

## 基于选择性加载策略的电能质量数据处理

赵霞<sup>1,2\*</sup>, 林天华<sup>2</sup>, 马素霞<sup>3</sup>, 齐林海<sup>3</sup>

(1. 北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191; 2. 河北经贸大学 信息技术学院, 石家庄 050061;

3. 华北电力大学 控制与计算机工程学院, 北京 102206)

(\* 通信作者电子邮箱 piao xuexiaoyao@126.com)

**摘要:**根据电能质量系统中监测数据海量化的趋势,提出了一种基于部分存储和选择性加载的数据处理算法,彻底解决了现有数据处理算法中重复排序和多余处理的问题。在计算日指标时,根据存储率存储部分日排序数据;在计算周(月、季、年)指标时,利用多路归并算法将存储的部分日排序数据合并,计算出临时95概率大值(CP95);根据临时CP95确定需要重载的日数据,对部分存储的日数据和重载数据重新排序以计算稳态指标。部分存储的日排序数据可以重复利用,有效解决了传统处理方案中的重复排序问题;排序过程中只需读取部分日排序数据和少量重载数据,有效解决了传统处理方案中冗余处理问题。与传统的数据处理方法做测试对比,结果表明:日采样数据较小时,性能提升3倍以上;日采样数据超过2880时,性能提升15倍以上。数据量越大,性能提升越明显。所提方案已在山西、河北等监测系统中成功应用,实践证明所提方案正确、有效。

**关键词:**电能质量;海量数据;多路归并;存储率;重载率

**中图分类号:**TP319 **文献标志码:**A

### Method for processing power quality data based on selective reloading

ZHAO Xia<sup>1,2\*</sup>, LIN Tianhua<sup>2</sup>, MA Suxia<sup>3</sup>, QI Linhai<sup>3</sup>

(1. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. School of Information Technology, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang Hebei 050061, China;

3. School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** The monitoring data in the power quality monitoring system increased quickly. A new method based on partial storage and selective reloading was proposed, which can solve the problem of repetitive sorting and redundant processing in the tradition methods. In the calculation of the daily index, daily data was sorted and stored partly based on saving rate. In the calculation of week (month, season or year) index, the partly saved daily data in a week (month, season or year) were merged by the multiple merge algorithm to calculate a temporary 95 percentile (CP95), which could be used to determine which daily data should be reloaded. Besides the reloaded data, all other needed data were reordered to calculate the steady index. The sorting process only needed part of the stored daily data and a small amount of reloaded data, so the redundant processing problem in traditional processing method was solved effectively. Compared with the traditional data processing method, the experimental results show the efficiency can be increased more than 3 times using the proposed method when daily sampling data is relatively small. When the number of daily sampling data is more than 2880, the efficiency can be increased more than 15 times. The larger the amount of sampling data is, the more obviously the performance improves. The method has been applied in the monitoring system of Shanxi, Hebei and other provinces successfully. It is proved in practice that the method is correct and effective.

**Key words:** power quality; mass data; multiple merge; store rate; reload rate

## 0 引言

电能质量监测分析系统是发现和分析各种电能质量问题的主要手段,为电能质量的改善和电力系统故障的诊断提供决策依据<sup>[1-3]</sup>。目前,大部分省供电公司已建立了覆盖全省的电能质量在线监测系统<sup>[4-6]</sup>,电能质量在线监测系统中数据呈指数级增长,原因如下:首先电能质量稳态指标数量众多,包括电压、电流、频率、电压谐波、电流谐波、电压间谐波、

电流间谐波等,超过230个指标(谐波统计2~50次);其次,随着监测工作的推进,个别省监测系统包含的监测点数已超过千个;最后,随着监测要求的提高,稳态采样间隔越来越小,通常在3s到300s之间,对应每日采样点数为288到28800。根据电能质量国标和电气与电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE)标准要求,在分析稳态指标时一般要统计各通道在某时间段(日、周、月、季、年、自定义时间段)内的最大值、最小值、平均值、99概率大值(99

