

文章编号:1674-2869(2015)01-0067-06

多传感器复杂网络数据融合算法的 MATLAB 仿真

陈向阳¹, 胡江涛¹, 刘培², 徐莹³, 沈超¹

1. 武汉工程大学计算机科学与工程学院, 湖北 武汉 430205; 2. 邮电与信息工程学院, 湖北 武汉 430074; 3. 湖北省档案局(馆)科技处, 湖北 武汉 430071

摘要:多传感器复杂网络数据融合技术在多个领域中有着广泛的应用, 目前存在多种像素级多传感器网络采集图像信息融合算法包括简单的图像融合算法、PCA 变换图像融合算法和小波变换的图像融合算法等, 但是每种算法都各具特点, 因此有必要弄清楚其使用局限性以便能在实际应用中做出合理的选择. 利用仿真软件 Matlab 结合从多传感器中获得的冗余图像数据对各种算法进行模拟实现, 得出各种算法的融合图像的客观评价结果即在不同颜色空间中的相关系数和清晰度值, 通过对比各种算法结果得到只有在特定的应用条件下才具有良好的融合效果, 才能够很好地还原出原始的图像.

关键词:复杂网络信号; 图像融合; PCA 变换; 小波变换; IHS 变换

中图分类号: TB35 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1674-2869.2015.01.015

0 引言

大量实际工程应用中涉及到将复杂网络环境下多传感器网络源所采集到的有关某个目标的信号经过信号处理和计算机处理技术等即进行所谓的信息融合, 以便尽可能地提取各自信道中的有利信息, 最后合成为更高质量的综合结果, 便于进一步实施监控. 研究人员一直都在研究高效的综合处理来自多源通道信息的融合方法, 以便能够有效地增加信息利用率、系统化对目标探测识别地可靠性及系统的自动化程度^[1-2]. 针对该需求参考现有研究成果, 利用 Matlab 对单一传感器的多波段信息尤其是从不同类传感器所得到图像信息加以处理, 消除多个传感器信息之间存在的冗余与冲突, 以增强影像中信息透明度, 改善解译精度、可靠性及利用率, 以得到研究对象的更加清晰、完整、准确的综合图像^[3-5].

1 多传感器网络获取图像信息融合评价方法

信息融合质量的评价在信息融合算法性能评价中非常重要, 在此具体仅考虑针对图像融合质量评价方法, 其实现可分成主观的和客观的两种评价

方法.

其中主观的评价方法需要依靠研究者目视融合后图像的效果进行的主观判断. 该方法简单易行, 特定场合下可能会很有效, 然后容易受观察人员、图像类别、使用场景和环境的约束, 因此仅具有统计学上的意义^[6].

图像融合的客观评价因为主观的评价方法的诸多使用限制, 特别是当观测环境发生改变时, 评价结果会随之而不同. 那么实际应用中就要和客观评价的定量评价标准一同使用, 得到综合定量评价结果. 在此主要考虑客观的评价方法: 1) 根据信噪比进行评价: 信噪比、峰值信噪比. 2) 基于信息量的评价: 信息熵、交叉熵、联合熵. 3) 基于统计量的评价: 均值、标准差、均方误差、均方根误差. 4. 基于相关性的评价: 偏差指数、相关系数^[7].

2 常用的多传感器图像融合算法

2.1 加权平均法

加权平均法是多传感器图像融中最基本的方法, 其特点是: 原理简单, 运算速度快, 实时性好, 但融和效果较差. 假设图像 A 、 B 为融合图像, 像素为 $M \times N$. 融合后图像为 F , 则采用加权平均法公式为:

$$F(m, n) = w_1 A(m, n) + w_2 B(m, n) \quad (1)$$

收稿日期: 2013-12-04

基金项目: 湖北省教育科学“十二五”规划 2013 年度立项课题: 地方性高校新兴交叉学科建设的研究——以网络科学为例(2013B060).

