文章编号:1001 - 9081(2005)06 - 1310 - 03

基于变化检测的多时相图像的融合算法

李小春[1,2],陈 鲸[1]
(1. 西南电子电信技术研究所 重点实验室,四川 成都 610041;
2. 空军工程大学 电讯工程学院,陕西 西安 710077)
(chunwind@sina.com)

摘 要:在分析多时相图像特点的基础上,提出了基于变化检测的多时相图像融合算法。该算法将小波变换的特征提取方法与 ICA 子空间映射的变化检测相结合,确定多时相图像各区域变化的强弱,根据本文提出的共生区域增长算法,以及变化检测的结果提出了多时相图像融合的方案,实现目标特征模板的提取。仿真结果表明,本文算法是比较有效的。

关键词:小波变换;独立成分分析;共生区域增长算法;图像融合
中图分类号: TP391.41 **文献标识码**:A

Fusion algorithm for multi-temporal image based on change detection

LI Xiao-chun[1,2], CHEN Jing[1]
(1. *Key Lab, Southwest Institute of Electronics & Telecommunication Techniques, Chengdu Sichuan* 610041, *China*
2. *The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi* 710077, *China*)

Abstract: On the basis of analysis on characters of multi-temporal image, new fusion algorithm for multi-temporal image based on change detection was proposed. First, change extent of all areas in two images was decided by combining feature extraction based on wavelet transform and ICA change detection through subspace projection, concurrence region growing algorithm was proposed in order to extract feature mask on objects. The fusion scheme was proposed based on results of change detection. Simulation results show that the algorithm proposed is very effective.

Key words: wavelet transform; independent component analysis; concurrence region growing algorithm; image fusion

0 引言

随着遥感技术的发展,使得获取同一地区多种遥感数据越来越多,为了获取关于目标的更多、更准确、更全面的信息,就促进了遥感图像融合技术的发展。在图像融合方面,目前研究比较多的是多分辨率与多传感器图像的融合,而关于多时相图像的融合较少。根据对多时相图像特点的分析,多时相图像最大的特点就是随成像时间的差异,不同时刻获取的图像,一方面对同一目标特征体现的显著程度上有差异,另一方面可能会出现新的目标或已有的某些目标消失。因此多时相图像的融合最重要的就是要能在最终的融合图像中,将这种互补信息进行很好的优化。

要实现这个目的,最重要的就是要能有效的对多时相图像关于目标的特征进行有效的检测。一种比较好的解决办法就是变化检测算法。就变化检测而言,目前研究得比较多的是差图像的方法与基于变换的方法。针对两幅图像的变化检测,差图像[1]的方法虽然是一种比较有效的变化检测方法,但对噪声和多时相图像(背景辐射差异的变化可能较大)的应用却不太合适。另外,人们还提出了主成分分析方法(PCA)、改进的多块 PCA 方法、迭代 PCA 方法[2-4]和独立成分分析方法[5]。针对同一时刻多通道图像的情况,人们又提出了多变量变化检测(MAD)方法[6]。不过基于 PCA 的方法不能对变化的结果做出有效的分析,ICA 方法虽然优于 PCA 方法,但却存在着很多不确定的因素,一个突出的问题就是分块方案的解决。另外,上面提到的这些变换检测的方法检测到的只是各区域的变化的强弱,要对变化的区域做出具体的分析,还应进一步对变换检测的结果做深入的分析。

为了检测多时相图像中目标特征的变化,本文利用变化检测的结果提取目标特征变化的模板,在此基础上实现多时相图像的融合。为有效提取目标特征变化的模板,本文首先提出了基于特征的独立成分分析的变化检测算法,初步分析出变化区域的强弱,然后利用本文所提的共生区域增长算法对检测的结果做具体分析,最后利用检测的结果实现了多时相图像的有效融合。

1 ICA 变化检测算法的改进

1.1 ICA 变换的原理

ICA 变换的出发点是假设随机信号 $X = \{x_1, x_2, \cdots, x_m\}$ 可以表示为 n 个独立成分 $S = \{s_1, s_2, \cdots, s_n\}$ 的线性组合,其中 $m > n$。ICA 变换[7] 有两个步骤:

1) 对观测信号的白化处理;

2) 独立成分的提取。

ICA 分离算法的关键在于如何度量分离结果的独立性,经典的测量非高斯方法是 kurtosis(或称作四阶累计量),另一个非高斯测量方法是负熵。本文算法的实现是基于负熵的独立性判决准则和分离算法——FastICA 算法[7]。ICA 变换的表

收稿日期:2004 - 11 - 20

作者简介:李小春(1974 -),女,河南修武人,博士研究生,主要研究方向:遥感图像处理和模式识别; 陈鲸(1940 -),男,安徽怀宁人,博士生导师,主要研究方向:空间目标、遥感卫星信息获取与处理.

示关系:

1) 数据矩阵可以看作非高斯成分的线性组合:

$$X = SA \tag{1}$$

A 为线性混合矩阵,S 的列包含了独立成分。

2) ICA 的实质就是使用下式对数据进行分离:

$$S = XW \tag{2}$$

W 为分离矩阵。

1.2 ICA 变化检测的原理

利用 ICA 进行变化检测的原理是基于子空间映射的方法。该方法假设两个随机变量 X_1,X_2,如果能够估计出 X_1 的独立成分 S_1,那么我们可以通过子空间映射的方法将 X_2 映射到 X_1 的子空间上,通过求映射后的信号 X'_2 与原信号 X_2 的差就可检测到信号 X_2 相对于信号 X_1 的变化。

X_2 到 X_1 子空间映射的混合矩阵表示为:

$$A_{21} = X_2 * pinv(S_1) \tag{3}$$

$pinv$ 表示伪逆运算,* 表示矩阵乘法运算。

X_2 到 X_1 的映射表示为:

$$X'_2 = A_{21} * S_1 \tag{4}$$

X_2 相对于 X_1 的变化表示为:

$$Difference_X_1_to_X_2 = X_2 - X'_2 \tag{5}$$

1.3 基于特征的 ICA 变化检测算法

通过以上讨论表明求 X_2 相对于 X_1 变化的一个关键步骤是对 X_1 子空间 S_1 的估计。对图像数据矩阵而言,由于 ICA 变换迭代的复杂性,我们需要对图像数据矩阵变换后进行独立成分的提取。常用的变换就是对图像矩阵进行均匀分块。实践表明,分块的方案比如块的大小和方向都使得检测的结果有不同程度的变化,而最优的结果又很难给出。这里利用小波变换实现图像块分割的优化,从理论上说,这一方案充分利用了小波变换的正交性和很好的方向性特征,使得数据块的组合得到优化,本文称这种改进的算法为基于特征的 ICA 变化检测算法。具体实现如下:

1) 利用小波变换对信号 X_1 进行分解,得到低频分量 C_{1j} 及水平、垂直、对角线方向的高频分量 D^1_{1j},D^2_{1j},D^3_{1j},利用分解的结果得到分块矩阵 X_{1T},同理可以得到 X_2 的分块矩阵 X_{2T};

$$X_{1T} = \left[C_{1j}, D^1_{11}, D^2_{11}, D^3_{11}, \cdots, D^1_{1j}, D^2_{1j}, D^3_{1j}\right]$$

$$X_{2T} = \left[C_{2j}, D^1_{21}, D^2_{21}, D^3_{21}, \cdots, D^1_{2j}, D^2_{2j}, D^3_{2j}\right]$$

其中 j 代表分解的层数,上式表明利用小波变换对图像分割的实质就是以小波变换后的所有的低频与高频分量展开为一个数据列得到的结果;

2) 利用小波变换的结果代替直接分块,从而得到 ICA 变化检测的输入,然后通过 ICA 子空间映射的算法实现变化区域的提取得到:

$$Difference_X_{1T}_to_X_{2T} = X_{2T} - X'_{2T}$$

3) 对 $Difference_X_{1T}_to_X_{2T}$ 进行由数据列向数据矩阵的逆变换以及小波逆变换得到最终的 $Difference_X_1_to_X_2$

