

基于偏振成像技术和图像融合理论杂乱背景压缩

赵永强, 潘 泉, 陈玉春, 张洪才
(西北工业大学自动化学院, 陕西西安 710072)

摘 要: 文章在光学偏振理论的基础上, 根据 Stokes 图像之间的相互联系和特征, 提出了一种基于 Stokes 图像能量特征和噪声特征的小波域图像融合规则, 以便高效地压缩图像中的杂乱背景; 同时给出残余杂乱背景与总杂乱背景的比率 RCC 的定义, 并结合信杂比 SCR 的定义对背景的压缩程度进行评价. 实验仿真结果表明该方法在杂乱背景压缩方面具有优越性.

关键词: 偏振特征; Stokes 图像; 小波变换; 图像融合

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2005)03-0433-03

Clutter Reduction Based on Polarization Imaging Technology and Image Fusion Theory

ZHAO Yong-qiang, PAN Quan, CHEN Yu-chun, ZHANG Hong-cai
(College of Automatization, Northwest Polytechnic University, Xian, Shanxi 710072, China)

Abstract: Based on optical polarization theory and the relation and character among Stokes images, a wavelet based image fusion rule is proposed to reduce the clutter in image based on the character of the Stokes images' energy and noise. The remnants clutter to clutter (RCC) and signal to clutter ratio, which is proposed, are used to evaluate the effect of clutter reduction. Through experiment and simulation, it is shown that this method can work well in clutter's reduction.

Key words: polarized character; Stokes images; wavelet transformation; image fusion

1 引言

在目标跟踪和识别中, 通常光电传感器所获得图像由于受目标所处杂乱背景(植被、地况、云、雨、雪等自然物体、现象)的影响, 使得跟踪和识别精度受到很大的影响. 如何减小或去除杂乱背景的影响是一个在目标跟踪和识别领域急需解决的问题. 通常基于图像的目标跟踪和识别都需要经过复杂的预处理: 图像滤波、分割, 将目标与杂乱背景进行分离^[8]. 目前所用的滤波技术不仅需要花费大量的计算时间, 而且效果不好, 给后期的检测和识别带来极大的困难. 由于人造物体和自然物体对辐射偏振特征的影响不同, 可以利用光的偏振特征, 在复杂的自然环境中帮助检测和分离出人造物体, 而且可以有效地减小图像杂乱背景的影响^[1,2]. 偏振图像反映了目标及其所处环境的偏振特征, 可以通过实验所得的 Stokes 图像(Stokes 图像为各 Stokes 参数所对应的图像)经过一定的图像融合算法获得. 图像融合是将两幅或者多幅图像通过一定的融合方法^[3~7]组合成一幅图像, 融合后的图像与原图像比较具有更好的性能, 可以减小图像的背景噪声, 因此可以将图像融合理论应用到偏振图像的获取过程中, 极大地提高偏振图像的性能.

2 Stokes 图像获取

2.1 目标的偏振特征描述

偏振是光的四个基本特性之一, 但通常的光电传感器只描述目标及所处环境辐射的强度差异, 这使一些对目标跟踪和识别有负面影响的干扰因素都被描绘到目标的成像图上. 这样在图像上就会有大量的杂乱背景, 而且在某些条件下这种杂乱背景信号会将有用的目标信号淹没.

利用自然物体和人造物体对辐射偏振特征影响的差别, 可以有效地压缩成像图中的杂乱背景. 对于任意一个目标, 只要从一个光滑表面反射或者辐射, 并且从一定角度来观察, 线偏振总会发生. 而对于目标所处的背景(如泥土、植被)来说, 它们都是相对粗糙的, 因此它们的辐射或反射光几乎没有线偏振产生. 这样, 经过偏振滤波器之后的图像就不包含背景的杂乱信号, 只包含人造目标的信息, 这对于减小杂乱背景的影响来说是非常有利的. 为了更准确说明偏振图像的产生过程, 下面首先介绍一下偏振理论的基本概念.

光的偏振特征可以用 Stokes 矢量来描述. 用以描述光的偏振特征的 Stokes 矢量的通用表达式为:

$$S = (S_0, S_1, S_2, S_3)^T = (I, Q, U, V)^T \quad (1)$$

2.2 Stokes 图像获取原理

Stokes 参量都是具有强度的单位, 可以用光电测量方法间接获得. 在此利用文献[1]、[2]中所述的偏振成像器来获得 Stokes 图像, 偏振成像器的原理图如下所示.