**收稿日期:**2015-10-14;**修回日期:**2016-01-01。 **基金项目:**河北省教育厅高等学校科学技术研究项目(YQ2013038);河北省自然科学基金资助项目(F2015207009);河北经贸大学科研基金资助项目(2013KYY17)。

**作者简介:**赵霞(1979—),女,河北定州人,副教授,博士,CCF会员,主要研究方向:软件工程、非线性控制;林天华(1979—),男,福建上杭人,副教授,硕士,主要研究方向:软件工程、软件架构、信息系统;马素霞(1964—),女,山东章丘人,教授,主要研究方向:软件工程、软件体系结构、软件构件技术;齐林海(1964—),男,北京人,副教授,主要研究方向:数据挖掘、信息系统、商务智能。

Percentile, CP99)、95 概率大值 (95 Percentile, CP95) [7-8]。由于数据量大,电能质量稳态指标计算非常耗时,稳态数据处理已成为系统的性能瓶颈。如何高效地利用电能质量数据、提高数据处理效率成为电能质量监测与分析系统的重要问题。

目前,国内外文献中对海量数据的研究很多[9-11],但是,针对电能质量监测系统中海量数据的性能研究较少。文献[12]提出了海量电能质量数据交换格式文件快速解析方案,对历史采样数据的解析进行了优化;文献[13]针对海量电能质量监测数据,提出了基于分布式文件系统的管理方案,对历史采样数据的存储和读取进行了优化,未涉及历史采样数据的计算过程;文献[14]针对海量电能质量数据的传输和存储问题,提出了数据压缩方案;文献[15]采用数据库分区技术、缓存机制和索引机制实现了数据中心的建设;文献[16]提出了基于 Hadoop 的海量电能质量监测数据分析平台,利用分布式计算,提高系统数据处理能力;文献[17]对 top- $k$  算法进行优化,提高了 95 概率大值的计算方法,但 top- $k$  算法仍要求所有数据参与排序,且要求每个数据点作为一条记录进行存储,容易造成数据访问缓慢;文献[18-22]对归并算法等排序方法进行了研究,但这些文献研究的是通用方法,未利用电能质量数据的统计特点,虽可应用于电能质量数据处理,但对系统效率提升不大。

本文利用电能质量稳态指标的统计特点,存储部分日排序数据,利用部分数据代替所有数据,计算出 CP99 值和 CP95 值,实现了周、月、季、年等稳态指标的高效计算,提出了电能质量稳态数据处理方案。测算结果表明,本文方案与传统方案相比,日采样数据较小时,性能提升 3 倍以上;日采样数据超过 2880 时,性能提升 15 倍以上。数据量越大,性能提升越明显。解决了电能质量监测分析系统的性能瓶颈问题。本方案与具体的系统结构、存储方案无关,能应用于所有电能质量分析系统。

## 1 传统处理方案的不足

### 1.1 传统数据处理方法原理

最大、最小和平均值的统计,对系统性能影响较小。CP95 (CP99) 值是指把指标的所有数据点从大到小排序,取排名为 5% (1%) 之后的第一个数据。可见,稳态指标的计算时间主要取决于排序速度。传统计算方案采用某种排序算法,对所有数据进行排序,然后取出 CP95 值和 CP99 值。

速度较快的排序算法主要有快速排序、堆排序和  $k$  路归并排序,其时间复杂度分别为  $O(n \lg n)$ 、 $O(n \lg n)$  和  $O(n \lg k)$ ,空间复杂度分别为  $O(\lg n)$ 、 $O(1)$  和  $O(n)$ ,  $n$  为数据点个数。选取采样间隔 300 s、30 s 和 3 s,时间段为周、月、季、年的数据进行测试,可以发现快速排序耗时最少,  $k$  路归并排序比快速排序略慢。3 s 采样间隔下,三种排序算法计算一个指标 (包含 A、B、C 三相) 的耗时对比如图 1 所示。

