

# 基于自适应无下采样提升框架的 Stokes 图像 获取方法\*

赵永强 潘 泉 张洪才

(西北工业大学自动化学院, 西安 710072)

**摘 要** 根据成像偏振探测中 Stokes 参数图像获取的原理和方法, 分析了传统求取 Stokes 参数图像方法在保留图像细节信息和处理输入图像微小平移等方面的不足, 在此基础上提出了基于自适应平移不变小波分解的 Stokes 参数图像求取方法, 并用无下采样的提升框架来执行平移不变小波分解以提高算法的灵活性和计算速度. 针对不同的 Stokes 参数图像求取方法, 用均值、方差、熵、边界能量对融合结果进行评价和分析. 通过仿真, 表明本文方法提高了 Stokes 参数图像的质量并改善了 Stokes 参数图像计算方法对输入图像平移的敏感性.

**关键词** Stokes 图像; 图像融合; 平移不变小波; 提升框架

**中图分类号** TN21 **文献标识码** A

## 0 引言

利用成像偏振技术可以有效的提高目标与背景之间的对比度, 为进一步的自动目标识别和检测提供了便利, 因此在国内外军事探测领域受到密切关注<sup>[1~3]</sup>. 现有的成像偏振探测设备主要通过测量检偏器(Polarizer)在不同方位角的  $I(\theta)$  图像, 在此基础上计算 Stokes 参数图像进而计算偏振度和偏振相角图像<sup>[1~3]</sup>. 如果在采集  $I(\theta)$  图像的过程中, 由于器件的震动、旋转检偏器过程中的延迟、场景的运动因素等造成  $I(\theta)$  图像之间的微小平移, 通过这些  $I(\theta)$  图像计算得到的 Stokes 图像存在很大的误差<sup>[2]</sup>, 进而影响后期检测和识别的可靠性和准确性.

要获得高精度的 Stokes 图像, 一种方法是通过改进探测设备的精度和稳定性以便获得准确的  $I(\theta)$  图像, 但这种方法代价很高且改进效果不明显<sup>[2]</sup>, 同时无法避免由于计算方法的缺陷造成 Stokes 参数图像对比度降低、细节信息丢失等方面问题. 另一种方法是通过改进 Stokes 参数图像的计算方法, 以便获得高质量的 Stokes 参数图像, 本文将第二种方法为基础展开研究. 考虑到基于小波变换的图像融合在保留图像的细节信息、对比度信息方面的优势<sup>[4~6]</sup>, 以及平移不变小波对场景微小平移的不敏感性<sup>[5,7]</sup>, 本文提出一种基于自适应平移不变小波变换的 Stokes 参数图像获取算法, 来获得高质量的 Stokes 参数图像.

## 1 偏振成像原理

描述光束偏振特征 Stokes 矢量的通用表达式为<sup>[1,8]</sup>

$$S = (I, Q, U, V)^T \quad (1)$$

式中:  $I$  表示光束的总强度;  $Q$  表示光束水平方向上的线偏振分量;  $U$  表示光束  $45^\circ$  的方向上的线偏振分量;  $V$  表示与光束圆偏振相关的参量. 在通常情况下, 反射光以部分线偏振光为主, 因此通常取  $V=0$ .

本文利用 Wollf<sup>[1]</sup> 等人提出的 Stokes 图像获取的实验方法, 原理如图 1.

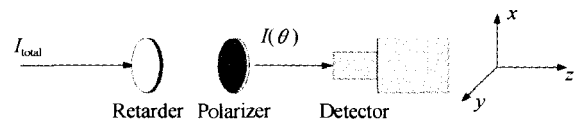


图 1 成像偏振探测原理图

Fig. 1 Principle figure of imaging polarized detector system  
通过旋转检偏器到不同的  $\theta$  方位角得到一个  $I(\theta)$  图像序列, 利用式

$$I = \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^N I(\theta_j) \quad (2)$$

$$Q = \frac{2}{N_j} \sum_{j=1}^N I(\theta_j) \cos(2\theta_j) \quad (3)$$

$$U = \frac{2}{N_j} \sum_{j=1}^N I(\theta_j) \sin(2\theta_j) \quad (4)$$

就可以计算出  $I, Q, U$  参数图像.

