

文章编号: 2095-2163(2020)12-0091-03

中图分类号: TN919.81

文献标志码: A

基于改进 SPIHT 方法的电网数据压缩

杭贵霞¹, 马家庆¹, 王美琴², 龙 慧¹

(1 贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550025; 2 重庆赛宝工业技术研究院, 重庆 401332)

摘要: 为了保证电网数据压缩后, 还原效果更佳, 本文引入了基于小波变换的改进 SPIHT 压缩算法。该算法首先对小波变换后的系数进行一个向上取整; 其次, 对小波变换后的低频小波系数部分进行 DPCM 线性预测; 最后, 对高频小波系数采用一个简单的二叉树编码。实验结果表明, 本文改进的 SPIHT 算法对电网数据压缩还原后的数据失真有一定程度的改善, 并适用于工程应用中。

关键词: 电网数据; 小波变换; SPIHT; DPCM

Power grid data compression based on improved SPIHT method

HANG Guixia¹, MA Jiaqing¹, WANG Meiqin², LONG Hui¹

(1 School of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2 Chongqing CEPREI Research Institute, Chongqing 401332, China)

[Abstract] In order to ensure that the grid data can be restored better when the grid data is compressed, this paper introduces an improved SPIHT compression algorithm based on wavelet transform. The algorithm first rounds up the coefficients after wavelet transformation, then performs DPCM linear prediction on the low-frequency wavelet coefficients after wavelet transformation, and finally uses a simple binary tree coding for the high-frequency wavelet coefficients. The experimental results show that the improved SPIHT algorithm in this paper can improve the data distortion after power grid data compression and restoration to a certain extent, and is suitable for engineering applications.

[Key words] Power grid data; Wavelet transform; SPIHT; DPCM

0 引言

电网系统的稳定高效运行会产生海量数据, 为了提高效率并降低成本, 有必要压缩电能质量数据进行存储和传输。电网数据压缩主要是基于傅里叶变换与小波变换^[1]; 使用 EZW 方法用于心电图 (ECG) 信号压缩, 得到良好的性能^[2]; 将 EZW 方法应用于脑电图 (EEG) 信号的压缩, 不同比特率下峰值信噪比均有所提高^[3]; 基于小波变换的基础上, 应用 EZW 编码方法处理一维电网信号的压缩与去噪, 该方法的性能优于或小波变换^[4]; SPIHT 算法基于 EZW 算法的基本思想, 是一种更高效简单的图像压缩算法, 也被广泛应用于一维信号处理^[5]; 文献[8]结合 SPIHT 方法对 ECG 信号压缩处理, 能在低重构误差下提供高压缩比^[6]; 文献[9]提出了基于高效 SPIHT 算法的快速地震数据压缩, 在保留数据的同时提高了编解码效率^[7]。本文基于多分辨率分析的基础上, 提出了 SPIHT 改进压缩算法, 该

算法可以高性能的压缩和还原电网数据, 通过 MATLAB 仿真验证了该方法的可行性。

1 多分辨率分析

在多分辨率空间中, 有式(1):

$$V_0 = V_1 \oplus W_1 = \dots V_j \oplus W_j \oplus W_{j-1} \dots \oplus W_1. \quad (1)$$

给定不同的分辨率 j , V_j , W_j 分别表示在该分辨率水平下的子空间。

令: $P_0x(t)$ 是信号 $x(t)$ 在 V_0 中的投影, 则式(2):

$$P_0x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \varnothing(t-k) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \alpha_0(k) \varnothing_{0,k}(t). \quad (2)$$

其中, $P_0x(t)$ 可看作 $x(t)$ 在 V_0 中的近似, $\alpha_0(k)$ 是加权系数。

令: $P_1x(t)$ 是 $x(t)$ 在子空间 V_1 上的投影, 有式(3):

$$P_1x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \alpha_1(k) \varnothing_{k,l}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \alpha_1(k) \varnothing(2^{-1}t-k), \quad (3)$$

其中, $P_1x(t)$ 反应的是低通成分或称为 $x(t)$ 的

基金项目: 贵州省科技厅-贵大联合基金(黔科合 LH 字[2017]7229 号); 贵州大学 2017 年度学术新苗培养及创新探索专项(黔科合[2017]5788 号)。

作者简介: 杭贵霞(1994-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 电网大数据; 马家庆(1981-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 交流电机非线性控制及传感器非线性特性; 王美琴(1982-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 图像检测与识别; 龙 慧(1997-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 电网大数据。

收稿日期: 2020-09-21

“概貌”; $\alpha_1(k)$ 是加权系数; $\emptyset(t)$ 被称作尺度函数,且 $\emptyset(t) \in L^2(R)$ 。

令: $D_1x(t)$ 是 $x(t)$ 在子空间 W_1 上的投影,有式(4):

$$D_1x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_1(k) \psi_{1,k}(t), \quad (4)$$