作者简介: 陈向阳(1969-), 男, 河南开封人, 副教授, 硕士. 研究方向: 网络通信工程、复杂网络、生物信息等.

式(1)中: m 为图像的像素的行号, $m=1,2,3,4,\dots$, M ; n 为图像的像素的列号, $n=1,2,3,4,\dots,N$; w_1 、 w_2 为加权系数,需满足 $w_1+w_2=1$; 若 $w_1=w_2=0.5$,则为平均融合。

2.2 IHS 变换法

利用 IHS,图像的 R, G, B 便能够分解对应于空间信息的亮度(I)、光谱信息的色调(H)和饱和度(S),并且 I, H, S 之间相互独立,因此可以通过调节 I, H, S 来获得不同的显示效果,同时由于 IHS 变换法的灵活多变的特点,由此得出了很多种 IHS 变换公式:如柱体变换法、球体变换法、三角变换法等.本设计中均采用柱形变换. RGB 三基色空间变换为 IHS 柱形彩色空间公式如下^[9]:

$$H = \begin{cases} \theta & G \geq B \\ 2\pi - \theta & G < B \end{cases} \quad (2)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2} [(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right] \quad (3)$$

$$S = 1 - \frac{\sqrt{3}}{I} \min(R, G, B) \quad (4)$$

$$I = \frac{R+G+B}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

2.3 逻辑滤波融合法

逻辑滤波融合法把源图像中的对应位置的像素直接进行逻辑运算,从而将两个或多个像素转换对应为一个像素.已知有两幅源图像,若两张图像的相应位置像素都比某一阈值大时,那么通过“与”运算便得到“1”,此位置便成为图像中非常突出的部分^[10].利用“或”运算能够分割图像,通过利用两幅图像中所有大于特定阈值的信息,而使图像分割十分可靠.若灰度值均小于阈值时,那么就可以因地制宜地使用适当的“或非”等运算来融合图像信息。

2.4 Brovey 变换法

Brovey 变换法又名色彩标准化变换融合法,因其实现比较简单而著称.实际上它是把多光谱图像空间分解成亮度与色彩成分并进行处理运算,与 IHS 图像转换实现相比更为简便,而且处理后能够保留下来多光谱数据信息,由此改善了融合处理后的效果^[11].其算法实现过程叙述如下:

$$\begin{aligned} R_{new} &= R \times P / (R+G+B) \\ G_{new} &= G \times P / (R+G+B) \\ B_{new} &= B \times P / (R+G+B) \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)中: R, G, B 为多光谱彩色图像的三个波段, P 为全色波段。

3 基于 PCA 变换的图像融合

3.1 图像融合主成分处理过程

(1)已知 n 幅图像,针对每幅图像观测到 p 个分量,然后标准化处理得到的数据,便得矩阵:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (7)$$

(2)建立变量的协方差矩阵: $R=(r_{ij})_{p \times p}$

(3)求 R 的特征值 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_p > 0$ 及相应的单位特征向量:

$$A_1 = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ \vdots \\ a_{p1} \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} a_{12} \\ a_{22} \\ \vdots \\ a_{p2} \end{bmatrix}, \cdots, A_p = \begin{bmatrix} a_{1p} \\ a_{2p} \\ \vdots \\ a_{pp} \end{bmatrix} \quad (8)$$

(4)主成分:

$$F_i = A_{1i}X_1 + A_{2i}X_2 + \cdots + A_{pi}X_p, i=1, 2, \cdots, p \quad (9)$$

3.2 基于 PCA 变换法的图像融合算法

PCA(主成分分析法)变换法的多传感器采集图像数据融合的实现过程:

(1)利用融合相关的 n 波段 TM 图像数据,求出相关矩阵。

(2)进一步求相关矩阵特征值与对应的特征向量。

(3)将得到的特征值按照由小到大的顺序进行排列, $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_n$,特征向量 A_i 也要做相应的变动。

