

基于多分辨分析的红外/被动毫米波图像主成分融合

叶银芳, 聂建英

(福州大学数学与计算机科学学院, 福州 350108)

摘要: 红外/毫米波(IR/MMW)复合制导是当前发展多模复合制导技术的热点方向。针对红外探测系统在低能见度条件下穿透能力有限,而被动毫米波探测虽然穿透能力较强、但图像分辨率不高的问题,为了更好地进行红外与被动毫米波图像融合,使得复合探测器能够全天候工作,提出一种新的基于多分辨分析的主成分融合方法(M-P)。利用多分辨分析可以按图像的分辨率空间很好地处理信息的优势,M-P融合方法首先对红外与被动毫米波探测的坦克群图像进行分解去噪;对重构后图像分别进行主成分变换;用高分辨率图像的第1主分量代替低分辨率图像的第1主分量;最后做逆主分量变换来得到最终的融合图像。实验仿真结果表明,与PCA方法比较,新方法融合得到的图像能更好地地区分坦克群目标和地物背景。

关键词: 红外/被动毫米波复合制导; 图像融合; 多分辨分析; 主成分分析

中图分类号: V271.4; TN955 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)09-0006-04

Principal Component Fusion of IR/PMMW Image Based on Multiresolution Analysis

YE Yinfang, NIE Jianying

(College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Infrared/millimeter wave (IR/MMW) composite guidance is a hot direction of current development in the field of multi-mode composite guidance technology. In view of the limited penetrability of infrared detection system under low visibility condition and the low resolution of passive millimeter wave detection image, we put forward a new MRA-based PCA (M-P) fusion method in order to better fuse the images of IR and the PMMW and to enable the composite seeker with all-weather operations. By using the advantage of multiresolution analysis that it can solve the information according to the resolution of the image space, the M-P fusion method denoises the infrared and passive millimeter wave detection tank group images, and transforms the reconstructed images with PCA respectively. Then, the first principal component of low resolution image is replaced by that of high resolution image. Finally, inverse PCA transform is made to obtain the fusion image. The experiment indicates that compared with PCA, the new fusion method can better distinguish the tank group objects from the surface features.

Key words: IR/PMMW composite guidance; image fusion; multiresolution analysis; principal component analysis

0 引言

红外制导目标识别能力强,但红外探测系统在低能见度条件下穿透能力有限。被动毫米波探测器具有较好的穿透战场硝烟能力,但图像分辨率不高^[1-2]。

红外/被动毫米波(IR/PMMW)复合制导的主要目的是使复合探测器能够尽量少地被气候及战场恶劣环境影响,确保其能够全天时工作,实现快速精确地打击军事目标。

红外/毫米波复合制导互相取长补短,实现全天候工作,成为多模复合制导技术的研究重点。雷达探测图像不能直接显现物体的自然形状,不利于辨认,而被动毫米波图像则与物体自然形状接近。另外,不同于雷达探测时主动发射电磁波,被动探测属于被动接收

收稿日期:2013-01-17

修回日期:2013-04-02

基金项目:江苏省资源环境信息工程重点实验室基金(JS201104)

作者简介:叶银芳(1988—),女,福建寿宁人,硕士生,研究方向为毫米波探测与目标识别技术。

信号,具有很强的隐蔽性,军事应用前景广泛^[3-7]。在此背景下,本文主要研究 IR/PMMW 图像融合。

为改善复合探测器输出的融合图像的质量,提高复合探测器目标跟踪能力,提出一种新的基于多分辨分析的主成分融合方法(M-P)。新方法首先对红外与被动毫米波探测的坦克群图像按分辨率空间进行分解去噪,然后对重构后图像分别进行主成分变换得到各主分量,最后,将高分辨率图像的第1主分量代替低分辨率图像的第1主分量再做逆主分量变换,得到最终的融合图像。实验仿真结果表明,与PCA方法比较,新方法融合得到的图像能更好地区分目标。