其中, $D_1x(t)$ 反应的是高频成分或称为 $x(t)$ 的“细节”; $\psi(t)$ 为小波函数;且 $\psi(t) \in L^2(R)$ 。

2 改进 SPIHT 算法

2.1 原始算法

SPIHT 算法的主扫描与辅扫描过程都与 EZW 算法类似。SPIHT 算法在 EZW 算法基础上改进了系数子集的结构和重新排序重要系数的过程,能够隐式传递系数的排序信息。

SPIHT 算法引入了 4 个集合符号:

(1) $D(r,c)$: 为系数 (r,c) 所有子孙节点的集合;

(2) $O(r,c)$: 为 (r,c) 的直接子孙集合;

(3) $L(r,c)$: 为系数 (i,j) 子孙集合,不包含直接子节点,即 $L(r,c) = D(r,c) - O(r,c)$;

(4) $H(r,c)$: 为根节点集合。

SPIHT 算法引入了 LIP、LSP、LIS 3 个链表来作为编解码的控制,分别表示非重要像素列表、重要系数列表、非重要集合列表。这 3 个表中,每个表项都使用坐标 (r,c) 来标识。在 LIP 和 LSP 中,坐标 (r,c) 表示单个小波系数;在 LIS 中,分别有 D 型表项和 L 型表项,分别用 $D(r,c)$ 和 $L(r,c)$ 表示。

SPIHT 算法编码过程如下:

(1) 初始化 LSP、LIP、LIS, 设定阈值 T_0 ;

(2) 对 LIP 列表系数进行扫描,判断该坐标系下的小波系数是否重要及正负值;将重要系数从 LIP 表中删除,同时将其添加到 LSP 的尾部。若是不重要系数,则继续留在 LIP 表中;

(3) 对 LIS 表中的元素进行检查。LIS 表中有 $D(r,c)$ 、 $L(r,c)$ 二种集合类型,对二种集合类型分别进行重要性判断和扫描;

(4) 精细扫描;

(5) 更新阈值。

2.2 改进算法流程

(1) 对原始电网数据进行三级小波分解,这里选用了 9/7 滤波器进行滤波,得到高低频子带: $LL_3, HL_3, LH_3, HH_3, HL_2, LH_2, HH_2, HL_1, LH_1, HH_1$;

(2) 对原始电网数据进行小波变换后的小波系数向上取整运算,使接近但又略小于阈值的小波系数能够在该阈值下被编码进码流,从而改善了该比特率下的还原效果;

(3) 对低频子带 LL_3 采用 DPCM 四阶线性预测算法,利用相邻像素之间的相关性,即 4 个相邻像素来预测下一个像素的取值,编码其实际值与预测值的差值,减少小波变换后低频系数编码的损失;

(4) 对高频子带中 $D(i,j)$ 分裂得到 $O(i,j)$ 中的 4 个像素采用一个简单的二叉树编码方法,当 $O(i,j)$ 的不重要系数较多时,可节省输出码流。

2.3 DPCM 预测

DPCM 线性预测方法是利用图像相邻像素间有较强相关性的特点,根据某一模型利用以往样本值对新的样本值进行预测,将样本的实际值与其预测值相减得到一个误差值,对这一误差值进行编码。本文利用与目标像素相关程度最高的四个相邻像素值 $X(k,l-1)$ 、 $X(k-1,l)$ 、 $X(k-1,l-1)$ 、 $X(k-1,l+1)$ 进行预测,将预测参数分别设置为 $1/2, 1/4, 1/8, 1/8$ 。根据性能测试分析,最终本文所采用式(5)模型的四阶 DPCM 线性预测:

$$X(k,l) = X(k,l) - \left[\frac{1}{2} \times X(k,l-1) + \frac{1}{4} \times X(k-1,l) + \frac{1}{8} \times X(k-1,l-1) + \frac{1}{8} \times X(k-1,l+1) \right], \quad (5)$$

其中, $X(k,l)$ 是当前需要预测的像素值, $X(k,l-1)$ 、 $X(k-1,l)$ 、 $X(k-1,l-1)$ 、 $X(k-1,l+1)$ 是 $X(k,l)$ 的相邻像素。四阶 DPCM 线性预测模型如图 1 所示。

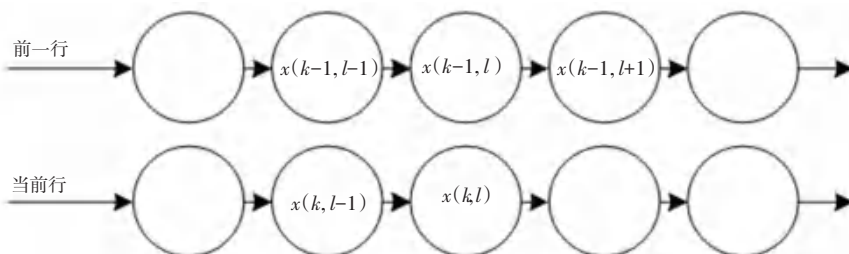
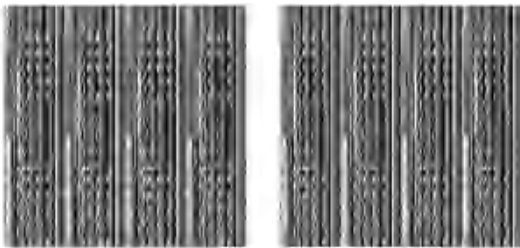


