

基于背景图像的视频图像压缩感知重构关键技术研究

潘子兰¹, 赖河木¹, 梁东¹, 范冬梅², 万其卫²

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 上海宝钢包装股份有限公司, 上海 201908)

摘要: **目的** 针对视频序列相邻帧图像之间的相关性, 提出了基于帧间差分的背景图像的视频图像重构算法。**方法** 利用前 2 帧的重构图像求得背景图像, 作为下一帧图像重构的先验知识。**结果** 明显提高了重构图像的质量, 同时也减少了重构图像所需时间。**结论** 将帧间差分法与压缩感知重构算法相结合得到的视频重构算法, 在视频图像重构的质量和速度上都有明显优势。

关键词: 视频图像; 压缩感知; 帧间差分

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)23-0110-05

Key Technology of Reconstruction of Video Image by Compressive Sensing Based on Background Image

PAN Zi-lan¹, LAI He-mu¹, LIANG Dong¹, FAN Dong-mei², WAN Qi-wei²

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Baosteel Packaging Co., Ltd., Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: **Objective** According to the correlation between inter frames of video sequence images, a video image reconstruction algorithm based on inter-frame difference was proposed. **Methods** The background image obtained by the first two reconstructed frame image was used as the prior knowledge for reconstruction of the next frame image. **Results** The method obviously improved the quality of the reconstructed image and reduced the reconstruction time. **Conclusion** Simulation results showed that the method had obvious advantages in image quality and reconstruction speed by combining the inter-frame difference method and the compressive sensing reconstruction algorithm.

KEY WORDS: video image; compressive sensing; inter-frame difference

传统的信号采样主要基于奈奎斯特采样定理, 需要较高的采样频率才能精确重构出原始信号信息, 对硬件提出了较高的要求。此外, 编码时为了达到一定的压缩比和成本, 舍弃了很大的采样数据, 没有充分利用采样数据。而对于视频信号, 主要采用运动估计、补偿和数据交换编码等算法来提高数据的传输速率, 因而视频信号编解码的复杂度较高。目前的压缩感知(CS)理论^[1-4], 是对具有一定稀疏度的信号, 采用采样观测矩阵和变换基对视频信号进行降维, 通过少量的观测数据重构出原始信号。一

些学者将该理论应用于视频编码中。在处理监控视频信号时, 文献[5]考虑了视频帧与帧之间的相关性, 通过帧间差分图像本身具有的稀疏性和参考帧图像进行帧图像的重构, 以及对当前帧图像进行运动估计和运动补偿来提高视频重构质量。但是, 参考帧图像的选取对帧图像重构质量有较大的影响。这里, 基于帧间差分法获取的背景图像, 作为后一帧图像的先验知识进行后一帧帧图像的重构, 通过获取的背景图像代替了原有的参考帧图像进行帧图像的重构, 避免了参考帧图像选取不同而造成的重构误

收稿日期: 2014-05-05

基金项目: 上海大学生创新活动计划项目(SH2013150)

作者简介: 潘子兰(1991—), 女, 山东聊城人, 上海理工大学硕士生, 主攻压缩感知算法。

差,提高了重构质量,节省了重构时间。

1 基于压缩感知理论的视频图像重构

压缩感知是利用信号的稀疏特性,在远小于 Nyquist 采样率的条件下,获取信号的采用值而重建原始信号的方法^[6-7]。如果信号在某组基向量下的系数含有大量的零元素,则可以称这个信号为稀疏的。对于有限长度为 N 的一维离散信号,可以表示为:

$$x = \Psi s \quad (1)$$

式中, Ψ 为基向量; s 为基向量的稀疏表示系数。对于长度为 N 的信号 x 的重构方法,首先是对其进行 $M(M < N)$ 次的线性测量,表示矩阵为:

$$y = \Phi x = \Phi \Psi s \quad (2)$$

式中, Φ 为 $M \times N$ 的测量基; y 为长度为 N 的信号 x 的测量值。

其中,稀疏基 Ψ 的列向量不能用测量基 Φ 的行向量来稀疏表示^[8-10],反之亦然。由于 $M < N$,方程的个数远远少于未知数的个数,因而这是一个欠定问题,一般来讲无确定解。如果 Ψs 是 k 稀疏的($k < M$),那么就有望求出确定解。