从计算 Stokes 参数的式(2)、(3)、(4)可以看出: Stokes 参数图像  $I, Q, U$  的计算过程实际上是将输入的图像序列  $I(\theta)$  进行算术加权融合的过程. 由图像融合的基本理论可知, 基于算术加权的图像融合会降低融合后图像的对比度, 这与偏振成像目的相反(增强图像中目标与背景的对比度), 同时这种方法也会产生较严重的方块效应, 会造成大量细

\*航空基金(03D53032)、国防预研基金(51401040204HK0359)、校科技创新基金等资助  
Tel: 029-88494352 Email: zyqcxy@nwpu.edu.cn  
收稿日期: 2004-06-14

节信息的丢失.

为避免丢失细节信息、减小方块效应等缺陷,多数图像融合方法在进行融合之前首先将输入图像进行多分辨率分解,然后对分解系数进行各种运算,这样可以避免对比度的降低、方块效应、细节信息丢失等问题带来的弊端.

## 2 融合算法

图像融合理论作为信息融合理论的一个分支,

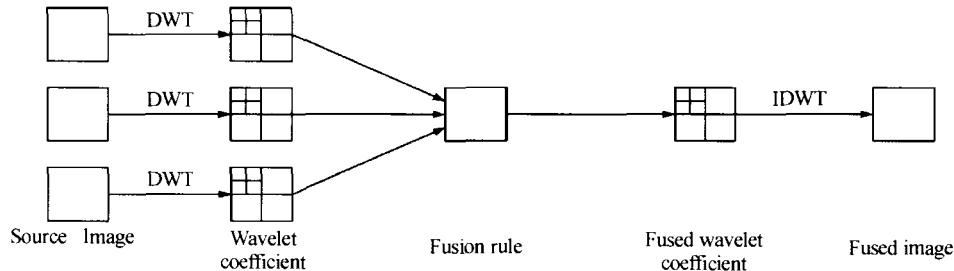


图2 基于小波变换的图像融合过程框图

Fig. 2 The flow chart of wavelet image fusion

为了使计算得到的 Stokes 参数图像保留尽可能丰富的细节信息,并且使计算过程对场景的微小平移不敏感以及满足计算过程快速性等要求,在此我们提出基于自适应无下采样提升框架的 Stokes 参数图像获取算法,具体过程如下所述:

1) 对所采集的  $I(\theta)$  图像进行预滤波处理;

2) 根据 Stokes 参数图像计算过程中应该尽可能的保留各  $I(\theta)$  图像之间的差别信息,以及尽可能的减小 Stokes 参数图像中出现“振铃效应”、“方块效应”等畸变,应选择双正交长支撑的小波基;

3) 根据检偏器的旋转速度、采集平台的稳定性以及场景的相对运动情况等因素来确定对  $I(\theta)$  图像的分解层数. 如果检偏器的旋转速度很快(如采用电调谐偏振片等)、采集平台相对稳定以及场景的相对运动速度较慢,在此情况下对  $I(\theta)$  图像的分解层数可以较少;如果检偏器的旋转速度慢(如电机拖动旋转等条件下)或者采集平台相对不稳定以及场景的相对运动速度较快等条件下,要求对  $I(\theta)$  图像的分解层数较多,以便满足 Stokes 参数图像较高的要求;

4) 对  $I(\theta)$  图像进行无下采样的提升框架分解,则第  $k$  层、 $l$  方向、位置  $(x, y)$  处的分解系数为  $I(\theta, x, y, k, l)$ ;

