变化的像素集合.文献[1]提出的边缘检测方法将多尺度边缘和小波变换联系起来,即多尺度边缘点等效于离散二进小波变换的局部极大模值点.为了方便,本文中用 $\boldsymbol{v}=(x,\ y)$ 表示像素位置,下面对该边缘检测算法进行介绍.

样条小波 $\psi^1(\boldsymbol{v})$ 和 $\psi^2(\boldsymbol{v})$ 是二维光滑函数 $\theta(\boldsymbol{v})$ 的偏导数,设图像 $I(\boldsymbol{v})\in L^2(R^2)$,则其在尺度 2^j $(1\leqslant j\leqslant J,J$ 为最粗尺度)上的二维小波变换为

$$\begin{pmatrix}W_{2^j}^1(\boldsymbol{v})\\W_{2^j}^2(\boldsymbol{v})\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}I*\ \psi_{2^j}^1(\boldsymbol{v})\\I*\ \psi_{2^j}^2(\boldsymbol{v})\end{pmatrix}=2^j\ \nabla(I*\theta_{2^j})(\boldsymbol{v}) \tag{1}$$

图像 $I(\boldsymbol{v})$ 的梯度为

$$\nabla_{2^j}I(\boldsymbol{v})=\begin{pmatrix}W_{2^j}^1I(\boldsymbol{v})\\W_{2^j}^2I(\boldsymbol{v})\end{pmatrix} \tag{2}$$

梯度的幅值为

$$M_{2^j}I(\boldsymbol{v})=\sqrt{\left(W_{2^j}^1I(\boldsymbol{v})\right)^2+\left(W_{2^j}^2I(\boldsymbol{v})\right)^2} \tag{3}$$

梯度的相位

$$P_{2^j}I(\boldsymbol{v})=\arctan\left(\frac{W_{2^j}^2I(\boldsymbol{v})}{W_{2^j}^1I(\boldsymbol{v})}\right) \tag{4}$$

对图像 $I(\boldsymbol{v})$ 作 J 层小波分解,可以得到

$$\left\{S_{2^j}I,\left(W_{2^j}^1I\right)_{1\leqslant j\leqslant J},\left(W_{2^j}^2I\right)_{1\leqslant j\leqslant J}\right\} \tag{5}$$

其中,$S_{2^j}I$ 是图像 I 在最粗尺度上的近似分量,其各点像素值相同而且等于图像 I 所有像素点的均值.

图像 I 中某一点 $\boldsymbol{v}_0$,如果它梯度的幅值 $M_{2^j}I(\boldsymbol{v}_0)$ 在其梯度方向 $P_{2^j}I(\boldsymbol{v}_0)$ 上是局部极大值,则该点就是图像 I 在尺度 2^j 上的多尺度边缘点.图像 I 在尺度 2^j 上的所有边缘点可以表示为

$$E_{2^j}I=\left\{\boldsymbol{v};\nabla_{2^j}I(\boldsymbol{v})\right\} \tag{6}$$

则图像 $I(x,y)$ 的多尺度边缘表示为

$$M_{\text{edge}}(I)=\left\{S_{2^j}I,\left(E_{2^j}I\right)_{1\leqslant j\leqslant J}\right\} \tag{7}$$

文献[1]用实验表明由一幅图像的多尺度边缘可以重构出该图像的近似图像,该近似图像和源图像相比,视觉上没有失真.

2 融合算法

本文给出的融合算法由 4 部分组成:计算源图像的多尺度边缘表示;融合近似分量;融合多尺度边缘点的细节分量;由融合图像的多尺度边缘重构出融合图像.假设 A 和 B 是已经配准的两幅源图像,F 是融合后的图像,下面对该算法的各个部分分别加以介绍.

2.1 计算源图像的多尺度边缘表示

根据第 1 节描述的方法,分别求出两幅源图像的多尺度边缘表示 $M_{\text{edge}}(A)$ 和 $M_{\text{edge}}(B)$.