### 1.2 传统数据处理方案存在的问题

对传统数据计算方案进行研究,可以发现其存在三个方面的问题:

1) 对大量数据排序,将造成系统性能急剧下降。当采样间隔为 3 s 时,快速排序算法计算一个监测点的月稳态指标约需 6.1 min,计算年稳态指标约需 1.67 h。

2) 传统数据计算方案中每组采样数据在计算日、周、月、

季、年指标时均要参加排序,每组数据至少参加五次排序。重复的排序,加重了系统负荷。

3) 传统数据计算方案读取全部数据进行排序,但根据 CP99 和 CP95 的定义可以发现,计算 CP99 值和 CP95 值时并不需要把所有数据排序,只需排出前  $N * 5\% + 1$  即可。对全部数据排序,不仅浪费排序时间,还增加数据读取时间。

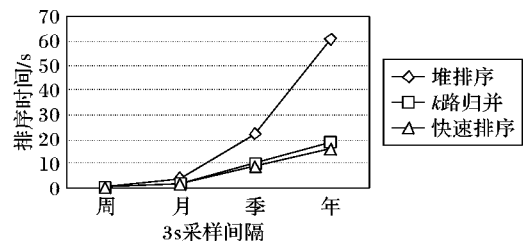


图1 三种排序方法耗时对比

## 2 改进的数据处理方案

### 2.1 数据预处理

电能质量分析系统中通常需要计算日、周、月、季、年等指标,数据需要多次参加排序。 $k$  路归并排序算法的思想是把总数据分成  $k$  组分别排序,然后再把  $k$  个有序小数组合并成一个总有序数组。如果存储每日的排序数据,计算其他时间段指标时以天数为  $k$ ,使得有序小数组合恰好为日排序数据,则每日的排序数据可以在计算周、月、季、年指标时重复利用,只需将  $k$  日内有序数组合并成总有序数组即可。此外,还可以存储每日数据的采样点数、最大、最小和平均值,计算周、月、季、年的最大、最小和平均值时,可以直接从中计算得出。

通过数据预处理,在计算周、月、季、年指标时只需对有序数组进行合并,可以节省大量排序时间,且一次排序多次使用,解决了数据重复排序的问题;缺点是增加了 100% 的存储空间。

### 2.2 部分存储

#### 2.2.1 算法描述

根据 CP95 (CP99) 的定义可以发现,计算 CP95 (CP99) 值时并不需要把所有数据排序,只需排出前  $N * 5\% + 1$  ( $N * 1\% + 1$ ) 即可。因此可以对数据预处理算法进一步改进,不存储全部日排序数据,只存日排序数据的前  $X$  (存储率,  $X \geq 0.05$  且  $X \leq 1$ ), 对 CP95 (CP99) 的计算算法进行调整如下:

1) 假定每日采样个数为  $N_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ,  $k$  为统计的天数), 存储排序后日数据的前  $NS_i$  个值 ( $NS_i = N_i * X + 1$ ), 存储数据定义为  $S_i$ , 未保存的数据定义为  $L_i$ ,  $S_i + L_i$  为每日所有采用数据,如图 2 所示。

2) 计算周、月、季、年等指标时,取出  $k$  日内的  $S_i$  进行合并排序,结果为  $TS$ , 并取  $TS$  的第  $Index95$  个值 ( $Index95 = (\sum_{i=1}^k N_i) * 5\% + 1$ ) 为暂时的 CP95 值,命名为 CP95'。

3) 取出时间范围内每日存储数据  $S_i$  的最小值  $\min S_i$ , 比较  $\min S_i$  和 CP95'。

3.1) 若  $\min S_i \leq CP95'$ , 则说明该日数据中未保存的数据  $L_i$  不比 CP95' 大,所以 CP95 不会在  $L_i$  中。而  $S_i$  已经参加了合并排序,所以该日数据不需要重新计算。