5) 在  $I(\theta)$  图像的每一层小波系数上执行式(2)、(3)、(4)得到相应的融合系数,则式(2)、(3)、(4)变为

$$\tilde{I}(x, y, k, l) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N I(\theta_j, x, y, k, l) \quad (5)$$

$$\tilde{Q}(x, y, k, l) = \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N I(\theta_j, x, y, k, l) \cos(2\theta_j) \quad (6)$$

$$\tilde{U}(x, y, k, l) = \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N I(\theta_j, x, y, k, l) \sin(2\theta_j) \quad (7)$$

近年来不断有新的融合方法出现. 最常用的方法有:基于 HIS (Intensity- Hue-Saturation) 变换的融合方法<sup>[4]</sup>,基于 Laplacian 变换的融合方法<sup>[4]</sup>,基于小波变换的融合方法<sup>[4~7,9~11]</sup>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对各种不同来源的图像进行融合,基于小波变换的图像融合方法的原理如图 2.

6) 通过对融合系数  $\tilde{I}(x, y, k, l)$ 、 $\tilde{Q}(x, y, k, l)$ 、 $\tilde{U}(x, y, k, l)$  进行重构,得到相应的 Stokes 参数图像  $\tilde{S}_0$ 、 $\tilde{S}_1$ 、 $\tilde{S}_2$

$$\tilde{S}_0 = IDWT_0(\tilde{S}_0(k, l)) \quad (8)$$

$$\tilde{S}_1 = IDWT_1(\tilde{S}_1(k, l)) \quad (9)$$

$$\tilde{S}_2 = IDWT_2(\tilde{S}_2(k, l)) \quad (10)$$

7) 计算相应的评价指标,确定融合结果的性能;

8) 评价指标满足要求,输出结果并退出,否则返回 2).

怎样去评价融合结果的好坏是人们一直在探索的问题. 由于没有标准图像可比,评价常常依据目视判定进行. 例如,观察融合图像是否比原图像清晰度高、分辨率高,如果是则说明融合结果好. 考虑到图像大小的一致性,可以从数理统计角度、视觉测量方面进行分析和比较. 统计参数包括融合图像的均值、方差、熵、边界能量等,熵是衡量信息丰富程度的一个重要指标,熵值提高说明融合后信息量比原始图像有所增加,而边界能量提高说明了融合图像突出了图像细节,达到了融合目的. 因此,文中选用均值、方差、熵、边界能量来评价本文算法的性能.

## 3 实验仿真

利用图 1 中所示的  $I(\theta)$  图像获取方法来采集  $I(\theta)$  图像,其中  $N=4$ ,  $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  即采集  $I_0$ 、 $I_{45}$ 、 $I_{90}$ 、 $I_{135}$  参数图像,为验证本文算法的有效性,对所采集的  $I_0$ 、 $I_{45}$ 、 $I_{90}$  和  $I_{135}$  图像在水平方向和垂直方向上分别平移 3~4 个像素,以平移后的图像  $\tilde{I}_0$ 、 $\tilde{I}_{45}$ 、 $\tilde{I}_{90}$  和  $\tilde{I}_{135}$  为  $I(\theta)$  图像,计算 Stokes 参数图像.

在仿真过程中所选取的小波为无下采样的三次

样条小波,具体执行过程中用提升框架完成分解和重构,其参数如下

$$h(z) = 2^{-4}(z^{1/2} + z^{-1/2})^4 \quad (11)$$

$$g(z) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}z^{-1} \quad (12)$$

其中,  $h_0 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$ ,  $h_1 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$ ,  $h_2 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$ ,  $h_3 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}$

