

文章编号:1007-2780(2017)01-0035-05

基于 DWT-IRLS 的压缩感知图像融合

李 尊*, 苗同军

(新乡学院 物理与电子工程学院, 河南 新乡 453000)

摘要: 基于压缩感知的图像融合属于像素级层次的图像融合。传统的 DWT 压缩感知图像融合研究对象是整个稀疏系数, 但小波系数中低频系数并非稀疏, 因此影响融合质量。针对此, 提出一种基于 DWT-IRLS 的压缩感知图像融合。首先对图像进行 DWT 转换, 针对高频系数采样测量; 然后对高频系数和低频系数进行融合, 并且引入迭代权重最小二乘法(IRLS)算法, 重构高频系数; 最后经 DWT 逆转换, 得到融合图像。实验证明: 通过 4 个客观评价指标和主观评价对比, 2 组实验融合效果均得到提高。此方法在一定程度上可提高图像融合效果, 具有一定的实用价值。

关键词: 图像融合; 压缩感知; 小波变换; 迭代权重最小二乘法

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20173201.0035

Image fusion based on CS of DWT-IRLS

LI Zun*, MIAO Tong-Jun

(College of Physics and Electronic Engineering, Xinxiang University,
Xinxiang 453000, China)

Abstract: Image fusion based on compressed sensing belongs to the level of image fusion at pixel level. Traditional image fusion based on DWT compressed sensing is for whole sparse coefficient. Because the coefficient of low frequency is not sparse, the quality of image fusion is bad. Aiming at this problem, this paper proposes the image fusion based on CS of DWT-IRLS. First, the image is decomposed by DWT and the coefficient of high frequency is measured; Then, the coefficient of low frequency and the coefficient of high frequency are fused in different domain, the coefficient of high frequency is reconstructed by IRLS algorithm; Finally, the fused image is obtained through inverse DWT. The experiment shows the fusion effect of 2 group is improved by comparison with four objective evaluation and subjective evaluation. This method can improve the image fusion, it has practical value.

Key words: image fusion; compressive sensing; DWT; IRLS

收稿日期: 2016-07-08; 修订日期: 2016-09-09.

* 通信联系人, E-mail: 895310276@qq.com

1 引言

图像融合^[1-4]是当代信息融合的组成部分,是图像处理的重要分支。其是将多个关于某个场景的图像进行整合,获得信息全面的新图像的过程。目前在医药诊断、航空航天、军事等领域,图像融合技术得到广泛的应用。

图像融合方式分为 3 个层次:像素级、特征级和决策级。其中像素级融合方法的对象为原始图像,能够获得准确的细节信息。因此,应用广泛且研究价值高。

基于压缩感知(compressive sensing, CS)的图像融合方法属于像素级层次的方法。CS^[5]理论由 Donoho 于 2006 年提出。一经提出就在图像处理领域引起广泛关注。相比较于传统的图像处理方法,其具有测量数据小、采样和压缩同步进行、硬件要求降低等优势。文献[6]提出基于 DWT 高频系数压缩测量的融合方法。其在减少压缩数据量同时提高了图像融合效果。文献[7]提出基于 NSCT-DWT 的压缩感知图像融合方法。针对图像首先进行 NSCT 域转换,然后对低频部分和高频部分进行压缩融合,最后进行 NSCT 逆变换。文献[8]针对传统算法的不足,提出结合 NS-DTCT 和压缩感知 PCNN 的图像融合算法。首先进行 NSDTCT 域转换,对高频部分采取 CS-PCNN 融合规则,最后针对两者进行 NS-DTCT 逆变换。此算法提高了效率和质量,得到效果较好的融合图像。以上文献改进方法均是针对高频系数进行压缩感知处理。

传统 DWT 的压缩感知图像融合的研究对象是整个稀疏系数。但其小波系数中低频系数并非稀疏,因此影响融合质量。本文提出的基于 DWT-IRLS 的压缩感知图像融合可以避免此种情况。首先对图像进行 DWT 变换,得到高频系数和低频系数;然后对低频部分进行均值融合,对高频部分进行绝对值取大融合,并通过重构算法 IRLS 恢复高频系数;最后针对两者进行 DWT 逆变换,得到新图像。实验证明,该方法可提高图像融合效果,具有一定的实用价值。