(4)按照公式(3)计算各主成分图像:

$$PC_k = \sum_{i=1}^n d_i A_{ik} \quad (10)$$

式(10)中: k 是表示主成分序数($k=1, \cdots, n$); PC_k 是代表第 k 个主成分; i 是输入波段序列; n 则是表示总 TM 波段数量; d_i 表示 i 波段 TM 图像数据值; A_{ik} 表示特征向量矩阵的 i 行、 k 列元素。

经过变换运算以后,得到的第一主成分图像的方差会是最大的,它将会包含原多光谱图像的大量信息,而原多光谱图像的光谱信息则主要保留在第二、三主成分的图像中。

(5)把 SAR 图像进行空间配准处理,得到结果后再与第一主成分图像数据进行直方图匹配运算。

(6)将直方图经过匹配运算后得到的 SAR 图像替换第一主成分,并且将它与其他主成分作逆主成分变换,最后便得出融合图像结果。

4 小波变换图像数据融合方法

两幅待融合图像 A 和 B 经过多尺度分解后,令 $L_N^A(x,y)$ 和 $L_N^B(x,y)$ 为其经过运算分解后所得最低频子带系数, N 表示多尺度分解层数符号, (x,y) 是有关的系数坐标;假使 $H_i^A(x,y)$ 和 $H_i^B(x,y)$ 为两幅图像分解后的各层次高频子带系数, $i=1, 2 \cdots N$. 假使 $L_N^F(x,y)$ 和 $H_i^F(x,y)$ 是融合后进行图像变换的系数. 那么当低频子带图像系数组合时,通常会采用融合处理规则公式:

$$L_N^F(x,y) = \alpha_1 L_N^A(x,y) + \alpha_2 L_N^B(x,y) \quad (11)$$

其中: $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$. 若 α_1 等于 0, 则融合后的系数使用图像 B 经过多分辨率分解处理后得到的低频系数, 也就是 $L_N^F(x,y) = L_N^B(x,y)$; 若 α_2 等于 0, 则融合后的系数就等于图像 A 经多分辨率分解处理后产生的低频系数, 也就是 $L_N^F(x,y) = L_N^A(x,y)$ [11-12].

高频子带图像系数组合经常会利用下列图像融合算法:

(1) 求系数绝对值的最大值法

$$H_i^F(x,y) = \begin{cases} H_i^A(x,y), & H_i^A(x,y) \geq H_i^B(x,y) \\ H_i^B(x,y), & H_i^A(x,y) < H_i^B(x,y) \end{cases} \quad (12)$$

因为高频系数为围绕 0 的 \pm 值, 可以根据系数中选其中最大的图像融合算法 [13].

(2) 根据窗口的系数加权值平均法

由于相邻系数之间具有的相关性, Burt. P. J 与 Kolczynski R. J. 建议根据窗口的信息融合规则, 即将系数的融合选择与位于的局部窗口区域位置相关联. 通常会选取 3×3 或 5×5 的窗口大小, 并将即将进行融合运算的系数看作位置窗口的中心位置, 计算出窗口区域处的加权平均特征值并将它作为该系数的重要性度量 [14].

(3) 根据窗口系数的绝对值选取最大值

按照 Li H. 等人所建议的融合算法, 融合后的系数会使用窗口区域中绝对值为最大的系数 [15-16]. 在确定系数时, 融合算法会对融合后所产生的最终结果进行所谓的一致性检验用来避免可能某点与其区域内的点出现来自不同源图像 [17].

5 仿真实验和结果分析

5.1 PCA 变换仿真

从利用图 1 和图 2 得到的融合结果图 3 来看, PCA 变换法通过融合 SAR 图像和 TM 图像, 实

现了多传感器图像融合, 并且在 TM 图像保持细节不足的前提下, 结合 SAR 图像高分辨率特性, 比较真实地还原了地理信息, 实用意义很大. 表 1 为融合图像的客观评价结果.