求解信号 x 的问题可以转化成最小 l_1 范数问题^[10-15],即:

$$\hat{s} = \arg \min \|s\|_{l_1}, y = \Phi \Psi s = \Theta s \quad (3)$$

式中, $\arg \min f(x)$ 为使 $f(x)$ 取最小值的 x 。解出 $\hat{s}$,再通过 Ψs 重建信号 x 。

基于压缩感知理论的视频图像编解码方法:先通过视频摄像头获取视频信号,对每帧视频图像进行小波基稀疏表示,然后使用观测矩阵进行观测,得到带加性噪声的压缩信号,在接收端进行信息处理,使用结合压缩感知重构算法重构每帧视频图像,具体流程见图1。

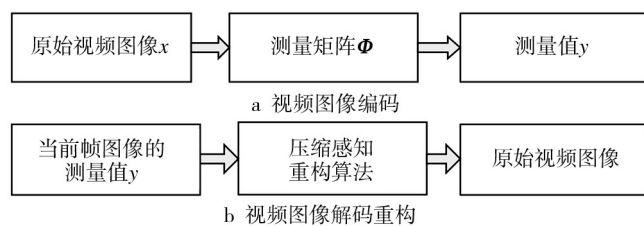


图1 基于压缩感知理论的视频图像重构原理

Fig.1 Schematic diagram of reconstruction principle of video image based on the theory of compressive sensing

2 基于帧间差分背景图像的视频图像压缩感知重构

视频图像的重构不同于单幅普通图像,因为视频序列的相邻帧图像间存在很强的相关性,下一帧视频图像的重构可以利用前一帧甚至前几帧的背景信息作为先验条件。基于帧间差分背景图像的视频图像的压缩感知重构算法,是选用帧间差分法实现背景的提取,为下一帧图像的重构提供先验知识,并结合压缩感知重构算法,得到基于帧间差分背景图像的视频图像的压缩感知重构算法,其充分利用了视频序列间相邻帧图像之间的相关性,来实现视频图像的压缩感知重构。

2.1 帧间差分背景图像的获取

在基于帧间差分背景图像的视频图像的压缩感知重构过程中,背景图像的获取方法是假设第 k 帧视频图像与第 $k-1$ 帧视频图像分别表示为 $F_k(i, j)$ 与 $F_{k-1}(i, j)$,利用帧间差分法可以求得背景图像 $B_{k,k-1}(i, j)$ 。

1) 利用第 k 帧图像 $F_k(i, j)$ 与第 $k-1$ 帧图像 $F_{k-1}(i, j)$,计算差分图像 $F_{k,k-1}(i, j) = F_k(i, j) - F_{k-1}(i, j)$;

2) 根据设定的阈值 T ,将计算得到的差分图像 $F_{k,k-1}(i, j)$ 进行二值化处理得到图像 $A_{k,k-1}(i, j)$;

3) 将图像 $A_{k,k-1}(i, j)$ 进行开、闭运算,去除噪声,填充运动目标内部的空洞,得到图像 $B_{k,k-1}(i, j)$;

4) 根据图像 $B_{k,k-1}(i, j)$ 各点像素值确定背景图像,若图像 $B_{k,k-1}(i, j)$ 中的像素值为0,则背景图像中的像素值等于前2帧图像相应位置的像素平均值。反之,背景图像的像素值置零。公式如下:

$$B_{k,k-1}(i, j) =$$

$$\begin{cases} \frac{1}{2} [F_k(i, j) + F_{k-1}(i, j)] & B_{k,k-1}(i, j) = 0 \\ 0 & B_{k,k-1}(i, j) = 1 \end{cases} \quad (4)$$

2.2 重构算法

基于帧间差分背景图像的视频图像压缩感知重构算法原理见图2,流程见图3。输入:随机测量值 y ,测量矩阵 Φ ,稀疏变换 Ψ 。输出:原始信号 x 的 k -稀疏逼近 $\hat{x}$ 。

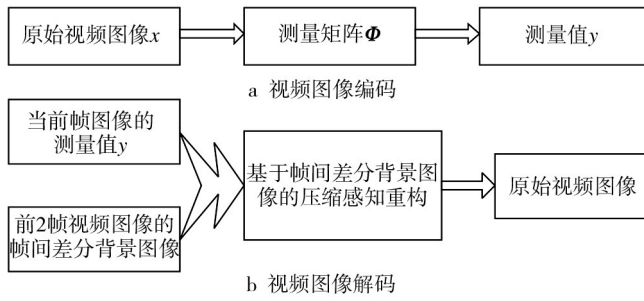


图2 基于帧间差分背景图像的视频图像压缩感知重构算法原理
Fig.2 Schematic diagram of reconstruction algorithm of video image by compressive sensing based on background image of inter-frame difference