图1中, I_{total} 是未经分析的总光量; I_{total} 经过延迟器之后变成线偏振光, 且该偏振光的偏振方向与延迟器的光轴方向相同; 该线偏振光经过光轴与延迟器的光轴成一定夹角 θ 的起偏器之后得到 $I_0(\theta$ 取 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, 当 $\theta = 0^\circ$ 时表示检偏器安装在水平方向), 角度测量从水平轴逆时针方向开始. 根据图1中得到的 $I_0, I_{45}, I_{90}, I_{135}$, 利用下列公式:



$$S_0 = \frac{1}{2} (I_0 + I_{45} + I_{90} + I_{135}) \quad (2)$$

$$S_1 = I_0 - I_{90} \quad (3) \quad S_2 = I_{45} - I_{135} \quad (4)$$

通过式(2)~(4)就可以计算出 Stokes 图像 S_0, S_1, S_2 . 将 Stokes 图像进行融合处理后得到的图像在文中称为偏振图像.

3 Stokes 图像融合方法

图像融合是将两幅或者多幅不同的图像用一定的融合方法[3]组合成为一幅新的图像. 融合后的图像提供了比原图像更好的性能, 如: 增加图像的可信度、减小图像的歧义、增加图像的可分类能力、减小图像的噪声含量等. 这些优势使图像融合广泛应用于军事目标识别与跟踪、医疗图像处理、机器视觉、地理信息分析、遥感图像处理等领域.

图像融合作为信息融合理论的一个分支, 近年来不断有新的融合方法出现. 最常用的方法有: 基于 IHS (Intensity Hue Saturation) 变换的融合方法[4], 基于 Laplacian 变换的融合方法[5], 基于小波变换的融合方法[3~5,7]等. 利用小波变换可以将图像分解成不同尺度上的低频近似信息和高频细节信息, 这样为融合产生新的图像提供了一个框架, 在这个框架上可以使用各种不同的融合规则来对不同来源的图像进行融合. 由于小波变换(指提升框架)可以硬件执行且速度快, 基于小波变换的图像融合技术受到人们的极大关注. 基于小波变换的图像融合方法的原理如图2所示:

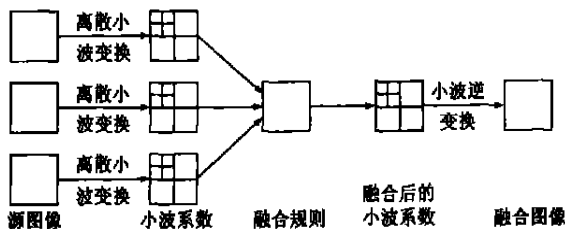


图2 基于小波变换的图像融合过程框图

从 Stokes 图像的获取公式和偏振特征的提取原理可以看出图像 S_0, S_1, S_2 中所包含的能量各有不同, 因为通过偏振器件所获得的图像 $I_0, I_{45}, I_{90}, I_{135}$ 中的能量分布不同, I_{45} 和 I_{135} 中所包含的能量只有 I_0 中的 0.5 倍左右, 而在 I_{90} 中所包含的能量只有 I_0 中的 0.1 倍不到, 因此可以利用各 Stokes 图像的能量和所包含信息(目标有用信息、杂乱背景的信息和噪声信息)的不同来确定融合规则.

定义一幅大小为 $M \times N$ 的图像 $S(x, y)$ 的平均能量为:

$$E = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N S(x, y)^2 \quad (5)$$

而对图像 $S(x, y)$ 进行小波变换之后, 图像的小波变换系数 $w(x, y)$ (假定图像做一次小波分解, 得到 4 个 $\frac{N}{2} \times \frac{M}{2}$ 的系数矩阵: HH、HL、LH、LL) 的能量为:

$$E_w = \frac{4}{M \times N} \sum_{x=1}^{M/2} \sum_{y=1}^{N/2} w(x, y)^2 \quad (6)$$

根据式(5)、(6)的定义, 可得 Stokes 图像在小波域基于能量的图像融合的规则如下:

$$w_{i,j} = aw_{i_0j}^S + bw_{i_1j}^S + cw_{i_2j}^S \quad (7)$$

在式(7)中权值系数 a, b, c 根据图像小波变换域的能量和图像中的噪声(包含未消除的少量杂乱背景信号)含量而定: 定义图像小波域的能量系数为 $a_e = E_{u0}^S / E_w^{total}$, $b_e = E_{u1}^S / E_w^{total}$, $c_e = E_{u2}^S / E_w^{total}$; $E_{u0}^S, E_{u1}^S, E_{u2}^S$ 分别表示 Stokes 图像 S_0, S_1, S_2 小波变换系数的能量; $E_w^{total} = E_{u0}^S + E_{u1}^S + E_{u2}^S$; $w_{i,j}$ 表示融合后所得图像的小波系数; $w_{i_0j}^S, w_{i_1j}^S, w_{i_2j}^S$ 分别表示 Stokes 图像 S_0, S_1, S_2 经过小波分解后的小波系数.

