

# Method for Compressing Recorded Data in Electric Vehicle Charge-Station Monitoring System

Yongxiang Liu, Xingzhe Hou, Quan Zhou, Linxia Li, Ke Zheng, Hongliang Sun

Chongqing Electric Power Research Institute, Chongqing  
Email: yongxiangliu@gmail.com

Received: Sep. 17<sup>th</sup>, 2012; revised: Oct. 3<sup>rd</sup>, 2012; accepted: Oct. 12<sup>th</sup>, 2012

**Abstract:** For solving the problem of recording waves difficulty and low transmission efficiency in monitoring system of electric vehicles charging station, a new method for data compression, which integrates two-dimension discrete wavelet transform (DWT) in lifting format and set partitioning in hierarchical tree (SPIHT) coding with arithmetic coding, is introduced. The proposed method compressed monitoring data by means of two-dimension DWT in lifting format, then the SPIHT coding is applied to wavelet coefficients, in the end, the arithmetic coding is used to control the compression performance and increase the compression ratio. The compression experiments of frequent power quality harmonic signals are performed, the results show that the proposed method has better compression performance, which verifies the effectiveness of the algorithm. This scheme has greater application value in monitoring system of electric vehicles charging station.

**Keywords:** Electric Vehicles; Charging Station; Data Compression; Monitoring System

## 电动汽车充电站监控系统录波数据压缩方法

刘永相, 侯兴哲, 周全, 李林霞, 郑可, 孙洪亮

重庆市电力公司电力科学研究院, 重庆  
Email: yongxiangliu@gmail.com

收稿日期: 2012年9月17日; 修回日期: 2012年10月3日; 录用日期: 2012年10月12日

**摘要:** 为解决电动汽车充电站监控系统录波难度大、数据传输效率低的问题, 本文引入一种 2 维离散小波变换、多级树集合分裂(set partitioning in hierarchical tree, SPIHT)编码、算术编码相结合的数据压缩新方法。该方法采用提升格式的 2 维离散小波变换对监测数据进行压缩, 然后对小波系数进行 SPIHT 编码, 最后采用算术编码实现压缩性能的控制, 并进一步提高压缩比。对充电站中常见的电能质量谐波信号进行了压缩实验, 结果表明该方法具有良好的压缩性能, 验证了算法的有效性, 在电动汽车充电站监控系统中具有较大的应用价值。

**关键词:** 电动汽车; 充电站; 数据压缩; 监控系统

### 1. 引言

目前, 能源危机和环境污染促使电动汽车得以大力发展, 但电动汽车的蓄电池存在着使用寿命短、充电时间长的缺点, 而且随着电池使用次数的增多, 每次充电后电动汽车行驶里程逐渐缩短。因此, 为满足电池充电或更换的需要, 必须建立电动汽车充电站。

而充电站采用的充电机为非线性设备, 在运行时会对电力系统产生影响, 造成电能质量下降<sup>[1]</sup>。

建立电动汽车充电站监控系统能有效地对某一区域充电站的充电情况进行监测、分析与评估, 便于运行人员随时查看各监测站点的充电状况, 迅速查找产生电能质量问题的原因, 有利于电能质量的优化调

度和集中管理<sup>[2]</sup>。而各监测站点对充电情况进行不间断、高采样率的监测，将产生海量的数据，这使得录波难度大、数据传输效率低。应用具有高压缩性能的数据压缩方法是解决这一难题的有效途径，满足电动汽车充电站监测系统的如下要求：1) 极大地节省监测网的网络资源与终端存储空间，提高网络传输效率；2) 在较高的压缩比时仍保证重构信号有较高的信噪比，为准确分析电能质量问题提供可靠的依据；3) 能根据充电站监测系统不断变化的通信状况对压缩性能进行控制。