这种利用小波变换分解数据块的方法,使得分解后的数据块体现了原数据块在各频率点及各方向上的特征,这就使得利用 ICA 对子空间的估计得到优化,能更真实的反映出通过子空间映射得到的图像块的变化。

2 共生区域增长算法

变化检测的最终目的是为了提取目标的特征模板,从变化角度讲,就是要通过对变化检测结果的具体分析,确定目标特征出现显著变化的区域。不管是直观的门限法还是各种边沿算子的方法,都不可避免的会导致检测到较多的噪声点或虚假目标,这里提出一种很有效的检测算法——共生区域增长算法。共生区域增长算法概念的提出,一方面是为了与并行区域增长算法和竞争区域增长算法相区分,另一方面也得名于这种算法的具体实现。该算法的实现步骤如下:

1) 求差图像 $Difference_X_1_to_X_2$ 的均值 $mean(\cdot)$,分别以 $n_1 \times mean(\cdot)$ 和 $n_2 \times mean(\cdot)$ 为阈值得到二值图像 dif_1,dif_2。

2) 以 dif_2 图像中值为 1 的点作为种子点,通过迭代的方法和利用并行区域增长算法在 dif_1 中寻找每一个种子点的同质区域,迭代的过程如下:

a) 产生一个初始的零标识矩阵 ***Index***,该矩阵与 dif_1 有相同的尺寸;并产生一个迭代中间矩阵 $I21$,且迭代开始时 $I21 = dif_2$;

b) 首次迭代:如果检测到 dif_2 中有值为 1 的点,则 ***Index*** 相应位置上的值置为 1,然后以该点为中心,在对应 dif_1 的 8 领域中寻找值为 1 的点,若找到,就将 dif_3 相应的位置上的值置为 1,直到 dif_2 中的点搜索一遍结束,统计出 $I21$ 中值为 1 的点数 $number1$;

c) 令 $dif_2 = I21$,重复第二步的过程,唯一不同的是,此时搜索到 dif_2 种每一个值为 1 的点后,根据第一次迭代更新后的标识矩阵 ***Index*** 来确定是否在 dif_1 中进行区域增长的搜索,如果 ***Index*** 中相应的像素位置为 1,表明该点已搜索过。dif_2 中的图像搜索结束后,统计出此时 $I21$ 中值为 1 的点数 $number2$;

d) 若 $number2 > number1$,则返回 2);否则结束迭代,此时的 $I21$ 即为最终的检测结果。

其中 $n_1 < n_2$,一般地,$n_1 = 2\cdots3$,$n_2 = 8\cdots11$ 即可。从上面的检测过程可以看出,算法的实现虽然借鉴了并行区域增长的思想,但是优化了种子点的产生,这种改进不仅可以有效的检测真实的变化区域,同时也可降低虚假检测的出现,从而节省检测过程付出的时间代价。

3 多时相图像融合方案

根据变化检测的结果分析,提出下面两种多时相图像融合的方案:

1) 融合方案 1

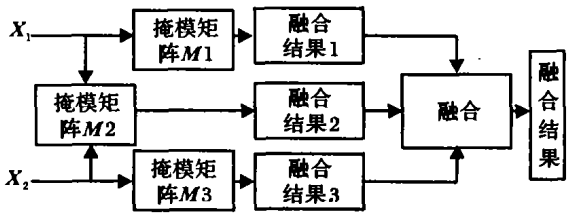


图 1　多时相图像融合方案 1

2) 融合方案 2

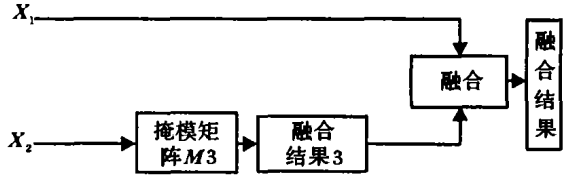


图 2　多时相图像融合方案 2

图中,掩模矩阵 $M1$,$M2$,$M3$ 分别为多时相图像 X_1 的目标特征模板、背景模板、多时相图像 X_2 的目标特征模板,这三

个特征模板的提取见图3。融合结果1和融合结果3处及最终的融合采用与运算的融合规则，融合结果2处可以采用文献[9]中的融合规则。

融合方案1，对前一时刻的原始图像 X_1 与后一时刻的原始图像 X_2 出现的时间先后不加以区分，在最终的融合结果中，不仅体现了两个图像中目标各自的显著特征，而且对背景区域也通过分析辐射差异的影响，有区别的选用合适的融合规则。这种融合方案能够有效的融合多时相图像的互补信息，同时通过对辐射背景的处理，使得最终的融合图像视觉效果较好。因此，这种融合方案不仅体现了目标的完整性与清晰度，而且保证了背景区域的平滑性。

融合方案2，始终以前一时刻的原始图像 X_1 作为背景，通过融合后一时刻的图像 X_2 的显著特征，从而在最终的融合图像中，可以有效的体现同一目标的运动变化信息。

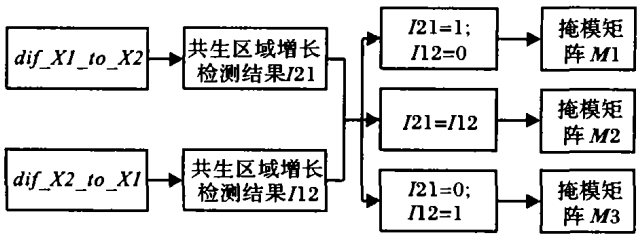


图3 掩模矩阵产生框图

为比较起见，将本文算法与直接的ICA变换融合算法[11]进行比较，直接的ICA变换融合算法实现如下：

1）将原始图像矩阵 X_1，X_2 展开为列向量 X_{1v}，X_{2v}，得到一个随机变量 $X_{ori} = [X_{1v}, X_{2v}]$；

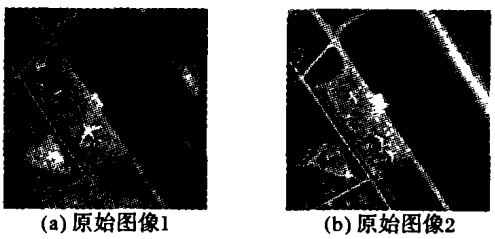
2）对 X_{ori} 进行独立成分分析，得到 S_1，S_2；

3）通过对 S_1，S_2 取最大值，得到融合后的新的随机变量 X_{xin}（$\dim(X_{xin}) = \dim(S_1)$）；

4）将随机变量 X_{xin} 通过逆过程重新写为一个数据矩阵，该矩阵就是融合后的结果。

4 实验结果及分析

为了证明本文所提算法的合理性与有效性，选取某地区不同时相的两幅图像，大小为512×512（图4），做了两组实验。



(a) 原始图像1 (b) 原始图像2

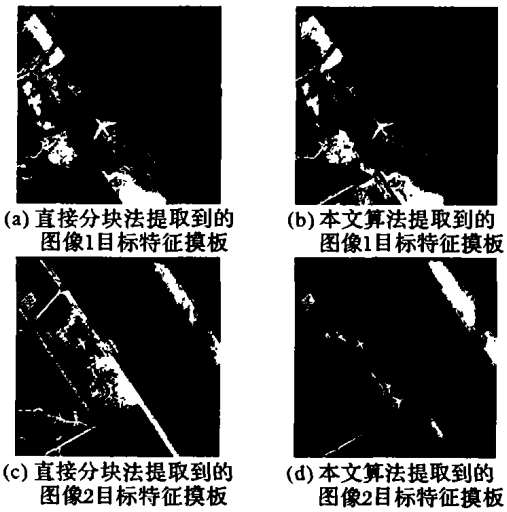
图4 原始图像

4.1 目标特征模板提取的比较

首先将本文所提的基于特征的ICA变化检测（图5(b)与图5(d)）与基于分块的ICA变化检测（图5(a)与图5(c)）进行比较。这里特征的提取是基于一层小波分解的运算，分块是将图像以中心点为准均分为四块来做的，提取图像1目标特征模板时，参数的取值为 $n_1 = 2, n_2 = 8$；提取图像2目标特征模板时，参数取值为 $n_1 = 3, n_2 = 10$。从图5提取的结果可以看出，本文算法提取到的目标模板中，检测到的目标的轮廓，即几何细节结构的清晰度和准确性明显优于直接分块的ICA方法，另外本文算法对背景的变化具有很强的鲁棒性，避免了提取到的目标模板中虚假目标的出现。