3.2) 若  $\min S_i > CP95'$ , 则说明该日数据中未保存的数据  $L_i$  中存在比 CP95' 大的数,把  $i$  对应的日期加入到  $ReLoad$  集合

中,为重新读取采样数据作准备。

4) 根据  $ReLoad$  集合,批量读取相关日期原始数据,对每组日数据分别排序,取  $NS_i$  后的大于  $CP95'$  的数据  $L_i'$ 。

5) 把所有  $L_i'$  和  $TS$  合并排序。

6)  $TS[Index95]$  为时间范围内的  $CP95$  值,  $TS[Index99]$

为时间范围内的  $CP99$  值,  $Index99 = \left( \sum_{i=1}^k N_i \right) * 1\% + 1$ 。

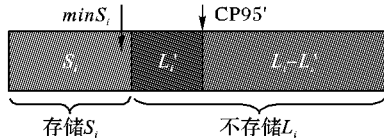


图2 部分存储示例图

### 2.2.2 算法正确性

本算法未读取全部数据参与排序,但是,可以证明算法计算所得  $CP95$  值为  $k$  日内所有采样数据的  $CP95$  值。

1) 因为  $X \geq 0.05$ ,

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k (N_i X + 1) &\geq \sum_{i=1}^k (N_i \times 0.05 + 1) = \\ &\sum_{i=1}^k (N_i \times 0.05) + k \geq \\ &\sum_{i=1}^k N_i \times 0.05 + 1 = Index95 \end{aligned}$$

所以  $TS$  的长度大于  $Index95$ 。只需证明  $S_i, L_i'$  和  $L_i - L_i'$  中没有其他数据大于  $TS[Index95]$  即可证明  $TS[Index95]$  为  $CP95$  值。

2) 因为  $S_i$  和  $L_i'$  中的数都已参加排序,其中比  $TS[Index95]$  大的数据已计算在内,所以  $S_i$  和  $L_i'$  中没有其他数据大于  $TS[Index95]$ 。

3) 因为  $L_i$  中大于  $CP95'$  的数据都已归到  $L_i'$  中,所以  $L_i - L_i'$  中的数都  $< CP95' \leq TS[Index95]$ ,所以  $L_i - L_i'$  中没有其他数据大于  $TS[Index95]$ 。

综上所述,  $S_i, L_i', L_i - L_i'$  中都没有其他数据大于  $TS[Index95]$ ,因此  $TS[Index95]$  即为  $k$  日内所有采样数据的  $CP95$  值。同理可证  $CP99$ 。

### 2.2.3 算法分析

算法的核心思想是利用部分数据(预先存储的部分排序数据)和选择性加载策略计算出  $CP95$  值和  $CP99$  值。因为读取的数据较少,因此在相同数据存取方式下,算法的存取效率比传统方法高;参与排序的数据较少且为有序数组,因此算法排序效率要远高于传统方法。

算法效率与存储率  $X$  和重载率  $R(\min S_i > CP95'$  的发生概率)密切相关。 $X$  越大,重载率  $R$  越小,但存储和参与排序的数据越多; $X$  越小,存储和参与排序的数据越少,但重载率  $R$  越大。

设每日采样点数为  $N$ ,处理  $k$  日内数据时,总点数为  $n = Nk$ 。合并排序的时间复杂度为(2.2.1节步骤2,用  $k$  路归并算法)  $O(NkX \lg k)$ ;重载数据排序的时间复杂度为(2.2.1节步骤4,用快速排序算法)  $O(NkR \lg N)$ ;重载后有序数组合并排序的时间复杂度约为(2.2.1节步骤5,用归并算法)  $O(NkX)$ ;本文算法的时间复杂度为上述三者之和(后者远小于前两