2 CS 理论

CS 理论应用的前提就是原始信号必须具有一定结构的稀疏性,当满足此条件时,可得到测量值。CS 理论框架如图 1 所示。

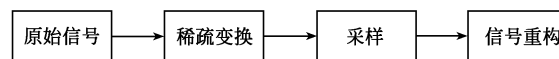


图 1 CS 理论框架

Fig.1 CS theoretical framework

2.1 稀疏变换

图像的稀疏表示是信号经过稀疏变换得到的系数。其中稀疏变换是多种多样的。如傅里叶变换、小波变化、余弦变换、冗余字典框架变换等。

稀疏变换数学定义:信号 $x \in \mathbf{R}^{N \times 1}$, 则在正交基 $\phi = \{\phi_i^T\}_{i=1}^N$ 变换下,其数学表达式为:

$$\Theta = \phi x^T, \quad (1)$$

其中, $\phi_i \in \mathbf{R}^M$, $M < N$ 。

当同时满足 $\|\Theta\|_p \leq k$ 和 $0 < p < 2, k > 0$ 两个条件时,则 Θ 在 ϕ 下为稀疏的。

2.2 采样

对原始信号进行稀疏变换后,得到的稀疏系数仍为高维,因此需要降维,实现观测采样处理。

信号为 X , 稀疏基为 ϕ , 利用 ϕ 对信号 X 进行稀疏变换,则满足式(2)。

$$\Theta = \phi X. \quad (2)$$

稀疏变换后,需合理地测量矩阵 $\varphi \in Z^{M \times N}$ ($M < N$) 对信号 X 进行采样,得到采样值 $Y \in R^{M \times N}$ 。其数学表达式为:

$$Y = \varphi \Theta = \varphi \phi X. \quad (3)$$

2.3 信号重构

由于采样处理,造成维度降低。因此信号重构转变为欠定性方程组的求解。此类问题不易求解。但当 $\varphi \times X$ 满足 RIP 条件时,此类问题可转换为 l_0 范数的最优化求解问题。其数学表达式为:

$$\hat{\Theta} = \operatorname{argmin} \|\hat{\Theta}\|_0, Y = \varphi \Theta. \quad (4)$$

信号重构算法^[9]常用的有基追踪(BP)、最小全变差(TV)和正交匹配追踪(OMP)。

3 OMP 算法与 IRLS 算法

图像融合的效果受重构算法影响较大。目前

常用的重构算法为 OMP 算法。此算法相较于其他算法,迭代次数少,收敛速度快。

本文引入迭代权重最小二乘法(IRLS)进行信号重构。相较于 OMP 算法,IRLS 算法在效率要求不高的情况下,可以提高图像的融合质量。IRLS 算法步骤^[10-11]如下所示:

输入:观测采样信号 y , 测量矩阵 $A = \Psi\varphi$;

Step1:初始化。信号 x 稀疏表示为 $\theta = A^T y$, 其中 $p=1, \epsilon=1$;

Step2:迭代计算。 $w_i = (\theta_i^2 + \epsilon)^{p/2-1}$, 其中 $1 \leq i \leq \text{end}$ 。

Step3:求值。 $Q = \text{diag}(1./w)$, $\theta = QA^T \text{inv}(AQA^T)y$;

输出:信号 x 的稀疏表示 θ 。

图2以Lena图像为例,对比不同重构算法的重构图像的效果。其中第一幅为原始图像,第二幅为OMP算法的重构图像,第三幅为IRLS算法的重构图像。主观上两幅图像无大差别,客观上,本文采用峰值信噪比(PSNR)进行判断,其中经OMP算法的重构图像的PSNR值为17.6634 dB,经IRLS算法的重构图像的PSNR值为21.9538 dB。由此可看出,IRLS算法的重构图像效果较好。