1 图像多分辨分析去噪

多分辨分析是将图像或信息按分辨率表示成一系列函数空间:每个空间的构成都可由一个空间用统一的形式得到,所有空间的闭包则逼近全空间 $L^2(\mathbf{R})$,其中, \mathbf{R} 为一维欧氏空间。在每个空间中,由母函数生成该空间的标准正交基,从而可构成全空间 $L^2(\mathbf{R})$ 的标准化正交基。因此比较其他方法,多分辨分析具有统一的、快速的计算方法。

如果将信号在这类空间上进行分解,首先可以得到相互正交的时频特性,减少冗余信息,其次,可以非常好地刻画信号的非平稳性,如突变和断点等,能有效地将背景与目标区分开,最后,由于空间的分辨率特点,可以在不同分辨率情况下根据信号和噪声的分布来消除背景噪声^[8]。因此,多分辨分析方法有较好的去噪效果。

图像为二维信号,设 $\{V_j^i\}_{j \in \mathbf{Z}}$ 是空间 $L^2(\mathbf{R}^2)$ 的一个二维可分离的多分辨分析,即 $V_j^2 = V_j^1 \otimes V_j^1$,其中, $\{V_j^1\}_{j \in \mathbf{Z}}$ 是 $L^2(\mathbf{R})$ 上的一个多分辨分析,其尺度函数为 ϕ ,小波函数为 ψ 。则二维的可分离尺度函数、反映图像细节信息的二维水平方向(H)、垂直方向(V)和对角线方向(D)的可分离小波函数分别为

$$\begin{cases} \phi(x, y) = \phi(x)\phi(y) \\ \psi^H(x, y) = \psi(x)\phi(y) \\ \psi^V(x, y) = \phi(x)\psi(y) \\ \psi^D(x, y) = \psi(x)\psi(y) \end{cases} \quad (1)$$

定义伸缩和平移的尺度函数与小波基函数为

$$\begin{cases} \phi_{j,m,n}(x, y) = 2^{j/2} \phi(2^j x - m, 2^j y - n) = \phi_{j,m}(x) \phi_{j,n}(y) \\ \psi_{j,m,n}^H(x, y) = 2^{j/2} \psi^H(2^j x - m, 2^j y - n) = \psi_{j,m}(x) \phi_{j,n}(y) \\ \psi_{j,m,n}^V(x, y) = 2^{j/2} \psi^V(2^j x - m, 2^j y - n) = \phi_{j,m}(x) \psi_{j,n}(y) \\ \psi_{j,m,n}^D(x, y) = 2^{j/2} \psi^D(2^j x - m, 2^j y - n) = \psi_{j,m}(x) \psi_{j,n}(y) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $j \in \mathbf{Z}; m, n \in \mathbf{Z}^2$ 。

1.1 图像的多分辨分析分解

图像信号 $f(x, y) \in L(\mathbf{R}^2)$, 在第 $(j+1)$ 层分解中, 由第 j 层图像信号与其中一个小波基函数做内积后可

生成4个分解图像信号。

$$\begin{cases} A_{2^{j+1}} f = \langle A_{2^j} f, \phi_{j,m,n}(x, y) \rangle \\ D_{2^{j+1}}^H f = \langle A_{2^j} f, \psi_{j,m,n}^H(x, y) \rangle \\ D_{2^{j+1}}^V f = \langle A_{2^j} f, \psi_{j,m,n}^V(x, y) \rangle \\ D_{2^{j+1}}^D f = \langle A_{2^j} f, \psi_{j,m,n}^D(x, y) \rangle \end{cases} \quad (3)$$