文献[3,4]将小波变换应用于电能质量扰动数据压缩中，获得了一定程度的压缩效果。对小波系数进行阈值处理后压缩比得到了提高<sup>[5]</sup>，结合熵编码后压缩比进一步被提高了<sup>[6-8]</sup>。然而，以上方法到的压缩比仍较低，维持在几倍至十几倍，且无法控制压缩性能。文献[9]采用了图像压缩领域的多级树集合分裂(set partitioning in hierarchical tree, SPIHT)编码来实现1维数据的压缩，但没有讨论压缩码率与压缩性能的关系，且压缩性能不佳。为此，本文引入一种2维离散小波变换、SPIHT编码、算术编码相结合的数据压缩新方法<sup>[10]</sup>。由于2维离散小波变换比1维离散小波变换的压缩性能更优越，因此其基本思想是直接应用SPIHT编码对2维矩阵进行压缩，充分利用图像编码的优势，通过控制压缩码率实现对压缩性能的控制，算术编码将进一步提高压缩比。本文首先简要介绍电动汽车充电站监控系统的结构，然后阐述数据压缩方法的基本原理，最后通过仿真算例对其有效性进行验证。

## 2. 电动汽车充电站监控系统

电动汽车充电站整个监控系统的结构图如图1所示<sup>[11]</sup>，其主要功能包括：1) 实时监控充电机状态，具有人机交互功能，可以按照用户的要求提供多种充电策略，并且在多台充电机并联运行时能够提供均流策略；2) 与充电站的监控工控机进行数据交换，保证每台充电机的状态都在监控中心的监控下；3) 充电及网络监控器还必须能与车载电池管理系统进行通讯，获取车上电池组的基本信息；4) 对输入、输出电量进行计量，具有系统故障报警和保护功能。

## 3. 数据压缩方法

本文采用的数据压缩与重构方法如图2所示。首先，将采集的1维数据按整数倍周期排列为2维矩阵，利用图像压缩的方法对监控网录波数据进行压缩。在硬件采样不完全同步的情况下，可以通过软件算法进行修正，使每个信号周期的数据长度保持相同，以排列成2维矩阵形式。

由于电力系统信号的周期性，2维矩阵除了在每行内存在冗余外，在每列间也存在冗余，因此2维矩阵与1维向量相比存在更大的冗余度。2维矩阵经过2维离散小波的行列变换后，行内与列间的冗余度都被降低了，相比1维离散小波变换，压缩性能得到了提高<sup>[12]</sup>。

在SPIHT编码中，小波系数按重要性从大到小的顺序被编码，达到目标压缩码率便立即结束编码，

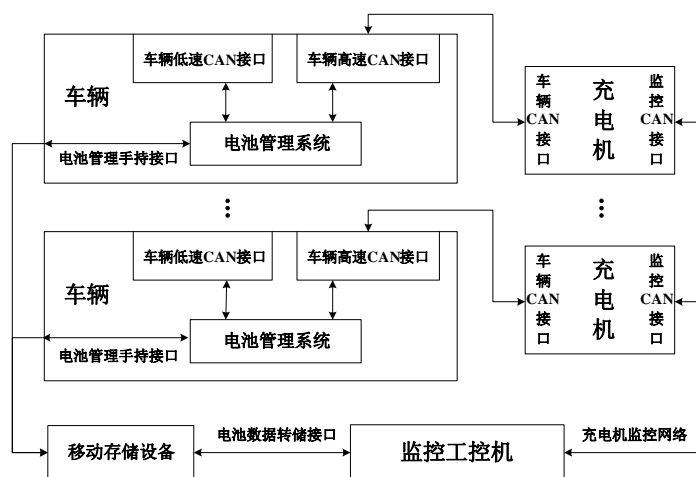


Figure 1. Structure diagram of electric vehicle charging station monitoring system  
图 1. 电动汽车充电站监控系统结构图

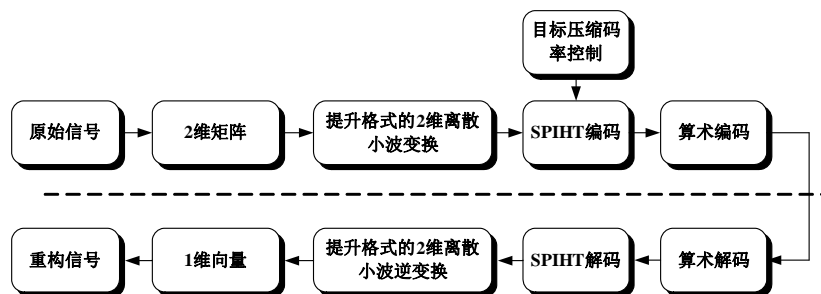


Figure 2. Monitoring system recorded data compression and reconstruction method  
图 2. 监控系统录波数据压缩与重构方法

