

基于视觉特性的多聚焦图像融合

李树涛,王耀南,张昌凡

(湖南大学电气与信息工程学院,湖南长沙 410082)

摘 要: 本文提出了一种考虑人眼视觉系统特性的多聚焦图像融合算法.融合过程是首先将配准的源图像分割成若干个块,计算出每个块的对比度方差,作为图像均匀度参数,通过选取两幅图像中清晰的图像块形成融合图像.文中讨论了分解图像块的大小和阈值参数对融合性能的影响.实验结果表明本文提出的算法实时性好,对于严格配准的多聚焦图像能够达到甚至超过基于小波分解的融合算法.

关键词: 图像融合;对比度掩蔽;视觉系统;小波变换

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 12-1699-03

Feature of Human Vision System Based Multi-Focus Image Fusion

LI Shu-tao, WANG Yao-nan, ZHANG Chang-fan

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China)

Abstract: In this paper, a multi-focus image fusion algorithm is proposed which takes features of human vision system (HVS) into account. First, registered original images are divided into several blocks. Then contrast error of every block is calculated considering contrast masking sensitivity. Finally, the contrast errors of corresponding blocks are compared to decide which should be used to construct the fused image. The influences of two parameters, size of decomposed block and threshold, on fusion performance are discussed. Experimental results show that the proposed method can operate real time. To stringent registered multifocus images, the proposed algorithm can achieve equivalent or superior performance to the algorithm based on wavelet decomposition.

Key words: image fusion; contrast masking sensitivity; human vision system; wavelet transform

1 引言

图像融合作为一种有效的信息融合技术,已经广泛应用于机器视觉、医疗诊断、军事、遥感等领域^[1~3].图像融合一般分为三级,即像素级、特征级和决策级^[4].所谓像素级图像融合是指把对同一目标或同一场景经多个传感器的成像或单一传感器的多次成像进行一定的处理,生成一幅新的图像,这幅新的图像能够包含源图像中的有用信息.本文所指的图像融合就是像素级图像融合.普通的数字相机在对场景成像时,很难(或无法)将场景中的所有目标都成像清晰,这一问题可以采用多聚焦图像融合来解决,即用同一数字相机对某一场景中的两个(或多个)目标进行两次(或多次)成像,将这些成像中的清晰部分组成一幅新的图像,这样就便于人眼观察或计算机的后续处理.

图像融合的最简单的方法是加权平均法,即将源图像对应像素的灰度值进行加权平均,生成新的图像.这种方法最为简单同时效果也最差. Burt P 提出 Laplacian 金字塔以后,基于 Laplacian 金字塔、比率低通金字塔、梯度金字塔等的融合方法不断出现^[5~7].随着 90 年代小波变换在图像处理中的广泛应用,也被成功地应用于图像融合^[8~10].

本文提出了一种考虑人眼视觉系统特性的多聚焦图像融合算法.融合过程是首先将配准的原始图像分割成若干个块,计算出每个块的对比度方差,通过比较选取两幅图像中清晰的分解块来形成融合图像.实验结果表明本文提出的算法实时性好,对于严格配准的多聚焦图像能够达到甚至超过基于小波分解的融合算法.

2 人眼视觉系统

视觉是人眼对图像的感知结果,视觉处理的复杂性到目前为止还没有被人们真正的理解和掌握,但是人们已经发现了一些有用的视觉现象,如视觉阈值、视觉掩蔽效应等现象.

文[12]根据对比度敏感门限与背景亮度的非线性关系,提出了一种有效的衡量图像块均匀度的测度.其定义如下:对于图像 $f(x, y)$ 中大小为 $n \times n$ 的块 B_k ,其均匀度的参数为:

$$d(B_k) = \frac{1}{n^2} \sum_{(x,y) \in B_k} (m_k) \cdot \frac{|f(x,y) - m_k|}{m_k} \quad (1)$$

其中 m_k 为 B_k 的均值. (m_k) 为加权因子.式(1)有两点不同于块方差:一是考虑了视觉系统的特性,采用了对比度而不是均方差来测量图像块内信号变化的可见度;二是考虑了对比度敏感门限与背景亮度的非线性关系,引入根据块平均亮

度调整的加权因子 (m_k) .