图 1 预测模型

Fig. 1 Forecast model

3 仿真实验及结果

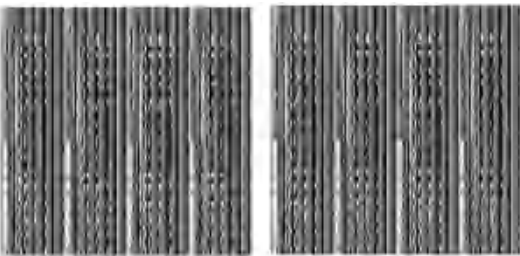
这里从几个示波器中显示的一维电网数据通过 Simulink 仿真转化为 256×256 二维数据, 使得电网数据能够被应用于二维图像压缩处理算法。对此二维数据基于小波变换的基础上, 应用本文提出的 SPIHT 改进编码算法, 得出实验结果。在 0.5bpp、1 bpp 比特率下的原始与复原二维电网数据图像如图 3、图 4 所示。



(a) 原始 SPIHT (b) 改进 SPIHT
(a) Original SPIHT (b) Improved SPIHT

图 2 0.5 bpp 下两种编码方式的重构效果

Fig. 2 Reconstruction effect of two encoding methods under 0.5 bpp



(a) 原始 SPIHT (b) 改进 SPIHT
(a) Original SPIHT (b) Improved SPIHT

图 3 1 bpp 下两种编码方式的重构效果

Fig. 3 The reconstruction effect of the two encoding methods under 1 bpp

通过图 3(a)、3(b)、4(a)、4(b) 可以看出原始 SPIHT 算法与本文提出的改进算法在不同比特率下的电网数据压缩还原后的图像清晰度都有一定程度改善。表 1 为原始 SPIHT 与本文提出的改进算法的不同比特率下的峰值信噪比的比较, 从统计结果可以看出, 不同比特率下的峰值信噪均有所提高。

表 1 两种编码算法的峰值信噪比 (PSNR)

Tab. 1 Peak signal-to-noise ratio (PSNR) of two coding algorithms

比特率/bpp	PSNR/dB	
	SPIHT	改进 SPIHT
0.25	11.45	11.75
0.5	13.05	13.65
1	18.40	18.92

4 结束语

为了改善电网数据压缩的失真情况, 本文基于二维图像数据处理的 SPIHT 压缩算法编解码原理, 基于 SPIHT 的改进算法应用于电网数据压缩, 分别对其高低频系数分开处理。实验结果表明, 该算法明显提高了电网数据在各个比特率下压缩还原后的质量, 且仅损失可忽略的算法执行时间。

参考文献

- [1] KAUSHIK C S H, GAUTAM T, ELAMARAN V. A tutorial review on discrete fourier transform with data compression application [C]//International Conference on Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE), Coimbatore, 2014:1-6.
- [2] Ebrahimzadeh A, Azarbad M. ECG compression using wavelet transform and three-level quantization [C]//6th International Conference on Digital Content, Multimedia Technology and its Applications, Seoul, 2010: 250-254.
- [3] DEHKORDI V R, DAOU H, LABEAU F. A Channel Differential EZW Coding Scheme for EEG Data Compression [J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2011, 15(6): 831-838.
- [4] Khan J, Bhuiyan S M A, Murphy G, et al. Embedded-Zerotree-Wavelet-Based Data Denoising and Compression for Smart Grid [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2015, 51(5): 4190-4200.
- [5] WANG Jianxiang, FUXIA. Study of the Image Compression based on SPIHT Algorithm [C]//挑战与机遇:2010 高校 GIS 论坛. 2010: 130-133.
- [6] CIOCOIU I B. ECG signal compression using wavelet foveation and SPIHT [C]//European Conference on Circuit Theory and Design, Antalya, 2009: 413-416.
- [7] XIE K, BAI Z, YU W. Fast seismic data compression based on high-efficiency SPIHT [J]. Electronics Letters, 2014, 50(5): 365-367.
- [8] CIOCOIU I B. "ECG signal compression using wavelet foveation and SPITH," 2009 European Conference on Circuit Theory and Design, Antalya, 2009: 413-416, DOI: 10.1109/ECCTD.2009.5275009.
- [9] XIE K, BAI Z, YU W. "Fast seismic data compression based on high-efficiency SPIHT." in Electronics Letters, 2014, 50(5): 365-367. DOI: 10.1049/el.2013.3834.