4.2 融合结果的比较分析

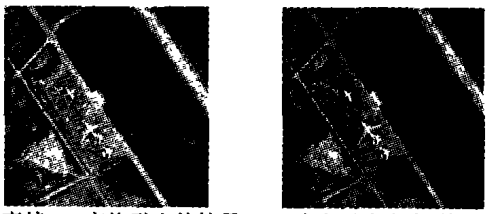
本文的实验采用融合方案1。图6(a)是直接采用ICA分析融合的结果，图6(b)是采用本文所提融合方案融合的结果。从融合结果的比较可以看出，虽然直接ICA方法可以较好的实现多时相图像的融合，但是目标的轮廓被模糊了，目标与背景的对比度有所下降；而本文的融合方案正是基于直接ICA方法的不足，通过变化检测的分析有效地突出了目标，增强了融合后目标的清晰度，改善了融合的结果，为了进一步比较两种方法的融合性能，给出了表1的定量参数分析，表1是根据文献[10]提出的综合评价方法的结果，这一结果进一步说明了本文算法的可行性及优越性。



(a) 直接分块法提取到的图像1目标特征模板 (b) 本文算法提取到的图像1目标特征模板

(c) 直接分块法提取到的图像2目标特征模板 (d) 本文算法提取到的图像2目标特征模板

图5 目标特征模板提取的比较



(a) 直接ICA变换融合的结果 (b) 本文融合方案1的结果

图6 融合结果比较

表1 定量参数分析

	扭曲度	平均梯度	熵	联合熵	相关信息熵	边缘信息因子	图像质量因子
ICA方法	13.9602	14.8331	2.6659	5.5191	0.2653	0.4103	0.0519
本文算法	13.4357	15.1986	2.6807	5.6538	0.2827	0.4152	0.0571

5 结语

通过对变化检测算法的改进有效地提取多时相图像的目标特征模板，从而实现对多时相图像的融合。相对于现有算法而言，仿真结果表明了本文算法的可行性和优越性。不过从算法的实现而言，对特征的提取依赖于变化检测的结果。

参考文献：

[1] TOTH D, AACH T, METZLER V. Illumination-Invariant Change Detection[J]. 4th EE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, 2000: 3-7.

[2] BARONTI S, CARLA R, SIGISMONDI S, *et al*. Principal Component Analysis for Change Detection on Polarimetric Multitemporal SAR Data [J]. Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'94. 1994, 4: 2152-2154.

（下转第1315页）

128RAM, WindowsXP OS。为了客观全面地验证算法的有效性,对不同大小、不同运动程度和纹理特点视频序列分别做了测试,选择的测试序列具体为:

QCIF: Foreman, Suzie, News, Container

CIF: Akiyo, Coastguard, Mobile

实验中配置文件的主要参数设置如表 1 所示。

表 1　主要实验参数设置

FrameToBeEncoded	whole sequence
GOP structure	IPPP
UseHadamard	Used
FrameRate(Hz)	15
NumberReferenceFrames	1
InterSearchAxB	All are enable
SymbolMode	CABAC
PartitionMode	No DP
QP	28
UseConstrainedIntraPred	0(= not constraint)
MVResolution	1/4 - pel
SearchRange	± 16 pixels
RateControl	Disable

表 2　本文快速算法与 H.264/AVC 算法性能比较

Format	Sequence	PCHG (dB)	BINC (%)	TSAV (%)
QCIF	Foreman	-0.01	1.97	49.11
	Suzie	0	2.67	49.73
	News	-0.03	1.29	47.76
	Container	-0.02	1.24	48.62
CIF	Akiyo	-0.01	2.02	48.48
	Coastguard	-0.01	0.88	53.48
	Mobile	0	0.54	49.33