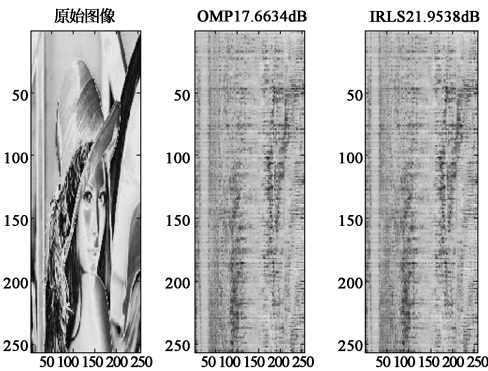


图2 OMP 和 IRLS 算法对比图

Fig.2 Contrast figure of OMP and IRLS

图3是以lena图像为例,采用PSNR作为客观指标。对比不同的稀疏度的不同重构算法的重构的效果。由图3实验曲线可知,稀疏度在0~50之间时,OMP和IRLS两个算法曲线PSNR值变化较明显;稀疏度在50~150之间时,OMP和IRLS两个算法曲线PSNR值变化平缓。总体来说,在不同稀疏度的情况下,IRLS重构算法的重构图像效果较好。

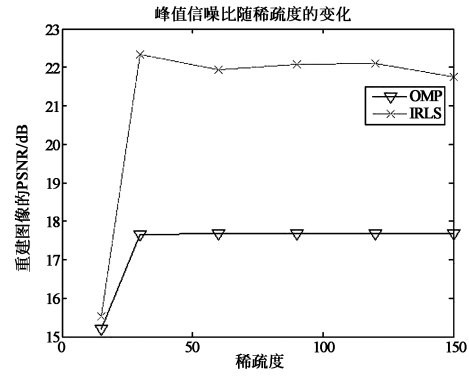


图3 PSNR 对比图

Fig.3 Contrast figure of PSNR

4 DWT-IRLS 压缩感知图像融合

本文算法是基于传统DWT压缩感知图像融合方法进行改进的。本文采用DWT对原始图像进行频域转换,得到高频系数和低频系数;然后针对高频系数进行采样、融合、IRLS算法重构。其融合步骤如下所示:

Step1:对2幅原始图像进行DWT变换,得到高频系数 G 和低频系数 A ;

Step2:对低频系数 A 采用一定的规则进行融合 A' ;

Step3:对高频系数 G 首先进行测量取值得到 Z ,然后采用一定的规则进行融合,最后采用IRLS算法进行重构,得到重构后的高频系数 G' ;

Step4:对 A' 和 G' 进行DWT逆变换,得到融合图像。

本文算法流程图如图4所示。

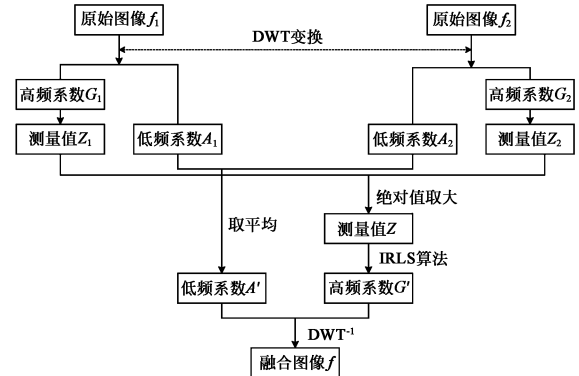


图4 基于DWT-IRLS的压缩感知图像融合算法流程图

Fig.4 Image fusion framework based on CS and DWT-IRLS

5 实验结果及分析

本文选用的实验图像分别为多聚焦图像和红外光-可见光图像。客观评价标准^[12-13]有 4 项,分别为信息熵(IE)、标准差(Std)、空间频率(SF)、平均梯度(AG)。主观评价标准主要是从清晰度、纹理层次来进行评价。

本实验仿真平台为 MATLAB7.0。本文采用传统 DWT 的压缩感知图像融合算法和文献[6]算法作为对比算法,进行效果比较。其中(a)、(b)为待融合图像,(c)为传统 DWT 压缩感知融合图像,(d)为文献[6]算法的结果图,(e)为本文算法的结果图。