2.2 融合近似分量

由于源图像在最粗尺度上的近似分量是一个单值图像,所以它只会影响融合图像的亮度,因此,本文采取平均的方法对源图像的近似分量进行融合.

2.3 融合多尺度边缘点的细节分量

在融合多尺度边缘点的细节分量时,本文所采用的融合规则是使融合图像和源图像的边缘相关性最大,实际上就是使源图像的边缘信息在融合图像中的保留量最大.边缘相关性一般被用作融合图像质量的评价方法,是 Xydeas 等[3]首先提出的,由于这种评价准则是从与人眼密切相关的边缘信息出发定义的,所以其对融合质量的评价和视觉上的评价是一致的.本文的融合规则就是基于这种评价准则的思想定义的,这和以往先融合再评价的融合算法思路不同.

对两幅源图像的多尺度边缘进行融合,实际上是对对应边缘点的细节分量即小波系数进行加权求和的过程,即

$$W_{2^j}^1F(\boldsymbol{v})=\alpha(\boldsymbol{v})\ W_{2^j}^1A(\boldsymbol{v})+(1-\alpha(\boldsymbol{v}))\ W_{2^j}^1B(\boldsymbol{v}) \tag{8}$$

$$W_{2^j}^2F(\boldsymbol{v})=\beta(\boldsymbol{v})\ W_{2^j}^2A(\boldsymbol{v})+(1-\beta(\boldsymbol{v}))\ W_{2^j}^2B(\boldsymbol{v}) \tag{9}$$

其中 $\alpha(\boldsymbol{v})$,$\beta(\boldsymbol{v})$ 是权值,均在 0~1 之间变化.只要

求出 $\alpha(\boldsymbol{v})$,$\beta(\boldsymbol{v})$,就可以得到融合图像的多尺度边缘点的小波系数. 下面的部分给出如何求得最优的权值 $\alpha(\boldsymbol{v})$,$\beta(\boldsymbol{v})$,使源图像的边缘信息在融合图像中得到最大程度的保留.

假设$R_{2^j}^{AF}$和$R_{2^j}^{BF}$分别表示图像 A,B 在尺度 2^j 上的边缘在融合图像中的保留程度,即保留值. 以图像 A 为例说明如何计算边缘信息保留值. 在尺度 2^j 上,边缘点 $A(\boldsymbol{v})$和融合图像中点 $F(\boldsymbol{v})$的相对强度和相对方向分别为

$$M_{2^j}^{AF}(\boldsymbol{v})=\begin{cases}\dfrac{M_{2^j}F(\boldsymbol{v})}{M_{2^j}A(\boldsymbol{v})} & M_{2^j}A(\boldsymbol{v})>M_{2^j}F(\boldsymbol{v})\\ \dfrac{M_{2^j}A(\boldsymbol{v})}{M_{2^j}F(\boldsymbol{v})} & M_{2^j}A(\boldsymbol{v})\leqslant M_{2^j}F(\boldsymbol{v})\end{cases} \tag{10}$$

$$P_{2^j}^{AF}(\boldsymbol{v})=\frac{|\pi/2-|P_{2^j}A(\boldsymbol{v})-P_{2^j}F(\boldsymbol{v})||}{\pi/2} \tag{11}$$

将相对强度和相对方向分别通过非线性函数转换为边缘强度和方向的保留值

$$R_{\mathrm{mod}}^{AF}(\boldsymbol{v})=\frac{\Gamma_{\mathrm{mod}}}{1+\exp\left(K_{\mathrm{mod}}\cdot\left(M_{2^j}^{AF}(\boldsymbol{v})-\sigma_{\mathrm{mod}}\right)\right)} \tag{12}$$

$$R_{\mathrm{phase}}^{AF}(\boldsymbol{v})=\frac{\Gamma_{\mathrm{phase}}}{1+\exp\left(K_{\mathrm{phase}}\cdot\left(P_{2^j}^{AF}(\boldsymbol{v})-\sigma_{\mathrm{phase}}\right)\right)} \tag{13}$$

其中,Γ_{mod},K_{mod},σ_{mod},Γ_{phase},K_{phase},σ_{phase}是常量,它们决定了非线性函数的形状.