由此得到多分辨分析分解图示,见图1。

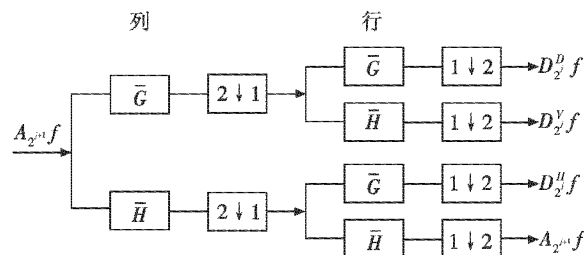


图1 图像的多分辨分析分解

Fig.1 MRA decomposition of the images

1.2 图像的多分辨分析重构

根据多分辨分析分解的第 N 层的低频系数和经过修改的第1到第 N 层各层的高频系数, 重构图像信息如图2所示。

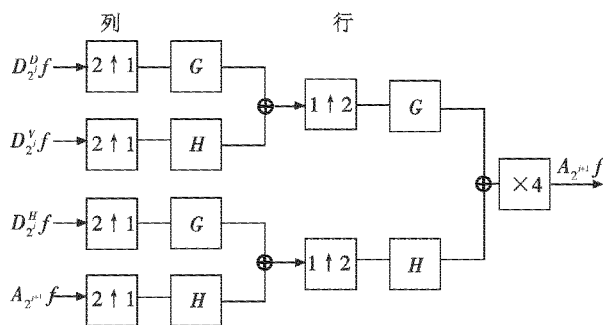


图2 图像的多分辨分析重构

Fig.2 MRA reconstruction of the images

图3a显示了原被动毫米波图像,图3b给出了用多分辨分析处理后的去噪图像。将两图比较可以看出,去噪后图像噪声有所消失,图像细节保留较完整。

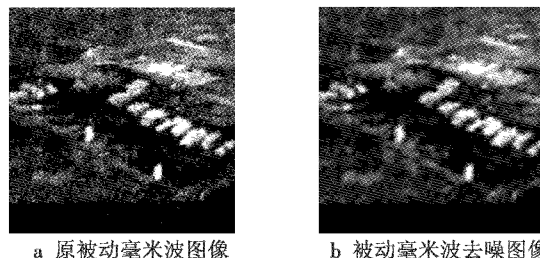


图3 毫米波被动探测图像与多分辨分析去噪图像

Fig.3 PMMW image and PMMW image after MRA denoising

2 主成分分析

主成分分析(PCA)又称为K-L变换,它是把原来多个变量化为少数几个综合指标的一种统计分析方法。

设 X 为待变换的图像数据矩阵, Y 为变换后的图像数据矩阵, A 为实现线性变换的变换矩阵, 即 $Y = AX$ 。如果变换矩阵 A 是正交矩阵, 并且它是由原始图像数据矩阵 X 的协方差矩阵的特征向量所组成, 则 $Y = AX$ 的线性变换称为 PCA 变换, PCA 变换后的数据矩阵 Y 的第 i 行向量表示 PCA 变换后的第 i 个主分量^[9-10]。

PCA 融合方法常用于全色图像与多光谱图像的融合处理, 随着图像融合范畴的不断扩大, PCA 方法被不断尝试用于多种图像数据的融合处理。传统的 PCA 方法对高分辨率图像与低分辨率图像进行融合的主要思想是: 首先, 对低分辨率图像进行主分量变换求得各主分量; 其次, 将高分辨率图像与第 1 主分量做直方图匹配; 最后, 将匹配后的高分辨率图像代替第 1 主分量, 并将它与其余主分量作逆主分量变换来得到融合图像。

3 M-P 融合方法

首先, 利用多分辨分析分别对红外与被动毫米波图像进行分解, 通过修改系数对图像先做去噪处理, 然后重构图像; 其次, 将重构后图像进行主分量变换得到各主分量; 最后, 将高分辨率图像的第 1 主分量代替低分辨率图像的第 1 主分量再做逆主分量变换来得到最终的融合图像。

新方法先将待融合图像进行去噪处理, 而且低分辨率图像的第 1 主分量不再是用匹配后的高分辨率图像代替, 而是改用高分辨率图像的第 1 主分量来替换。通常, 第 1 主分量(即特征分量)集中了原图超过 80% 的信息量, 新方法这样处理, 融合后图像在最大限度保留高分辨率图像优势的同时, 能有效去除冗余变量, 减少无用信息的干扰。M-P 融合方法流程如图 4 所示。