3 融合算法

图 1 给出了基于视觉系统特性的多聚焦图像融合方法的整个过程.

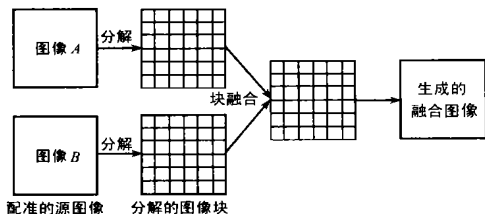


图 1 基于视觉系统的多聚焦图像融合过程

具体融合过程如下:

- (1) 将两幅配准的多聚焦图像分解成若干个大小为 $n \times m$ 的块. 设 BoA_i 和 BoB_i 分别表示图像 A 和 B 的第 i 个块.
- (2) 按照式 (1) 计算每个块的均匀度测度. 设 DoA_i 和 DoB_i 分别为 BoA_i 和 BoB_i 的均匀度测度.
- (3) 比较两幅图像对应块间的均匀度测度, 得出融合图像的第 i 个块 BoF_i :

$$BoF_i = \begin{cases} BoA_i, & DoA_i > DoB_i + TH \\ BoB_i, & DoA_i < DoB_i - TH \\ (BoA_i + BoB_i) / 2, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

其中, TH 为阈值参数, $(BoA_i + BoB_i) / 2$ 为取 BoA_i 和 BoB_i 中对应像素灰度平均值的运算.

- (4) 依次对所有的图像块进行上述操作, 即得到了新的融合图像.

4 实验结果

为了对多聚焦图像的融合结果进行量化测量, 我们选取了一幅清晰的图像作为原始参考图像, 如图 2 (a) 所示, 大小为 480×640 , 在该图像中选取两个不同的聚焦点, 分别进行高斯模糊处理, 生成两幅待处理图像, 如图 2 (b)、2 (c) 所示. 对于如图 3 (a) 所示大小为 128×128 的源图像, 采用高斯模糊化方法得到的两幅多聚焦图像如图 3 (b)、3 (c) 所示. 本文采用融合图像与原始清晰图像的均方根误差 (RMSE) 作为融合结果的评价标准.