根据实际的图像采集和提取结果分析来看, 在图像中噪声(包含未消除的少量的杂乱背景信息)的情况比较: 假定 S_2 中含有的噪声量最小, 其次是 S_1 , 在 S_0 中含有的噪声量最大. 因此以图像 S_2 的能量 E_{S_2} 为基准, 确定噪声调节系数: $a_n = E_{S_2} / E_{S_0}$, $b_n = E_{S_2} / E_{S_1}$, $c_n = 1$. 最后得权系数为 $a = a_e \times a_n$, $b = b_e \times b_n$, $c = c_e \times c_n$.

为了对融合后图像中的杂乱背景的压缩情况做出准确评价, 下面提出对背景压缩程度的一个量化描述. 设无背景噪声的目标理想图像为 $T(i, j)$, 经过上述方法得到的偏振图像为 $S(i, j)$ (图像大小均为 $M \times N$), 则两幅图像的均方根误差 RMSE(Root Mean Square Error)为:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (T(i, j) - S(i, j))^2 / M \times N} \quad (9)$$

由此定义目标信号与杂乱背景的比率 SCR[8]

$$SCR = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N S(i, j)^2 / RMSE^2} \quad (10)$$

通过求取融合处理后图像的信杂比, 可知该算法对杂乱背景的压缩量. 通过信杂比的定义可知, 信杂比只能反映对杂乱背景的压缩量, 而不能可靠的反映经过融合处理后图像中的杂乱背景的残余量. 设未经偏振滤波处理的原始图像 $I(i, j)$ (图像大小为 $M \times N$), 为了衡量融合处理后偏振图像中的杂乱背景的残余量, 在此定义残余杂乱背景与总杂乱背景的比率 RCC(Remnants Clutter to Clutter) 如式(11)所示:

$$RCC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (T(i, j) - S(i, j))^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (T(i, j) - I(i, j))^2}} \quad (11)$$

通过求取 RCC, 可以准确地知道在融合处理后图像中的杂乱背景的残余量. 通过综合比较原始图像和偏振图像的 SCR 以及偏振图像的 RCC, 就可以评估算法对杂乱背景的压缩效果.

4 仿真结果与分析

4.1 偏振图像的获取

根据图 1 所示的实验原理来搭建整个试验系统, 采集经过偏振装置后的 I_0 、 I_{45} 、 I_{90} 和 I_{135} 图像, 将采集得到的图像送到计算机中进行如下处理: 首先计算场景的 Stokes 图像 S_0 、 S_1 、 S_2 , 然后对 Stokes 图像利用第 3 部分中提出的融合方法进行融合处理, 从而获得目标的偏振图像 S . 在融合过程中, 为使计算快速, 使用 Lazy 小波变换.

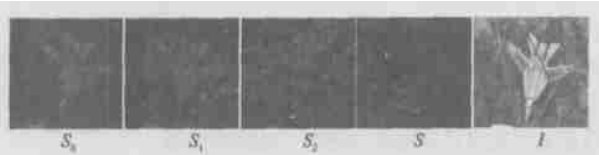


图 3 室内光照条件下的 Stokes 图像、偏振图像以及原始图像

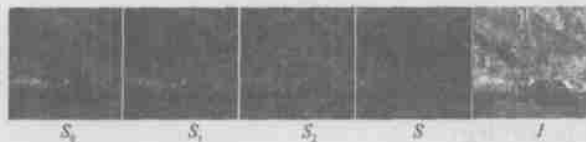


图 4 室外晴天条件下的 Stokes 图像、偏振图像以及原始图像



图 5 室外阴天条件下的 Stokes 图像、偏振图像以及原始图像

在实际的实验过程中, 要考虑到光照情况等自然条件对采集图像的影响, 以及对后续计算得到的各个图像的影响, 试验分别在以下三种不同的光照条件下进行: 室内日光灯为光源的条件下; 室外晴天光照较强的条件下; 室外阴天光照较弱的条件下. 实验分析结果图像分别如图 3、4、5 所示, 各种光照条件下融合结果图像的信杂比 (SCR) 以及残余杂乱背景与总杂乱背景的比率 (RCC) 如表 1 所示.