表 2 统计比较了各个测试序列在本文算法与 H.264/AVC 中率失真优化算法之间的性能差异。PCHG、BINC 和 TSAV 分别代表不同算法下整个序列的平均 PSNR 变换值、码率增加值和节省的计算时间比例。在峰值信噪比(PSNR)方面本文算法略有下降,平均为 0.01dB,而对 Suzie 和 Mobile 序列做到了 PSNR 值保持不变。在最后产生的码率方面,本文算法平均高出 1.52%。图像质量的下降和码率之差主要是因为:率失真优化算法本身就是为了追求码率和图像质量最优组合而提出的;而本文算法是为了通过最小的计算复杂度来尽可能准确地预测宏块的划分模式,而这种预测又很难通过较低的计算量做到与率失真算法的结果完全一致。所以这些差异也是可以理解的。

然而本文算法却以图像质量和码率方面的微弱牺牲换来了计算复杂度方面的有效降低。在算法速度上,本算法与 JM7.5c 的率失真优化算法之间的比较结果为:对 Coastguard 序列,速度提高 53.48%,所有序列算法速度平均提高 49.50%。

5　结语

块划分模式选择是 H.264/AVC 提高压缩效率和保证图像质量的重要工具之一。然而采用率失真优化虽然能得到最佳的块划分模式,却需要非常大的计算复杂度。针对以往快速块划分模式选择算法的不足,提出基于运动搜索预处理的快速块划分模式选择算法。从表 2 中的实验结果可以看出本文算法在计算速度方面最大提高达到 53.48%,然而计算速度方面的大幅提高只以 PSNR 和码率方面的微小牺牲作为代价。而且如果将本文所提出的算法结合优秀快速运动搜索算法的话,块划分模式选择的计算速度将会进一步加快。

参考文献:

[1] Joint Video Team(JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG. Joint Model Number-1(JM-1), JVT-A003[S], Jan, 2002.

[2] SULLIVAN GJ, WIEGAND T. Rate-distortion optimization for video compression[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1998, 15: 74 - 90.

[3] CHANG A, AU OC, YEUNG YM. A Novel Approach to Fast Multi-Block Motion Estimation for H.264 Video Coding[A]. IEEE ICME[C], 2003. II05 - II08.

[4] YU AC. Efficient Block - Size Selection Algorithm for Inter - Frame Coding in H.264/MPEG-4 AVC[A]. IEEE ICASSP[C], 2004. III169 - III172.

[5] Joint Video Team (JVT) of ISO / IEC MPEG and ITU - T VCEG. Draft ITU-T recommendation and final draft of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 and ISO/IEC 14496-10 AVC), document JVT-G050[S], Mar, 2003.

(上接第 1312 页)

[3] QIU B, PRINET V, PERRIER E, *et al.* Multi-block PCA Method for Image Change Detection[J]. Proceedings of the 12th International Conference on Image Analysis and Processing(ICIAP'2003).

[4] COLLINS M, DASGUPTA S, SCHAPIRE RE. A Generalization of Principal Component Analysis to the Exponential Family [J]. NIPS'2001.

[5] NOE BJ, HAM FM. Change detection through subspace projection using independent component analysis to track moving targets in scenery[J]. International Joint Conference on Neural Networks, 2001.

[6] NIELSEN AA, CONRADSEN K. multivariate Alteration Detection in multispectral, Bi-temporal image data : A new approach to change detection studies[R]. IMM Technical Report No. 1997 - 11.

[7] HYVARINEN A. Fast and Robust Fixed_point Algorithm for Independent Conponent Analysis[J]. IEEE Transactions on neural Network, 1999: 10(3): 626 - 634.

[8] 曾生根,王小敏. 基于独立分量分析的遥感图像分类技术[J]. 遥感学报,2004,8(2): 151 - 153.

[9] 李小春,陈鲸. 基于小波变换的图像融合算法研究[J]. 遥感技术与应用,2003,1.

[10] 李小春,陈鲸. 遥感影像融合的综合评价[A]. 2004 年环境遥感学术会议[C].

[11] 曲桂红. 医学图像融合技术研究[D]. 北京:清华大学博士论文, 2001,11.