因此可以根据监测网的通信状况来控制压缩码率，实现对压缩性能的控制；且 SPIHT 编码对不重要的小波系数及其不重要的后代节点都不进行编码，提高了编码效率。最后，对 SPIHT 编码输出的数据进行算术编码，可进一步提高压缩比。

### 3.1. 提升格式的 2 维离散小波变换

提升格式的小波变换即第二代小波变换改进了传统的小波变换，其基本思想是在双正交小波和完全可恢复滤波器组的理论基础上，在保持小波双正交特性的条件下，通过提升和对偶提升来改善小波及其对偶的性能，以满足各种应用的需要。

提升格式主要由三部分组成：分裂、预测和更新。具体过程如下：

1) 分裂。将输入信号序列  $x[n]$  分为偶数序列  $x[2n]$  与奇数序列  $x[2n+1]$  2 个子集合，即

$$x[n] = (x[2n], x[2n+1]) \quad (1)$$

2) 预测。将滤波器  $P$  作用于偶数序列  $x[2n]$ ，得到奇数序列  $x[2n+1]$  的预测值，将该预测值与奇数序列  $x[2n+1]$  相减，得到预测误差序列  $d[n]$ ，即

$$d[n] = x[2n+1] - P(x[2n]) \quad (2)$$

预测的作用是用紧凑形式表示原数据且在空间域里分离出信号的高频分量。

3) 更新。将滤波器  $U$  作用于预测误差序列  $d[n]$ ，然后对偶数序列  $x[2n]$  进行校正，得到只含低频分量的序列  $c[n]$ ，即

$$c[n] = x[2n] + U(d[n]) \quad (3)$$

2 维离散小波的分解过程包括行变换和列变换，对行列变换后的 2 维数据进行降采样，分裂成低频子

带和水平、垂直、对角 3 个方向的高频子带，高频子带上的小波系数以更细尺度的高频子带上相同位置的 4 个小波系数作为其子节点，而低频子带没有子节点。图像的大部分能量集中在低频子带，各个尺度上的能量从低频到高频呈递减分布趋势。

### 3.2. SPIHT 编码

SPIHT 编码是一种非常实用有效的高性能图像压缩编码算法，其显著特点是极低的计算复杂度和高质量的恢复图像，打破了传统编码算法中编码效率与复杂度同步增长的要求，并且合理利用了小波变换的空间-频率局部化特性，获得了良好的压缩性能。

SPIHT 编码使用了 3 个链表：不重要系数表(list of insignificant pixels, LIP)、重要系数表(list of significant pixels, LSP)和不重要集合表(list of insignificant sets, LIS)。其具体编码过程如下：

1) 初始化。确定初始量化门限  $2^n$ ，将 LSP 置空，将所有最高层节点放入 LIP，并将其中有后继节点的节点放入 LIS 表中。

2) 分裂。编码器将 LIP 链表中所有小波系数分成几个集合  $T_k$ ，然后对每个小波系数  $c_{i,j}$  进行显著性检测，输出  $S_n(T_k)$ ：

$$S_n(T_k) = \begin{cases} 1, & \max_{(i,j) \in T_k} |c_{i,j}| \geq 2^n \\ 0, & \max_{(i,j) \in T_k} |c_{i,j}| < 2^n \end{cases} \quad (4)$$

$$n = \lfloor \log_2(\max |c_{i,j}|) \rfloor \quad (5)$$

若输出为 1，对每个系数的符号和最高有效位进行编码，并将其转移到 LSP 链表中，接着对 LIS 链表中的每个元素进行显著性检测。通过空间方向树的多次分裂实现对显著元素的确定，并相应更新 LIP 和