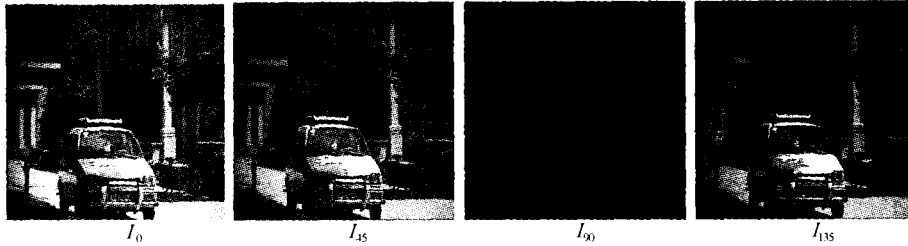


图3 输入序列图像  
Fig. 3 Input image sequence

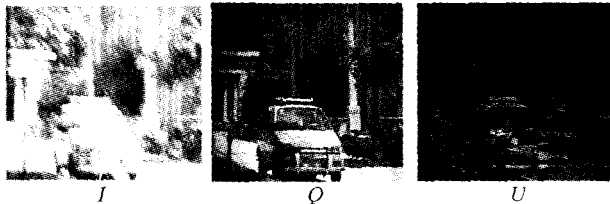


图4 直接计算得到的 stokes 图像  
Fig. 4 Stokes images calculated directly



图5 用懒惰小波执行本文计算得到的 stokes 图像  
Fig. 5 Stokes images calculated by this paper's method performed by "Lazy" wavelet

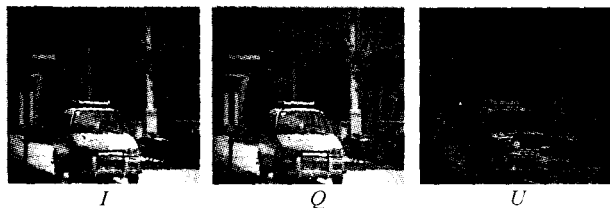


图6 无下采样的三次样条小波执行本文算法得到的 stokes 图像  
Fig. 6 Stokes images calculated by this paper's method performed by unsampled cubic spline wavelet

分别计算两种方法得到的 Stokes 参数图像的均值、方差、熵、边界能量以及整个运算过程所花的时间,如表 1(用 P42. 4、256M DDR,在 Matlab 6. 1 上实现整个仿真过程)。

由表 1 中的数据比较可以看出,通过本文算法(用懒惰小波执行和无下采样的三次样条小波执行)得到的 Stokes 参数图像的熵以及边界能量都比直

为比较本文算法的有效性,以及不同滤波器对 Stokes 参数图像的影响,用懒惰小波执行本文算法中的小波分解。

图 3 为输入序列图像,图 4 列出了直接计算得到的 Stokes 参数图像,图 5 给出了用支撑很短且正交的懒惰小波执行本文算法时得到的 Stokes 参数图像,图 6 给出了用无下采样的三次样条小波执行本文算法时得到的 Stokes 参数图像。

表 1 三种方法得到的 Stokes 参数图像的均值、方差、熵、边界能量以及计算时间

|        | 直接计算     | 用懒惰小波执行本文算法 | 无下采样的三次样条小波执行本文算法 |
|--------|----------|-------------|-------------------|
| 均值     | 110.0784 | 109.0110    | 107.1132          |
| 方差     | 86.5087  | 82.1374     | 81.9238           |
| 熵      | 5.0994   | 5.1102      | 5.1137            |
| 平均边界能量 | 31.1     | 36.7        | 41.3              |
| 时间     | 0.0042   | 0.0140      | 0.0142            |

接用式(2)、(3)、(4)计算得到的图像有较大的增加,前者表明融合增加了信息量,而后者的显著变化说明 Stokes 参数图像具有更加突出的边缘信息,具有较好的效果。而用无下采样的三次样条小波执行的本文算法得到的结果比用懒惰小波执行的本文算法得到的结果在各个性能参数方面均具有优势。直接比较图 4、图 5 和图 6 也可以直观的看出,通过无下采样的三次样条小波执行本文算法得到的 Stokes 参数图像边缘轮廓清晰、边缘细节信息丰富,用懒惰小波执行本文算法得到的 I 参数图像边缘比较模糊,直接按式(2)、(3)、(4)计算得到的 Stokes 参数图像边缘非常模糊(由于  $I_0$ 、 $I_{45}$ 、 $I_{90}$  和  $I_{135}$  图像之间存在微小的平移),且对比度很差。这说明无下采样的三次样条小波执行的本文算法在保留图像细节信息、容忍任意方向的微小平移等方面具有良好的性能,为计算高质量的 Stokes 参数图像提供了便利,并且本文算法所用的时间代价比直接计算所用时间增加不多,具有一定的实用性。