边缘信息的保留值被定义为

$$R_{2^j}^{AF}(\boldsymbol{v})=R_{\mathrm{mod}}^{AF}(\boldsymbol{v})\cdot R_{\mathrm{phase}}^{AF}(\boldsymbol{v}) \tag{14}$$

$R_{2^j}^{AF}(\boldsymbol{v})$取值在 0～1 之间,极限情况下,0 表示在尺度 2^j 上,源图像 A 像素点 $\boldsymbol{v}$ 处的信息丝毫没有保留在融合图像 F 中;相反地,当$R_{2^j}^{AF}(\boldsymbol{v})=1$ 时,表示在尺度 2^j 上,源图像 A 在像素点 $\boldsymbol{v}$ 的信息毫无损失地保留在融合图像 F 中.

对两幅源图像边缘信息的保留值进行加权,可得到

$$R_{2^j}(\boldsymbol{v})=R_{2^j}^{AF}(\boldsymbol{v})M_{2^j}A(\boldsymbol{v})+R_{2^j}^{BF}(\boldsymbol{v})M_{2^j}B(\boldsymbol{v}) \tag{15}$$

上式中用边缘幅度作为权值是因为边缘幅度反应了图像在该处灰度变化的剧烈程度,从而使$R_{2^j}(\boldsymbol{v})$可以有效地衡量融合图像的边缘和两幅源图像边缘的相关性.

将式(8)和式(9)中的 $\alpha(\boldsymbol{v})$,$\beta(\boldsymbol{v})$分别在0～1之间变化,$R_{2^j}(\boldsymbol{v})$达到最大时的 $\alpha(\boldsymbol{v})$,$\beta(\boldsymbol{v})$值作为该点实际融合时的权值,也即是最优的权值. 求出每一个多尺度边缘点的最优权值后,就可以得到融合图像的所有多尺度边缘点的小波系数. 该方法使得融合图像的边缘和源图像的边缘相关性达到最大.

2.4　由融合图像的多尺度边缘重构出融合图像

图像的多尺度边缘点就是图像的小波变换模极大值点,由图像的多尺度边缘点重构出源图像的近似图像的过程,就是找出一个图像,使它的小波变换模极大值点的位置、模值和相位都与源图像的相同[1].

3　仿真结果

下面给出一组实验的仿真结果. 图 1 和图 2 分别是同一场景的蓝光通道图像和红光通道图像,大小均为 256 像素×256 像素. 河流以及一些纹理在红光通道中表现清晰,而建筑物、公路等特征信息在蓝光通道中很好体现. 图 3 是本文算法的融合结果. 由图可见,建筑物、公路、河流及纹理信息都很好地存在于融合图像中.



图 1　蓝光通道图像

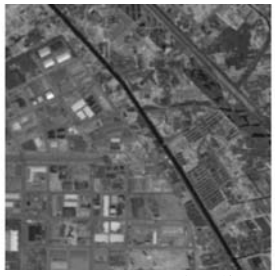

图 2　红光通道图像



图 3　本文算法的融合结果

3.1　用压缩系数评价本文算法

图像融合是将两幅或两幅以上的源图像合并形成一幅新图像的过程,所以相对于源图像而言,图像融合具有数据压缩功能. 由于本文算法只是使用源图像的多尺度边缘点得到融合图像的多尺度边缘点,然后再由多尺度边缘点构出融合图像,因此该算法压缩了很多数据量,下面用一种定量的指标,即压缩系数,来定量分析压缩的数据量. 压缩系数定义为

$$C=\frac{M\times N\times 2\times i}{e_{\mathrm{num}}\times j} \tag{16}$$

其中，e_{num}为融合得到的像素个数；$M\times N$为源图像的像素个数；i,j分别为源图像像素及融合得到的像素的编码位数.以下仿真结果是在$i=j=8$，即不使用任何压缩编码算法时得到的.对于使用源图像所有像素点的融合算法，由于直接融合得到的就是融合图像，所以压缩系数为2.根据上式可求出，上述实验的压缩系数为4.04.