LSP 链表。

3) 细化。对 LSP 的每个元素(不包括在同一编码分类过程新加入 LSP 表的元素), 输出其在该级编码平面的值。

4) 量化门限更新。门限  $T$  减半, 转到步骤 2), 进行下一步编码。当压缩码率达到目标值时, 就立即终止编码过程, 实现对压缩码率的精确控制。

### 3.3. 算术编码

算术编码是无损压缩编码, 其主要思想是通过概率估计过程把各输入符号分为大概率符号(more probable symbol, MPS)和小概率符号(less probable symbol, LPS)。设  $Q_e$  是 LPS 对应的概率值, 则 MPS 对应的概率值  $P_e$  为  $1 - Q_e$ 。编码时算术编码器将当前区间按照 MPS、LPS 概率值划分为大概率区间和小概率区间。当前区间用  $A$ 、 $C$  2 个值表示,  $C$  是当前区间下限,  $A$  是当前区间长度, 则当前区间表示为  $[C, C+A]$ , 小概率区间表示为  $[C, C+AQ_e]$ , 大概率区间表示为  $[C+AQ_e, C+A]$ 。 $C$  的初始值为 0, 为避免乘法运算, 规定  $A$  的初始值在区间  $[0.75, 1]$  内, 则  $AQ_e$  近似等于  $Q_e$ 。近似处理后小概率区间可以表示为  $[C, C+Q_e]$ , 大概率区间可以表示为  $[C+Q_e, C+A]$ 。因此,  $A$ 、 $C$  满足以下递推关系:

对 MPS 有

$$C_{i+1} = C_i + Q_e \quad (6)$$

$$A_{i+1} = A_i - Q_e \quad (7)$$

对 LPS 有

$$C_{i+1} = C_i \quad (8)$$

$$A_{i+1} = Q_e \quad (9)$$

若待编码数据为大概率符号, 则选择大概率区间为下一次编码的当前区间; 若待编码数据为小概率符号, 则选择小概率区间为下一次编码的当前区间。解码与之类似, 算术解码器根据与编码器相同的概率估计过程, 判断位流属于大概率区间还是小概率区间, 从而解得相应的数据。

### 4. 算例仿真

电动汽车充电站采用的充电机为非线性负荷, 对电力系统的影响主要体现在造成谐波污染和电网功

率因素下降等方面。为验证本文提出的数据压缩方法具有较好的压缩性能, 对可编程 AC Source 产生的电能质量谐波信号进行压缩实验。基频为 50 Hz, 在含有不同强度的高斯白噪声下, 作 5 层小波分解, 取压缩码率  $R = 0.5 \text{ bit/pel}$ (位每像素)。压缩比、信噪比、均方误差比的计算公式分别为:

$$I_{CR} = \frac{S_n}{S_0} \quad (10)$$

$$I_{SNR} = 10 \lg \frac{\sum_{i=0}^{N-1} x_0^2(i)}{\sum_{i=0}^{N-1} [x_0(i) - x_n(i)]^2} \quad (11)$$

$$I_{MSE} = \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} [x_0(i) - x_n(i)]^2}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} x_0^2(i)}} \times 100\% \quad (12)$$

式中:  $S_0$  为原始信号的数据量,  $S_n$  为重构信号的数据量,  $x_0(i)$  为原始信号,  $x_n(i)$  为重构信号,  $N$  为信号的长度。

图 3 为谐波信号的压缩效果, 从上到下分别为原始信号、重构信号和两者的误差信号。从图中可以看出重构信号较好的保留了原始信号的特征。在不同噪声强度下的仿真结果如表 1 所示。