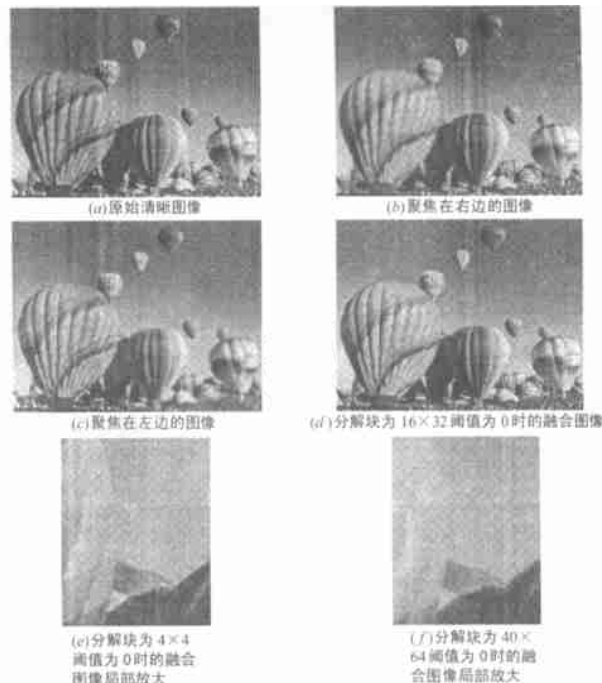


图 2 原始清晰图像、多聚焦图像及各种融合结果的比较

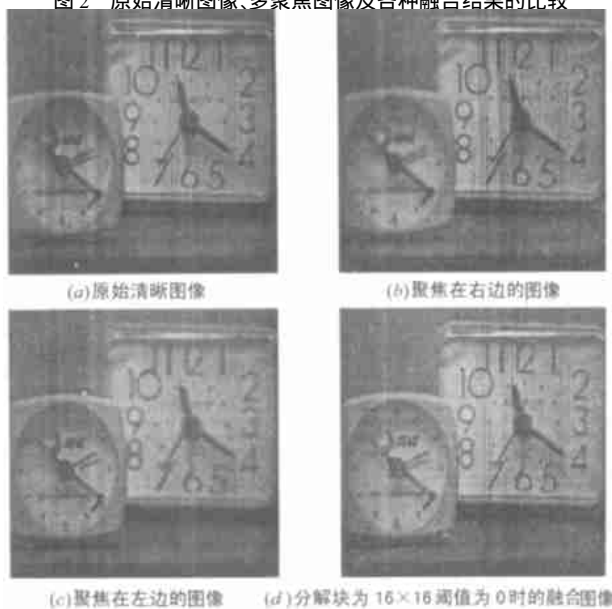


图 3 原始参考图像、多聚焦图像及融合结果

表 1 不同图像块和阈值参数时的 RMSE

TH	n × m								
	4 × 4	4 × 8	8 × 8	8 × 16	16 × 16	16 × 32	32 × 32	32 × 40	40 × 64
0.0	3.6824	2.8596	2.4384	1.5895	1.5452	0.8782	1.0169	1.2296	1.1737
0.0001	3.5767	2.8087	2.3817	1.5736	1.4511	0.9413	0.9830	0.9574	1.2025
0.0002	3.4976	2.7883	2.3200	1.6303	1.4778	0.9826	1.0242	0.9220	1.4718
0.0003	3.4392	2.7763	2.3169	1.6677	1.4957	0.9759	1.1783	0.9749	1.5525
0.0004	3.3984	2.7761	2.2827	1.7238	1.5033	1.1036	1.3871	1.1340	1.8113
0.0005	3.3377	2.7584	2.2926	1.8065	1.5663	1.3566	1.5266	1.4672	1.8741
0.0006	3.3238	2.7329	2.3181	1.8877	1.7011	1.5593	1.6606	1.6437	2.9115
0.0007	3.2659	2.7188	2.3023	1.9818	1.7919	1.7900	1.8874	1.8686	2.5347
0.0008	3.2440	2.7248	2.3096	2.0467	1.8604	1.9162	2.0937	2.1848	2.7734
0.0009	3.2259	2.7416	2.3326	2.0770	1.9525	1.9804	2.2828	2.3094	2.3158

表 2 不同图像块和阈值参数时的 RMSE

TH	$n \times m$								
	4 × 4	4 × 8	8 × 8	8 × 16	16 × 16	16 × 32	32 × 32	32 × 64	64 × 64
0.0	1.0867	0.8662	0.7288	0.7941	0.5556	1.1382	1.8363	1.9682	1.9682
0.0001	1.0665	0.8427	0.6088	0.7683	0.5817	1.1382	1.3700	1.9682	1.9682
0.0002	1.0752	0.8581	0.7167	0.7976	0.6348	1.4261	1.4345	1.6709	1.8829
0.0003	1.0993	0.8758	0.7369	0.8125	0.7670	1.4996	1.4345	1.8945	1.8829
0.0004	1.1382	0.9454	0.9415	0.8948	0.8934	1.4496	1.4416	1.8945	1.8829
0.0005	1.1576	0.9463	0.9919	0.9667	1.0467	1.7833	1.8058	1.8945	1.8829
0.0006	1.1675	0.9918	1.1022	1.1353	1.0467	1.9047	1.8058	1.8945	1.8829
0.0007	1.2132	1.0735	1.1927	1.2294	1.1773	1.9047	1.8058	1.8945	1.8829
0.0008	1.2161	1.2159	1.3466	1.2354	1.5258	2.0261	1.8058	2.4006	1.8829
0.0009	1.2554	1.3541	1.4213	1.4578	1.6274	2.2533	2.2963	2.4006	2.6255

4.1 图像块大小及阈值对融合结果的影响

用本文提出的方法对图 2(b) 和图 2(c) 及图 3(b) 和图 3(c) 所示的图像,以不同的图像块和阈值进行融合,融合结果的客观评价如表 1 和表 2 所示.对于图 2(b) 和图 2(c),最好的融合效果在块大小为 16 × 32 时,而对于图 3(b) 和图 3(c) 最好的融合效果在块大小为 16 × 16 时.从理论上也可以推断出,如果分解图像块相对整个图像而言太小的话,那么融合结果会出现块效应,如图 2(e) 所示,反之如果分解图像块相对整个图像而言太大的话,那么融合结果会出现灰度畸变,如图 2(f) 所示.