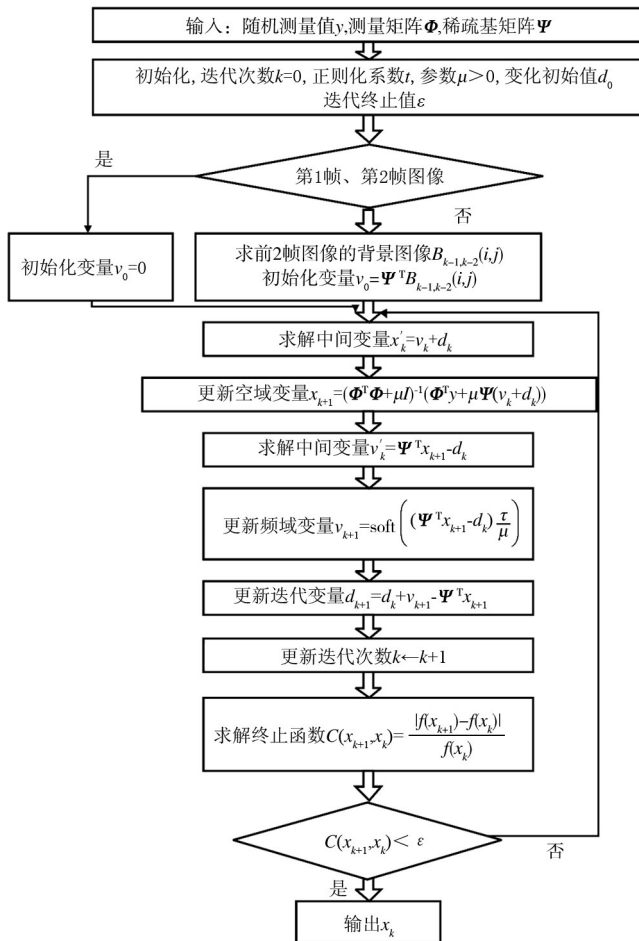


图3 基于帧间差分背景图像的视频图像压缩感知重构算法流程
Fig.3 Flow diagram of reconstruction algorithm of video image by compressive sensing based on background image of inter-frame difference

1) 初始化, 迭代次数 $k=1$, 正则化参数 τ , 参数 $\mu > 0$, 变量初始值 d_0 , 迭代停止值 ε 。

2) 判断是否为前2帧视频图像重构, 若是, 则 $v_0 =$

0, 转到步骤4) 继续执行; 若否, 则转到步骤3) 继续执行。

3) 计算前2帧图像(第 $k-1$ 帧图像 $F_{k-1}(i, j)$ 与第 $k-2$ 帧图像 $F_{k-2}(i, j)$) 的背景图像 $B_{k-1,k-2}(i, j)$, 并对求得的背景图像进行小波变换, 获得初始化向量 v_0 , 即 $v_0 = \Psi^T B_{k-1,k-2}(i, j)$ 。

4) 计算中间变量 x'_k , 即 $x'_k = v_k + d_k$ 。

5) 通过 v_k 和 d_k 的向量值更新空域变量 x_{k+1} , 更新空域变量公式为:

$$x_{k+1} = (\Phi^T \Phi + \mu I)^{-1} (\Phi^T y + \mu \Psi^T (v_k + d_k)) \quad (5)$$

6) 计算中间变量 x'_k , 即 $x'_k = \Psi^T x_{k+1} - d_k$ 。

7) 通过 v_k 和 d_k 的向量值进行阈值算子操作, 更新频域变量 v_{k+1} 。更新空域变量公式为 (soft 为软阈值算法):

$$v_{k+1} = \text{soft} \left((\Psi^T x_{k+1} - d_k), \frac{\tau}{\mu} \right) \quad (6)$$

8) 利用 $d_{k+1} = d_k + v_{k+1} - \Psi^T x_{k+1}$ 更新迭代变量 d 。

9) 更新迭代次数, 用 $k+1$ 替代 k 。

10) 计算目标函数 $f(x_{k+1})$ 和迭代终止函数 (迭代终止函数为 $C(x_{k+1}, x_k) = \frac{|f(x_{k+1}) - f(x_k)|}{f(x_k)}$)。