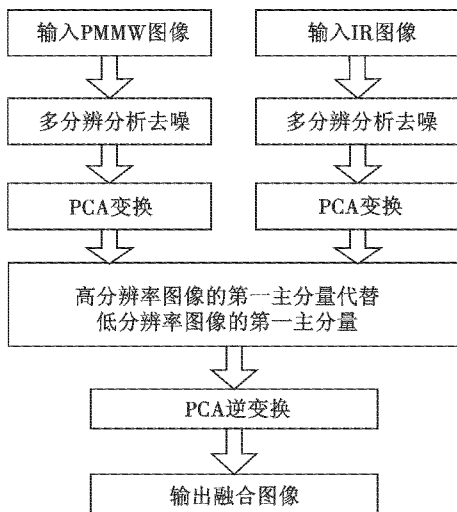


图 4 M-P 融合方法流程图

Fig. 4 Flow chart of M-P fusion method

4 M-P 融合方法仿真结果

本文用距离 200 ~ 300 m 处探测到的 IR 和 PMMW 坦克群图像进行仿真实验来验证 M-P 融合方法的可行性。为了进行对比, 也对传统的 PCA 融合方法进行试验。根据气候的多变性, 给出两种模拟条件下 IR/PMMW 坦克群图像的融合。

1) 气象条件好时。

图 5a、图 5b 分别显示了气候条件好时, IR 与 PMMW 探测到的坦克群图像。显然, 红外探测图像比毫米波被动探测图像分辨率高。



图 5 气象条件好时的原始图像

Fig. 5 Original images in good weather condition

图 6a、图 6b 分别显示了气象条件好时, 用 Matlab 给出的 M-P 方法融合的图像和 PCA 方法融合的图像。图 6a 所示为复合探测器最后输出的图像。

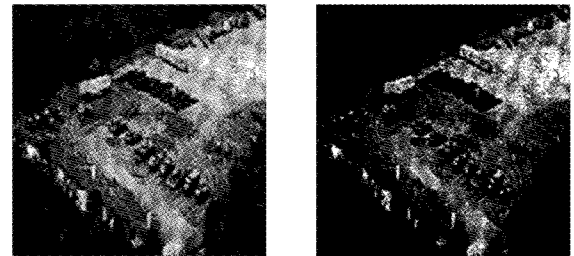


图 6 气象条件好时的融合图像

Fig. 6 Fused images in good weather condition

2) 多云、大雾、阴雨、沙尘暴等恶劣气象条件。

通常此时红外探测图像分辨率低, 被动毫米波探测图像分辨率比红外图像高。图 7a、图 7b 分别显示了 IR 与 PMMW 在恶劣气象环境下探测到的坦克群图像。

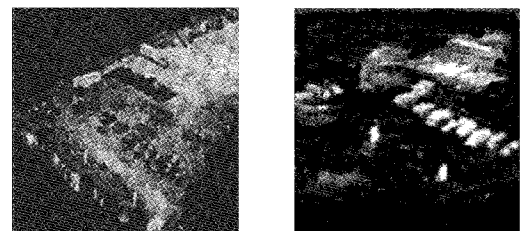
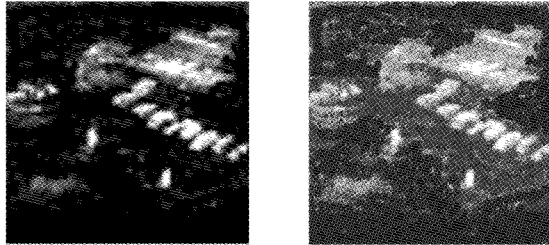


图 7 气象条件恶劣时的原始图像

Fig. 7 Original images in bad weather condition

图 8a、图 8b 分别是用 Matlab 给出气象条件恶劣时用 M-P 方法和用 PCA 方法融合的图片。图 8a 所示为复合探测器最后输出的图像。



a M-P融合图像2 b PCA融合图像2

图 8 气候条件恶劣时的融合图像

Fig. 8 Fused images in bad weather condition

5 M-P 融合方法仿真结果分析

IR/PMMW 复合制导的主要目的是使复合探测器能够尽量少地被气候及战场恶劣环境影响,确保其能够全天候工作。因此,评价 IR/PMMW 融合图像的质量,主要从两个方面来分析:1) 探测器输出的融合图像与融合前高分辨率图像的近似程度,近似度越高,表明融合图像越能发挥高分辨率图像的优势,因此,融合效果越好;2) 融合图像的清晰度以及坦克群目标与地物背景的区分度,区分度越高,融合效果越好。