对于固定大小的块而言,阈值参数的影响不是很大,但如果参数选择太大,所提出的算法则变成了平均值融合算法.

4.2 与基于小波变换的算法的比较

为了进行比较,我们也采用了基于小波变换的图像融合算法,小波分解采用了 Daubechies 的 'db8' 小波,分解系数的活跃度由其绝对值决定,采用取最大值的融合规则,具体实现步骤请见文献[9].对于大小为 480 × 640 的图像,分解层数选为 5 层,对于大小为 128 × 128 的图像,分解层数选为 3 层,融合结果的客观评价 RMSE 分别为 1.5997 和 0.9796.在表 1 和表 2 中,本文提出的方法能取得的优于小波变换算法的情形用黑体表示出来.可以看出,本文提出的算法优于基于小波变换的算法.

5 结论

本文提出了一种考虑人眼视觉系统特性的多聚焦图像融合算法.利用人工产生的多聚焦图像,基于主观和客观的评价表明,所提出的方法与基于小波变换的融合方法相比具有如下优点:(1)能够更准确地保持各图像的有用信息,实现信息的相互补充;(2)计算简单,实时性好.图像分解块的大小和阈值参数的选择对融合性能有一定的影响,如何自适应地确定最优的分解块大小和阈值参数需要进一步研究.

参考文献:

- [1] J K Aggarwal. Multisensor Fusion for Computer Vision [M]. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1993.
- [2] D L Hall, J Llinas. An introduction to multisensor data fusion [J]. Proc. IEEE, 1997, 85(1): 6 - 23.
- [3] P K Varshney. Multisensor data fusion [J]. Electron. Commun. Eng. J., 1997, 9(12): 224 - 253.
- [4] C Phol. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods

and applications [J]. Int. J. Remote Sensing, 1998, 9(5): 823 - 854.

- [5] P T Burt, E H Adelson. The Laplacian pyramid as a compact image code [J]. IEEE Trans. Comm., 1983, 31(4): 532 - 540.
- [6] P T Burt, R J Lolczynski. Enhanced image capture through fusion [A]. Proc. 4th Internat. Conf. On Computer Vision [C], Berlin, Germany, 1993, 173 - 182.
- [7] A Toet, L J Van Ruyven, J M Valetton. Merging thermal and visual images by a contrast pyramid [J]. Opt. Eng., 1989, 28(7): 789 - 792.
- [8] A Y David. Image merging and data fusion by means of the discrete two-dimensional wavelet transform [J]. J. Opt. Soc. A, 1995, 12(9): 1834 - 1841.
- [9] H Li, B S Manjunath, S Mitra. Multisensor image fusion using the wavelet transform [J]. Graphical Models and Image Processing, 1995, 57(5): 235 - 245.
- [10] Z Zhang, R S Blum. A categorization of multiscale-decomposition-based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application [J]. Proc. IEEE, 1999, 87(8): 1315 - 1326.
- [11] A B Waston. Efficiency of a model human image code [J]. J. Opt. Soc. A, 1987, 4(12): 2401 - 2417.
- [12] 黄继武, Y Q Shi, 戴宪华. 基于视觉系统特性的分割编码算法 [J]. 中国图像图形学报, 1999, 4(5): 400 - 404.

作者简介:



李树涛 男, 1972 年生于辽宁锦州. 1995、1997 年分别获湖南大学学士、硕士学位, 现为湖南大学电气与信息工程学院博士研究生, 主要研究兴趣有图像处理、多传感器融合等.



王耀南 男, 1957 年 11 月出生于云南昆明. 湖南大学电气与信息工程学院教授, 博士生导师, 主要研究方向有图像处理、模式识别、数据融合、智能控制等.

张昌凡 男, 1960 年出生于湖北武汉. 湖南大学电气与信息工程学院博士研究生, 株洲工学院电气工程系副教授, 教务处处长. 主要研究领域为智能控制.