表 1 融合图像的客观评价结果

Table1 objective evaluation of image fusion

不同颜色空间的融合	相关系数	清晰度
R	0.805 3	9.622 0
G	0.985 0	9.002 0
B	0.985 0	12.093 2

5.2 小波变换仿真

(1) 如图 4 所示, 本例是结合 PCA 变换融合中的元素 SAR 和 TM 图像作为融合源图像. 从融合的结果来看, 小波变换法通过融合 SAR 图像和 TM 图像, 实现了多传感器图像融合, 并且在 TM 图像保持细节不足的前提下, 结合 SAR 图像高分辨率特性, 比较真实地还原了地理信息, 具有一定的实用意义, 结合表 1 PCA 变换法图像融合结果, 采用小波变换法效果图像清晰度与 PCA 变换法相差较大. 表 2 为融合图像的客观评价结果 [18].

表 2 融合图像的客观评价结果

Table2 Objective evaluation of image fusion

不同颜色空间的融合	相关系数	清晰度
R	0.756 0	0.040 4
G	0.663 3	0.040 3
B	0.673 0	0.040 5

(2) 如图 5, 图 6, 图 7 所示, 参与融合的图像 A 和 B , A 为近点聚焦图像, 近距离处图像保留细节充分, 但是远距离处, 图像细节丢失较为严重, 以至无法辨清图像的内容; B 为远点聚焦图像, 远距离处图像细节保留充分, 较为清晰, 近距离处图像细节丢失严重, 图像模糊, 无法辨认. 本例采用小波变换的图像融合方法, 将 A 与 B 图像融合, 从融合结果来看, 融合图像结合了 A 和 B 的优势, 保留了源图像清晰的部分, 融合结果比较完美, 细节保留充分. 融合客观评价表 3 可以得出, 融合效果好, 质量高.