表 1 不同光照条件下原始图像的信杂比和偏振图像的信杂比、RCC 值

	室内	室外、晴天	室外、阴天
原始图像 I 的 SCR	0.5178	0.5635	0.1531
偏振图像 S 的 SCR	0.9383	2.3288	0.8281
偏振图像 S 的 RCC	0.0857	0.1284	0.1036

4.2 结果分析

通过比较图 3~5 中 S 和 I 可以看出, 图像 S 中仅残存极少量的杂乱背景, 这为进一步的目标检测和识别提供了便利. 同时比较 S 和 I 的信杂比, 可以看出经过图像融合后得到的偏振图像 S 较原始图像 I 杂乱背景有了极大的压缩, 信杂比也有了极大的提高. 同时比较在室内日光灯为光源的条件下与室外晴天条件、室外阴天条件下的偏振图像的 RCC 可以发现, 在室内日光灯为光源的条件下所获得的偏振图像的 RCC 最低, 室外阴天所获得的偏振图像的 RCC 次之, 而室外晴天条件下所获得的偏振图像的 RCC 最高. 这是因为, 在室外晴天条件下, 太阳光由于大气等条件的影响变成部分偏振的, 这给采集得到的图像带来了一定的误差 (使部分自然背景反射的光也成为部

分偏振光, 在计算得到的 Stokes 图像中含有相对较多的杂乱背景), 使得利用各 Stokes 图像进行融合后得到的融合图像背景压缩性能要比在室内条件下以及室外阴天条件下差.

5 结论

从实验和仿真结果可以看出, 基于目标 Stokes 图像和以小波变换为基础的图像融合理论可以有效地应用于偏振图像的获取过程中, 而且通过这些方法所获得的偏振图像较原始图像杂乱背景有了极大的压缩. 但是, 基于被动式偏振成像的背景压缩技术要受到天气、光照等自然条件的限制是该方法的一个很大缺陷, 而主动式偏振成像技术具有不受天气、光照等自然条件限制的优点, 从而将成为进一步研究的重点.

由于提升框架计算的快速性和便于硬件执行, 将提升框架应用于图像分解中, 可以使这种图像融合方法便于在偏振图像提取的传感器系统之中使用, 从而获得更高质量的偏振图像. 而如何将该系统作为一个能够实际应用的传感器系统是下一步将要作的工作.

参考文献:

- [1] FRANK CREMER, WIM DE JONG, KALMER SCHUTTER. Infrared polarization measurements of surface and buried anti-personnel land mines [A]. Abinask C, Dubey Detection and Remediation Technologies for Mines and Mine-like Targets VI [C]. USA: SPIE, 2001, 4394, 164-175.
- [2] LAWRENCE B WOLFF. Applications of polarization camera technology [J]. IEEE Expert, 1994, 10(5): 30-38.
- [3] RANJITH T, CHAVELI RAMESH. A lifting transformation algorithm for multi-sensor fusion [J]. CRL Technical Journal, 2001, 3(3): 1-5.
- [4] TSUKASA HOSOMURA, KOUICHI KATHO. Optical image data fusion by using intensity operation on HIS transformation [A]. Tammy Stein, F GARSS' 98 IEEE International [C]. USA: IEEE, 1998, 1318-1319.
- [5] HUI LI, MANJUNATH B S, SANJIT K MITRA. Multi-sensor image fusion using the wavelet transform [A]. George W Swenson, Proceeding ICIP94 [C]. Texas: IEEE, 1994, 51-55.
- [6] SHUTAO LI, JAMES KWOK T, YAONAN WANG. Using the discrete wavelet frame transform to merge Landsat TM and SPOT panchromatic images [A]. Robert Lynch, Proceedings of Fifth International Conference on Information Fusion [C]. USA: IEEE, 2002, 17-23.
- [7] HENRI MAITRE, ISABELE BLOCH. Image fusion [J]. Vistas in Astronomy, 1997, 41(3): 329-335.
- [8] SAMUEL BLACKMAN, ROBERT POPOLI. Design and Analysis of Modern Tracking Systems [M]. Boston London: Artech House, 1999, 120-134.

作者简介:



赵永强 男, 1976 年 7 月出生于甘肃临洮, 现为西北工业大学博士研究生, 2001 年 3 月获西北工业大学机械电子工程硕士学位, 2005 年获博士学位, 现为西北工业大学讲师, 主要研究方向为成像偏振探测、小波分析、图像融合、目标识别, 已在国内外期刊、会议发表论文 10 余篇.
E-mail: zyqxy@nwpu.edu.cn