## 4 结果与讨论

本文利用平移不变小波图像融合方法计算

stokes 图像, 获得了较好的鲁棒性, 同时所获得的 stokes 参数图像具有很高的清晰度, 并且保留了较多的细节信息和较好的对比度信息, 为进一步的目标检测和识别提供了便利. 并且本文的算法速度较快, 为成像偏振探测的实际应用提供了便利.

#### 参考文献

- 1 Wolff L B. Applications of polarization camera technology. *IEEE Expert*, 1995, **10**(5):30~38
- 2 Smith M H, Woodruff J B, Howe J D. Beam wander consideration in imaging polarimetry, polarization: measurement, analysis, and remote sensing II. *Proceedings of SPIE*, 1999, **3745**:50~54
- 3 Filippidis A, Jain L C, Martin N M. Using genetic algorithm and neural networks for surface land mine detection. *IEEE Trans on Signal Processing*, 1999, **47**(1):176~186
- 4 Piella G. A general framework for multiresolution image fusion: from pixels to regions. *Information Fusion*, 2003, (4):259~280
- 5 Sari-Sarraf H, Brzakovic D. A shift-invariant discrete wavelet transform. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1997, **45**(10):2621~2630
- 6 Hill P, Canagarajah N, Bull D. Image fusion using complex wavelets. *BMVC*, 2002. 487~496
- 7 Chang Soo Lee, Chang Kil Lee, Kyung Yul Yoo. New lifting based structure for undecimated wavelet transform. *Electronics Letters*, 1998, **36**(22):1894~1895
- 8 Zhao Yongqiang, Zhang Hongcai, Pan Quan. Object detection through polarization characteristics. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2003, **20**(6):685~688
- 9 Yang Jin, Wang Yanfei, Liu Bo. A novel image fusion algorithm on undecimated lifting scheme wavelet transform. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6):728~731
- 10 Wu Yan, Li Ming, Yang Wanhai. A new algorithm for the fusion of multi-spectral and high resolution panchromatic images. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(11):1439~1404
- 11 Na Yan, Shi Lin, Yang Wanhai. Remote sensing image fusion with wavelet packet transform. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6):736~738

## Method of Stokes Images Calculation Based on Adaptive Unsubsample Lifting Scheme

Zhao Yongqiang, Pan Quan, Zhang Hongcai

College of Automatization, Northwest Polytechnic University, Xi'an 710072

Received date: 2004-06-14

**Abstract** According to the principle and method of Stokes images' calculation in imaging polarization detection, the shortcomings of traditional method in preserving detail information and dealing with the shifting of scene are analyzed. Then a new calculation method is proposed based on adaptive shift invariant wavelet. To make the algorithm more flexible and fast, lifting scheme is used to perform wavelet transformation. The average, variance, entropy, and boundary energy are used to evaluate the performance of different calculation methods. Through simulation, the quality of Stokes' images are improved by this paper's algorithm, at the same time, this algorithm is insensitivity to shifting of scene in source image.

**Keywords** Stokes images; Image fusion; Shift invariant wavelet; Lifting scheme



**Zhao Yongqiang** was born on July 6, 1976. He received his master's degree from the College of Automatization in Northwest Polytechnic University in 2001. Currently he is a Ph. D. student in the College of Automatization, Northwest Polytechnic University. His research is mainly about information fusion, polarization imaging detection and object recognition.