图 6 与图 8 给出了两种气象条件下,IR/PMMW 坦克群图像的 M-P 融合仿真结果与传统的 PCA 融合仿真结果。

首先,分别比较图 6a、图 8a 与图 6b、图 8b 的结果。显然,从图 6a 及图 8a 复合探测器输出图像的视觉效果能够观察到,无论气候条件好坏,M-P 融合方法得到的融合图像均是分辨率较高、清晰度较好的图像。比较 PCA 融合图像,M-P 融合图像能更好地将坦克群与地物背景区分开,可见,M-P 融合方法比传统 PCA 融合方法融合效果要好,有助于 IR/PMMW 复合导引头精确识别坦克群目标,实现快速探测和跟踪目标。

其次,再用图像的相关系数来定量分析融合图像与融合前高分辨率图像的近似度。相关系数反映的是两幅图像的接近程度,相关系数越接近 1,说明图像的相似程度越好,其定义为

$$C(A, B) = \frac{\sum_{m,n} [(A(m,n) - \bar{A}) \times (B(m,n) - \bar{B})]}{\sqrt{\sum_{m,n} [(A(m,n) - \bar{A})^2] \sum_{m,n} [(B(m,n) - \bar{B})^2]}} \quad (4)$$

式中: $A(m,n)$ 和 $B(m,n)$ 分别为两幅图像的灰度值; \bar{A} 和 \bar{B} 分别为其均值。表 1 给出了两种模拟条件下,复合

探测器输出的融合图像与原高分辨率图像的相关系数,均接近 1,说明融合图像与原高分辨率图像非常相似。因此 M-P 融合效果更好。

表 1 原高分辨率图像与融合图像的相关系数

Table 1 Correlation coefficient between original high resolution image and fused image

	与原高分辨率图像对应的相关系数		
	R	G	B
M-P 融合图像 1	0.9639	0.9639	0.9639
M-P 融合图像 2	0.8939	0.8983	0.8981

6 结束语

IR/PMMW 复合导引头军事应用前景广泛。为了改善 IR/PMMW 复合探测器输出图像的质量,本文提出一种新的基于 MRA 和 PCA 的 M-P 图像融合方法,仿真实验表明融合效果良好,确保复合探测器能全天候工作,复合探测器输出的融合图像能有效地将军事目标与地物背景区分开,具有一定的实际应用价值。另外,本文对提高双模导引头图像融合质量研究具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 聂建英,李兴国,娄国伟. PMMW 装甲目标小波包分析与辐射特性研究[J]. 电光与控制,2011,18(3):72-75.
- [2] 林晓敏,聂建英. PMMW 金属目标图像处理与计数技术实现[J]. 电光与控制,2012,19(7):71-74.
- [3] 章蕾,高志峰,李黎明,等. 红外成像/毫米波雷达复合导引头信息融合研究[J]. 激光与红外,2010,40(2):158-161.
- [4] 徐琰珂,梁晓庚,贾晓洪. 雷达/红外复合导引头信息融合算法[J]. 红外与激光工程,2012,41(1):30-36.
- [5] 潘勃,冯金富,李骞,等. 毫米波/红外多传感器融合跟踪算法研究[J]. 红外与毫米波学报,2010,29(3):230-235.
- [6] 许建忠,王祖林,郭旭静. 基于决策信息的毫米波/红外复合制导信息融合[J]. 控制与决策,2012,27(1):120-128.
- [7] 宋崧,王学田,邓甲昊. 被动毫米波成像系统的发展状况及其关键技术[J]. 科技导报,2011,29(19):74-79.
- [8] 张德丰. MATLAB 小波分析[M]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [9] 刘辅兵. 基于小波技术的多源遥感图像融合研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [10] 蒋年德,王耀南. 一种新的基于主分量变换与小波变换的图像融合方法[J]. 中国图象图形学报,2005,10(7):910-915.