11) 判断是否满足迭代停止条件, 若满足 $C(x_{k+1}, x_k) < \varepsilon$, 返回当前估计值; 反之 x_k , 则返回到步骤2) 继续执行。

3 仿真实验研究

选用随机矩阵作为测量矩阵以及正交小波进行视频图像的稀疏表示, 分别采用基于压缩感知理论的重构算法与基于帧间差分背景图像的视频图像重构算法, 进行视频图像的仿真重构实验。采用 Matlab 软件作为仿真实验平台, 选取5幅视频序列图像进行仿真。基于帧间差分背景图像的仿真计算实验结果见图4。图4c为采用帧间差分法获取的背景图像。

3.1 峰值信噪比

对原视频图像序列(见图5)进行基于压缩感知理论的重构算法与基于帧间差分背景图像的视频图像重构算法的重构仿真实验, 结果见图6—7。基于帧间差分背景图像的压缩感知重构图像从视觉效果上有所改善, 说明帧间差分法获得的背景图像作为先验知识能起到积极作用。计算重构后图像的峰值信噪比



图4 基于帧间差分背景图像的仿真计算实验结果

Fig.4 The simulation computation experiment based on background image of inter-frame difference

(PSNR),第3帧的CS和帧间差分CS分别为29.5086和32.1236,第4帧的分别为28.3456和30.2434,第5帧的分别为28.9001和31.2546。可见,基于帧间差分背景图像的压缩感知重构图像的PSNR高于基于压缩感知理论的重构图像的PSNR。



图5 原始视频图像

Fig.5 The original video image

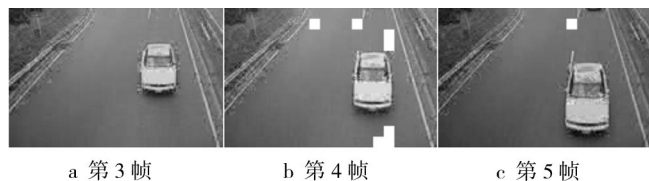


图6 基于压缩感知算法的重构视频图像仿真实验结果

Fig.6 Simulation experimental results of video image reconstruction based on the theory of compressive sensing



图7 基于帧间差分背景图像的视频图像压缩感知重构仿真实验结果

Fig.7 Simulation experimental results of video image reconstruction by compressive sensing based on background image of inter-frame difference

3.2 重构时间

计算基于压缩感知理论的重构算法与基于帧间差

分背景图像的视频图像重构算法的重构时间,第3帧的CS和帧间差分CS分别为2.3699 s和1.1345 s,第4帧的分别为2.1659 s和1.3421 s,第5帧的分别为2.4727 s和1.5077 s,可见,基于帧间差分背景图像的视频图像重构时间小于基于压缩感知理论的重构时间。

4 结语

针对视频序列相邻帧图像之间的相关性,提出了基于帧间差分的背景图像的视频图像重构算法,利用前2帧的视频图像的压缩感知重构图像求得背景图像,作为下一帧视频图像重构的先验知识,提高了重构图像的质量,减少了重构时间。实验仿真结果表明,将帧间差分法与压缩感知重构算法相结合得到的视频重构算法,在视频图像重构的质量和速度上具有良好的效果。

参考文献:

- [1] 杨鑫诚,何斌. 基于压缩感知理论的视频编解码方法[J]. 计算机科学,2013,40(6A):169—172.
- [2] YANG Xin-cheng, HE Bin. Video Code Based on Compressed sensing[J]. Computer Science, 2013, 40(6A): 169—172.
- [3] CANDES E, WAKIN M. An introduction to Compressive Sampling[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2008, 25(2): 21—30.
- [4] ROMBERG J. Imaging via Compressive Sampling[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2008, 25(2): 14—20.
- [5] KATZ O, BROMBERG Y, SILBERBERG Y. Compressive Ghost Imaging[J]. Appl Phys Lett, 2009, 95(13): 1—10.
- [6] 李昂,马强,岑翼刚,等. 基于压缩感知的监控视频重构[J]. 智能系统学报,2013,8(6):1—5.
- [7] LI Ang, MA Qiang, CEN Yi-gang, et al. Reconstruction of Surveillance Video Based on the Compressed Sensing[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2013, 8(6): 1—5.
- [8] CHEN Xi-hao, QIAN Liu, KAI Hong, et al. Lensless Ghost Imaging with True Thermal Light[J]. Opt Lett, 2009, 34(5): 695—697.
- [9] GONG Wen-lin, HAN Shen-sheng. Lens Ghost Imaging with Thermal Light: from the Far Field to the Near Field[J]. Phys Lett A, 2010, 374(36): 3723—3725.
- [10] GONG Wen-lin, HAN Shen-sheng. A Method to Improve the Visibility of Ghost Images Obtained by Thermal Light[J]. Phys