从表 1 中的数据可以看出, 在 SPIHT 编码的基础上结合算术编码进一步提高了压缩比, 与文献[9]的方法相比, 在相近的信噪比下, 采用本文方法的压缩比

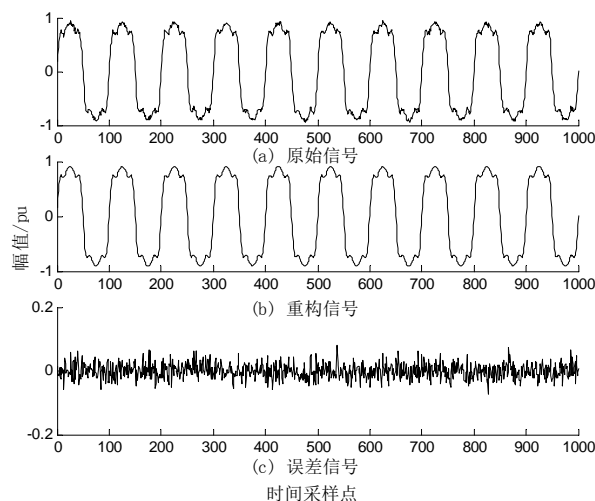


Figure 3. The compression results of harmonic signal  
图 3. 谐波信号的压缩效果

**Table 1. The compression results of harmonic signal data  
( $R = 0.5$  bit/pel)**

**表 1. 谐波信号数据的压缩结果( $R = 0.5$  bit/pel)**

噪声强度/dB	$I_{SNR}/dB$	$I_{MSE}/\%$	$I_{CR}$	
			SPIHT 编码	SPIHT + 算术编码
30	71.271	1.234	191.230	251.430
20	49.237	1.981	132.913	182.310
15	43.219	2.046	108.956	142.956
10	33.747	2.654	94.914	114.837

大大提高了。各种噪声强度下信号的压缩比都达到了 100 倍以上，在如此高的压缩比且含有 10 dB 强度的高斯白噪声的情况下，重构信号的信噪比也达到了 33 dB 以上。可见，采用本文算法在实现高压压缩比的同时，仍能保持较好的信号质量。

## 5. 结论

本文基于 2 维离散小波变换、SPIHT 编码与算术编码结合的数据压缩方法，对谐波信号进行数据压缩的结果表明：在较高的压缩比时仍能保证较高的信噪比，信号的特征基本得到了保留；压缩性能可以根据电动汽车充电站监控网的通信状况被灵活调节，避免了因为通信线路上传输的数据量过大而造成的数据丢失或严重滞后，监测中心能及时地监测、分析充电站的电能质量状况。提出的方法能较好地解决电动汽车充电站监控网对海量录波数据进行存储与传输的

问题，有利于推进电动汽车充电站监控网的组建。

## 6. 致谢

本文得到了重庆市电力公司科技项目(渝电科技 44 号)的资助，特此致谢。

## 参考文献 (References)

- [1] 高赐威, 张亮. 电动汽车充电对电网影响的综述[J]. 电网技术, 2011, 35(2): 127-131.
- [2] 章桐, 贾永轩. 电动汽车技术革命[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [3] 张蕊, 王学伟, 王琳. 基于 GHM 多小波的电力系统故障录波数据压缩算法[J]. 电测与仪表, 2008, 45(514): 46-50.
- [4] 王学伟, 王丽君. 基于 CL 多小波及 SPIHT 编码的电力系统故障录波数据压缩算法[J]. 电测与仪表, 2009, 46(525): 5-9.
- [5] 乐全明, 费铭薇, 张沛超等. 超高压电网故障录波数据自适应压缩新方法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(21): 61-65.
- [6] 孙妙平. 电力系统故障录波数据压缩方法研究[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(11): 34-36.
- [7] 周瑞, 鲍文, 于霄等. 基于提升小波和混合熵编码的数据压缩方法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(22): 65-69.
- [8] 王学伟, 孙金凤, 王琳. 基于整数小波变换的 Ray-Period 压缩算法[J]. 电网技术, 2008, 32(7): 46-50.
- [9] 王永玉, 孙衢, 袁超伟. 基于整数小波变换和 SPIHT 编码的录波数据压缩算法[J]. 继电器, 2008, 36(11): 50-54.
- [10] 刘毅, 周维维, 冯浩. 电能质量监测网录波数据压缩方法[J]. 电网技术, 2010, 34(4): 199-203.
- [11] 黄李. 充电站电能监测系统的研究[D]. 北京交通大学, 2008.
- [12] O. N. Gerek, D. G. Ece. 2-D analysis and compression of power quality event data. IEEE Transactions on Power Delivery, 2004, 19(2): 791-798.