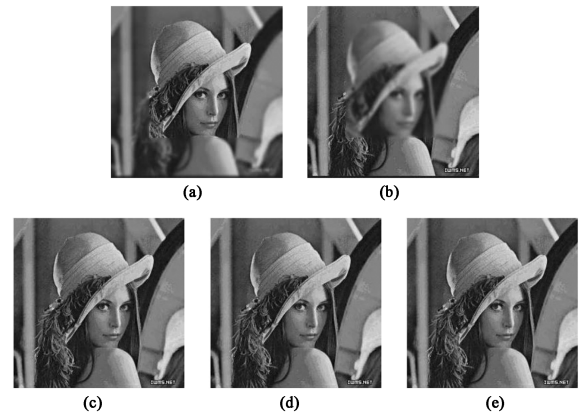


图 5 多聚焦图像融合
Fig.5 Image fusion of multi-focus

表 1 多聚焦图像融合效果评价指标				
Tab.1 Evaluation result of multi-focus image fusion				
评价指标	IE	Std	SF	AG
传统压缩算法	5.809 2	55.349 7	32.320 4	8.278 2
文献[6]算法	5.823 7	55.903 4	31.743 0	8.285 9
本文算法	5.903 4	56.302 9	32.314 5	8.301 4

主观上:如图 5 所示,针对 Lena 图像,三种算法都得到较好的融合。帽子,头发以及背景边缘清楚,纹理清晰。三种效果均满足的人的视觉需求。

客观上:如表 1 所示,在 4 个客观指标中,除 SF 指标外,其余指标均不同程度的得到提高。从整体客观指标来看,提高了图像融合效果。因此本文算法提高图像的融合质量,具有可行性。

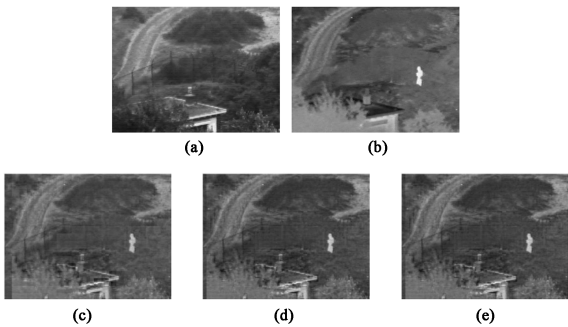


图 6 红外线-可见光图像融合
Fig.6 Image fusion of infrared-visible

表 2 红外线-可见光图像融合效果评价指标				
Tab.2 Evaluation result of Infrared-visible Imagefusion				
评价指标	IE	Std	SF	AG
传统压缩算法	5.173 4	32.698 0	18.353 8	4.358 9
文献[6]算法	5.189 2	33.476 2	18.846 8	4.468 3
本文算法	5.240 4	35.073 9	19.601 2	4.787 8

主观上:如图 6 所示,针对红外光-可见光图像,虽然传统算法与文献[6]算法均得到较好的融合效果。但相比较而言,本文算法融合图像中,屋顶、山和道路纹理信息更优,边缘结构较清晰,因此本文算法融合效果较好。

客观上:如表 2 所示,评价图像融合效果的 4 个指标均不同程度的得到提高。因此本文算法提高了图像的融合质量,效果较好。

综上所述,本文算法在一定程度上提高了图像的融合效果,具有可行性。

6 结 论

基于压缩感知的图像融合具有测量数据小、采样和压缩同步进行、硬件要求低等优势。因此本文在此基础上,采用 DWT 算法进行图像转换,并引入 IRLS 算法进行高频系数的重构,得到较好的融合效果,图像细节得到更多的展示,具有一定的实用价值。但是相较于传统 DWT 融合算法,本文算法耗时较长,效率较低。因此,在保证图像融合质量的前提下,如何降低耗时,是下一步的研究方向。

参 考 文 献:

- [1] 吴仰玉,纪峰,常霞,等.图像融合研究新进展[J].科技创新导报,2013(1):49-52,54.
WU Y Y, JI F, CHANG X, *et al.* The new progress of image fusion research [J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2013(1): 49-52, 54. (in Chinese)
- [2] 杨奕堂.基于压缩感知理论的图像融合方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2012.
YANG Y T. The research on a CS based image fusion [D]. Xi'an: Xidian University, 2012. (in Chinese)
- [3] 郭利明.图像处理及图像融合[D].西安:西北工业大学,2006.
GUO L M. Image processing and image fusion [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2006. (in Chinese)
- [4] 孙永明,吴谨,刘劲.基于 CS 测量矩阵优化的图像融合[J].液晶与显示,2014,29(3):461-465.
SUN Y M, WU J, LIU J. Image fusion based on CS measurement matrix optimization [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(3): 461-465. (in Chinese)
- [5] DONOHO D L. Compressed sensing [J]. *IEEE transactions on Information Theory*, 2006, 52(4): 1289-1306.
- [6] 孙永明,吴谨,刘劲,等.基于 DWT 的高频系数压缩感知图像融合[J].红外技术,2014,36(9):714-718.
SUN Y M, WU J, LIU J, *et al.* Image fusion based on compressed sensing of DWT high frequency coefficients [J]. *Infrared Technology*, 2014, 36(9): 714-718. (in Chinese)
- [7] 袁金楼,吴谨,刘劲.基于 NSCT 与 DWT 的压缩感知图像融合[J].红外技术,2015,37(11):957-961.
YUAN J L, WU J, LIU J. Image fusion based on compressed sensing of NSCT and DWT [J]. *Infrared Technology*, 2015, 37(11): 957-961. (in Chinese)
- [8] 殷明,庞纪勇,魏远远,等.结合 NSDCT 和压缩感知 PCNN 的图像融合算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2016,28(3):411-419.
YIN M, PANG J Y, WEI Y Y, *et al.* Image fusion algorithm based on nonsubsampling dual-tree complex contourlet transform and compressive sensing pulse coupled neural network [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2016, 28(3): 411-419. (in Chinese)
- [9] 潘晓晨.图像压缩感知融合恢复算法研究[D].大连:大连海事大学,2013.
PAN X C. Research of compressed sensing recovery algorithm with image fusion [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013. (in Chinese)
- [10] 董博,姚治海,李喆,等.压缩感知 OMP 算法与 IRLS 算法在计算鬼成像中的对比分析[J].长春理工大学学报:自然科学版,2016,39(1):21-27.
DONG B, YAO Z H, LI Z, *et al.* Contrast analysis of compressive sensing OMP and IRLS algorithm in the computational ghost imaging [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2016, 39(1): 21-27. (in Chinese)
- [11] 马晓路,刘倩,胡开云,等.MATLAB 图像处理从入门到精通[M].北京:中国铁道出版社,2013:333-334.
MA X L, LIU Q, HU K Y, *et al.* *Form Newbie to Master of Image Processing in MATLAB* [M]. Beijing: China Railway Publishing Press, 2013: 333-334. (in Chinese)
- [12] 张泽.基于 NSCT 变换的压缩感知图像融合优化算法研究[D].大连:大连海事大学,2015.
ZHANG Z. Study on compressed sensing image fusion optimization algorithm based on NSCT transform [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2015. (in Chinese)
- [13] 王守庆,王索建.红外与可见光融合图像的质量评价[J].中国光学,2014,7(3):396-401.
WANGS Q, WANG S J. Quality assessment method of IR and visible fusion image [J]. *Chinese Optics*, 2014, 7(3): 396-401. (in Chinese)

作者简介:李尊(1988—),女,河南新乡人,硕士,助教,2015 年于武汉科技大学获得硕士学位,主要从事图像修复,图像融合研究。E-mail: 2185099648@qq.com

苗同军(1978—),男,河南新乡人,博士,讲师,2015 年于华中科技大学获得博士学位,主要从事多孔介质的流体输送机理研究。E-mail: 895310276@qq.com