为了说明本文算法压缩数据量的普遍适用性，表1给出了对其它18组遥感图像分别进行仿真实验得到的压缩系数.由表中数据可看出，这18组图像中，压缩系数最大的为5.60，最小的是2.47，因此本文的算法在一定程度上压缩了数据量，这就使得传输融合图像时占用的带宽减小，该算法在带宽有限的环境中有很大的优越性.

表1 压缩系数

组号	C	组号	C	组号	C
1	2.47	7	2.68	13	2.71
2	4.23	8	2.79	14	3.42
3	5.60	9	2.41	15	4.40
4	5.10	10	2.51	16	3.08
5	3.70	11	2.72	17	2.89
6	3.56	12	2.71	18	3.80

3.2 用共信息量评价本文算法

下面用共信息量对本文算法的融合结果和蒲恬[4]提出的算法的融合结果进行比较.

图像融合的主要目的是从源图像中综合其互补信息，使融合图像有利于人眼接受或计算机的后续处理，因此，融合质量可用源图像与融合图像的共信息量作为评价准则.考虑两幅源图像A和B，融合图像为F，F从A获得的信息量为

$$I_{FA}(f,a)=\sum_{f,a}p_{FA}(f,a)\lg\frac{p_{FA}(f,a)}{p_F(f)p_A(a)} \tag{17}$$

同理可求出F从B获得的信息量$I_{FB}(f,b)$，则共信息量为

$$I_F^{AB}=I_{FA}(f,a)+I_{FB}(f,b) \tag{18}$$

共信息量越大，说明融合图像从源图像获取的信息量越大，表明融合算法传输信息的能力越强.图4是文献[4]的算法对图1和图2融合的结果，可以看出，本文算法的融合结果和文献[4]的融合结果相比，在视觉上没有差异.图3和源图像的共信息量为62.43，图4和源图像的共信息量为61.94.因此，本文的融合算法传输信息的能力较强.



图4 文献[4]算法的融合结果

4 结束语

本文提出了一种基于多尺度边缘的图像融合算法，由于该算法只使用源图像的多尺度边缘点进行融合，从而得到融合图像的多尺度边缘点，因此大大减少了融合过程的计算量，而且在很大程度上压缩了数据量，减小了传输融合图像时占用的带宽.此外，该算法从图像融合算法的评价准则出发定义了新的融合规则，即边缘相关性，该规则使尽可能多的源图像边缘信息保留在融合图像中，从而在减小计算量和压缩数据量的同时保证了融合图像的质量.由仿真结果可看出，本文提出的算法是一种有效可行的图像融合算法.

参考文献（References）

[1] Mallat Stephane, Zhong Sifen. Characterization of signals from multiscale edges[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(7):710－732

[2] Nikolov S G, Bull D R, Canagarajah C N. 2-D image fusion by multiscale edge graph combination[C]//Proceeding of the Third International Conference on Information Fusion. Paris:[s. n.],2000, 1:16－22

[3] Xydeas C S, Petrovič V. Objective image fusion performance measure[J]. Electronic Letters, 2000, 36(4):308－309

[4] 蒲恬，方庆喆，倪国强. 基于对比度的多分辨图像融合[J]. 电子学报，2000，28(12):116－118
Pu Tian, Fang Qingzhe, Ni Guoqiang. Contrast-based multiresolution image fusion[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(12):116－118(in Chinese)

（责任编辑：娄 嘉）