- Lett A, 2010, 374(8):1005—1008.
- [9] CAND S E, ROMBERG J, TAO T. Robust Uncertainty Principles: Exact Signal Reconstruction From Highly Incomplete Frequency Information[J]. IEEE Trans Information Theory, 2006, 52(2):489—509.
- [10] HAUPT J, NOWAK R. Signal Reconstruction from Noisy Random Projections[J]. IEEE Trans Information Theory, 2006, 52(9):4036—4048.
- [11] KATKOVNIK V, ASTOLA J. Computational Ghost Imaging: Advanced Compressive Sensing (CS) Technique[J]. SPIE, 2012, 8413:84130N.
- [12] WELSH S S, EDGAR M P, JONATHAN P, et al. Multi-wave-length Compressive Computational Ghost Imaging[J]. SPIE, 2013, 8618:86180I.
- [13] CHEN Jie, GONG Wen-lin, HAN Shen-sheng. Sub-rayleigh Ghost Imaging via Sparsity Constraints Based on a Digital Micro-mirror Device[J]. Phys Lett A, 2013, 377(31):1844—1847.
- [14] KATKOVNIK V, ASTOLA J. Compressive Sensing Computational Ghost Imaging[J]. J Opt Soc Am A, 2012, 29(8):1556—1567.
- [15] WANG Hui, HAN Shen-sheng, KOLOBOV M I. Quantum Limits of Super-resolution of Optical Sparse Objects via Sparsity Constraint[J]. Opt Express, 2012, 20(21):23235—23252.

(上接第93页)

- Electronic Technology, 2012, 35(8):192—194.
- [11] 王素青, 姜维福. 基于 Matlab/Simulink 的 PID 参数整定[J]. 工业控制与应用, 2009, 28(3):24—26.
- WANG Su-qing, JIANG Wei-fu. PID Tuning Based on Matlab/Simulink[J]. Industry Control and Application, 2009, 28(3):24—26.
- [12] 杨梅, 续明进. 基于 MATLAB 的卷筒纸印刷机张力控制系统的建模与仿真[J]. 包装工程, 2011, 32(7):22—25.
- YANG Mei, XU Ming-jin. Modeling and Simulation of Tension Roll Paper Printing Machine Control System Based on MATLAB[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7):22—25.
- [13] 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计—MATLAB 语言及应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2012.
- XUE Ding-yu. Control System Computer Aided Design—MATLAB Language and Application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2012.
- [14] 董霞, 陈康宁, 李天石. 机械控制理论基础[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2005.
- DONG Xia, CHEN Kang-ning, LI Tian-shi. Mechanical Control Theory[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2005.

(上接第103页)

- [12] 黄剑华, 唐降龙, 刘家锋, 等. 一种基于 Homogeneity 的文本检测新方法[J]. 智能系统学报, 2007, 2(1):69—73.
- HUANG Jian-hua, TANG Xiao-long, LIU Jia-feng, et al. A New Method for Text Detection Based on Homogeneity[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2007, 2(1):69—73.
- [13] CHEN Wen-yen, SONG Yang-qiu, BAI Hong-jie. Parallen Spectral Clustering in Distributed Systems[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 33(3):568—586.
- [14] GRIGORESCU S E, PETKOV N, KRUIZINGA P. Comparison of Texture Features Based on Gabor Filters[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(10):1160—1167.
- [15] WANG Lei, JI Hong-bing, SHI Ya. Face Recognition Using Maximum Local Fisher Discriminant Analysis[C]// IEEE International Conference on Image Processing, 2011:1737—1740.
- [16] ANTONACOPOULO S, BRIDSON D, PAPADOPOULOS C, et al. A Realistic Dataset for Performance Evaluation of Document Layout Analysis[C]// IEEE Computer Society, 2009:296—300.