表 3 融合图像的客观评价结果

Table3 Objective evaluation of image fusion

不同颜色空间的融合	相关系数	清晰度
R	0.961 2	0.023 5
G	0.961 2	0.023 5
B	0.961 2	0.023 5



图 1 原始 SAR 图像
Fig.1 Original SAR image

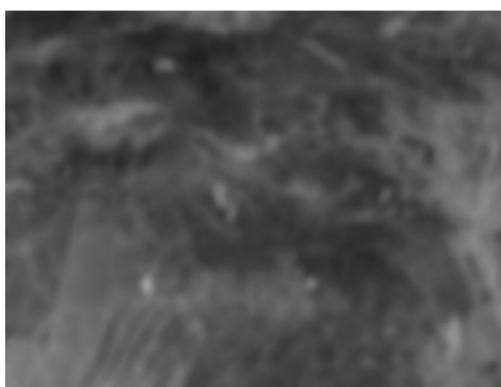


图 2 原始 TM 图像
Fig.2 Original TM image

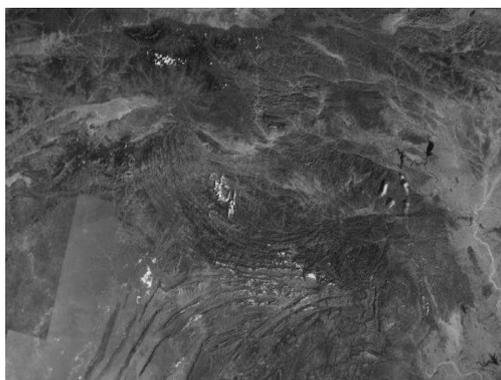


图 3 PCA 变换融合后的图像
Fig.3 PCA transformation fusion image



图 4 小波变换融合后的图像
Fig.4 Wavelet transformation fusion image



图 5 融合原始图像 A
Fig.5 Original imageA

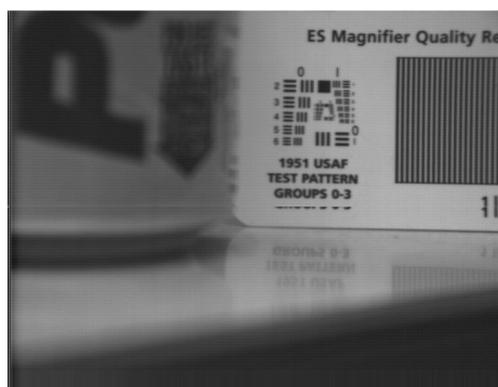


图 6 融合原始图像 B
Fig.6 Original imageB

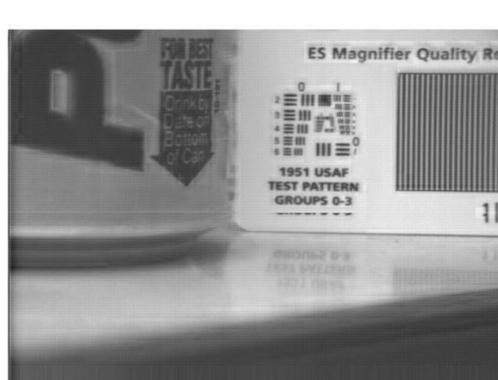


图 7 融合后的图像
Fig.7 Fusion image

6 结 语

利用图像融合质量评价方法:主观评价和客观评价.在图像融合中比较经典的融合算法,如加权平均法、*IHS* 变换法、逻辑滤波法和 Brovery 变换法,同时结合 MATLAB 仿真结果,分析图像融合后的质量,对比了算法的融合效果与性能.研究了基于 PCA 变换法的多传感器图像融合技术,阐述了 PCA 变换法的数学理论和原理,并 PCA 变换法在图像融合中的变换方法和流程.同时,利用 MATLAB 进行了模拟比较了基于小波变换法的多传感器获得的图像数

据信息融合. 从而验证了各种算法的使用特点. 鉴于各个方面的局限, 其中很多算法还没有作深入研究和改进, 在以后的工作和学习中, 将着重研究这一方面, 尤其是小波变换法的应用研究.

致 谢

感谢湖北省教育科学“十二五”规划 2013 年度立项课题: 地方性高校新兴交叉学科建设的研
究——以网络科学为例项目的资助!

参考文献:

- [1] James J Clark, Alan L Yuille. Data Fusion for Sensory Information Processing Systems [M]. Kluwer Academic Publishers, 2010:223-225.
- [2] 刘海涛, 石跃祥, 康蕴. 基于小波分析的图像融合新方法[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(6): 205-208.
LIU Haitao, SHI Yuexiang, KANG Yun. New method for image fusion based on wavelet transform[J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 49(6): 205-208. (in Chinese)
- [3] 廉敬. 图像融合技术研究[J]. 信息通信, 2013, 60(1): 28-29.
LIAN Jing. The Research of Image Fusion[J]. Information & Communications, 2013, 60(1): 28-29. (in Chinese)
- [4] 王志杰, 吴娜. 改进的多传感器图像融合算法研究[J]. 科技通信, 2012, 28(6): 80-81.
WANG Zhijie, WU Na. Improved Multi Sensor Image Fusion Algorithm[J]. Bulletin of Science and Technology, 2012, 28(6): 80-81. (in Chinese)
- [5] 胡钢, 秦新强, 田径. 像素级多传感器图像融合技术[J]. 沈阳工程学院学报, 2007, 3(2): 148-152.
HU Gang, QIN Xin-qiang, TIAN Jing. Image fusion technology of multi-sensor at pixel level[J]. Journal of Shenyang Institute of Engineering, 2007, 3(2): 148-152. (in Chinese)
- [6] 周芳, 王鹏波, 李春升. 遥感图像融合效果评估方法[J]. 现代雷达, 2013, 20(3): 239-243.
ZHOU Fang, WANG Pengbo, LI Chunsheng. Evaluation Method of Remote Sensing image Fusion Effect [J]. Modern Radar, 2013, 35(3): 19-23. (in Chinese)
- [7] Madni A.M., Weijie Yun, Wan, L.A. Micromachining and artificial neural networks; the future of smart sensing[J]. IEEE, 1995, 45(2): 117-130.
- [8] Pohl C V, Genderen J L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods, and applications[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(5): 823-854.
- [9] 王仁礼, 戚铭尧, 王慧. 用于图像融合的 IHS 变换方法的比较[J]. 测绘学院学报, 2000, 17(4): 269-272.
WANG Renli, QI Mingyao, WANG HUI. Comparative Study on of the Mrthod of HIS Transformation for Image Fusion [J]. Journal of Institute of Surveying and mapping, 2000, 17(4): 269-272. (in Chinese)
- [10] 马平等. 多传感器信息融合基本原理及应用[J]. 控制工程, 2006, 13(1): 48-51.
MA Ping. Theory and Application of Multi-sensor Information Fusion [J]. Control Engineering of China, 2006, 13(1): 48-51. (in Chinese)
- [11] 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, 2007.
JIANG Xiaoyu. Reasearch on multisensor image fusion algorithm based on Wavelet Transform and false color [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology Department of optical engineering, 2007. (in Chinese)
- [12] 张家明. 基于小波变换的图像融合算法研究[J]. 武汉理工大学学报, 2007, 29(12): 62-65.
ZHANG Jiaming. Research on image fusion algorithm based on Wavelet Transform[J]. Journal of WUT (Information & Management engineering), 2007, 29(12): 62-65. (in Chinese)
- [13] 顾霞芳. 基于小波变换的图像融合方法探讨与比较[J]. 中国西部科技, 2009, 8(26): 21-22.
GU xiafang. Discussion and comparison on image fusion algorithm based on Wavelet Transform[J]. Science an Technology of West China, 2009, 8(26): 21-22. (in Chinese)
- [14] 浦西龙, 吕建平. 一种基于小波变换的多分辨率图像融合算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(20): 65-67.
PU Xilong, LV Jianping. A lgorithm of wavelet-based multiresolution image flusion[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(20): 65-67. (in Chinese)
- [15] 李晓春, 陈京. 基于小波变换的图像融合算法研究[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(1): 27-30.
LI Xiaochun, CHEN jing. The Research of Multispectral image Fusion Algorithm Based On Wavelet Transform[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2003, 18(1): 27-30. (in Chinese)
- [16] 赵瑞珍. 基于小波变换的图像多尺度数据融合[J]. 计算机辅助设计与图像学学报, 2002, 14(4): 361-364.
ZHAO Ruizhen etc. Multiscale Image Data Fusion with Wavelet Transform[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2002, 14(4): 361-364. (in Chinese)
- [17] 范文涛. 基于小波变换的图像融合技术研究[D]. 郑州: 河南大学, 2010.
FAN Wentao. Research on image fusion algo rithm based on Wavelet Transform [D]. Zhengzhou: Henan

University, 2010.(in Chinese)

LAB[M].CRC Press, 2009.

[18] Jitendra R Raol. Multi-Sensor Data Fusion with MAT-

Simulation of multi-sensor complex network data fusion algorithm in MATLAB

CHEN Xiang-yang, LU Jian-tao, LIU Pei, XU Ying, SHEN Chao

1.School of Computer Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology;

2.The college of Post and Telecommunication of WIT, Wuhan 430074,China;

3.Science and Technology Department, Hubei Provincial Archives Bureau, Wuhan 430071, China

Abstract: the multi-sensor data fusion techniques of complex networks have extensive application in multiple fields. There are many pixel-level multi-sensor image fusion algorithms, such as simple image fusion methods, principal component analysis method and wavelet transform, etc, and every algorithm has its unique features. It is necessary to make clear about their limitations, so we can make a suitable choice in the application. By using the simulation software Matlab to simulate the realization of various algorithms to process redundant image data obtained from multiple sensors, objective evaluation of image fusion about correlation coefficient and definition of value in different color space that results from various algorithms were obtained. The results of comparison show that various algorithms only in specific application conditions have good fusion effects and restore the original images.

Keywords: complex network signal; image fusion; PCA transform; wavelet transform; IHS transform

本文编辑:陈小平