者,忽略)  $O(Nk(X \lg k + R \lg N))$ ;本算法的空间复杂度为  $O(NkX)$ 。

## 3 方案实现

### 3.1 存储率的设定

$X$  越小,存储的数据越少,合并排序时间越短,但  $R$  越大; $X$  越大, $R$  越小,但存储的数据增多。 $X$  同时影响时间性能和空间性能,需要在两者之间取得平衡。

由2.2.3节得出的时间复杂度可知,当  $N$  较小时(如288),  $\lg N$  与  $\lg k$  接近,此时  $X$  和  $R$  权重相当,应保证  $X + R$  接近最小值;当  $N$  较大时(如28800),  $R$  权重高于  $X$ ,应优先保证  $R$  较小。针对不同  $N$  对原始数据进行测试,  $X + R$  与  $R$  的变化曲线如图3所示。

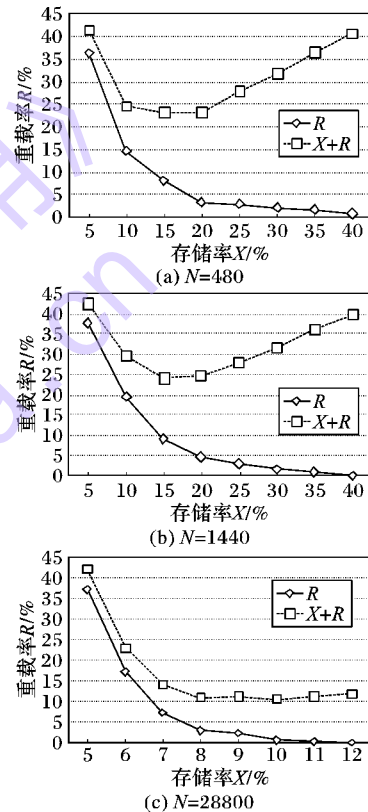


图3 不同  $N$  值时  $X$  与  $R$  取值关系

从图3可以得出:当采样点数小于480时,建议  $X$  取  $0.2 \sim 0.25$ ;大于481且小于1440时,  $X$  取  $0.15 \sim 0.2$ ;大于1441时,  $X$  建议取  $0.08 \sim 0.13$ 。为方便实现,可以在系统中以配置表设定不同采样点数对应的  $X$ ,如表1所示。数据预存时根据日采样点数从配置表中读取对应  $X$ 。

表1 不同采样点数对应的  $X$

日采样点数下限	日采样点数上限	$X$
0	480	0.20
481	1440	0.15
1441	9999999	0.08

### 3.2 数据预存的实现

数据预存与日指标计算合并进行,每日执行。首先读取原始采样数据,然后用快速排序方法对日数据进行排序,最后根据  $X$  截取  $S_i$  并存储。其处理流程如图4所示。



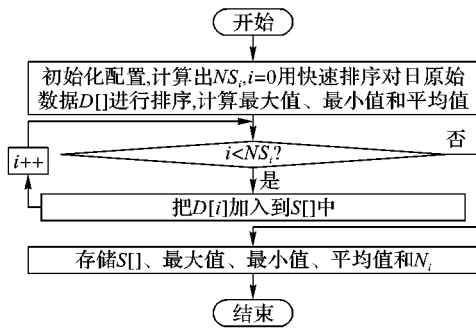


图4 数据预存流程

### 3.3 稳态指标计算的实现

稳态指标包含最大、最小、平均、CP99 和 CP95 值。最大值(最小值)只需读取  $k$  日内所有最大值(最小值),对  $k$  个数数据遍历一遍即可求得。平均值需读取  $k$  日内平均值  $avg_i$ ,根据采样点数加权平均:

$$avg = \frac{\sum_{i=1}^k (N_i avg_i)}{\sum_{i=1}^k N_i}$$

CP99 值和 CP95 值需要利用  $k$  日内存储的  $S_i$  进行计算,其处理流程如图5所示。

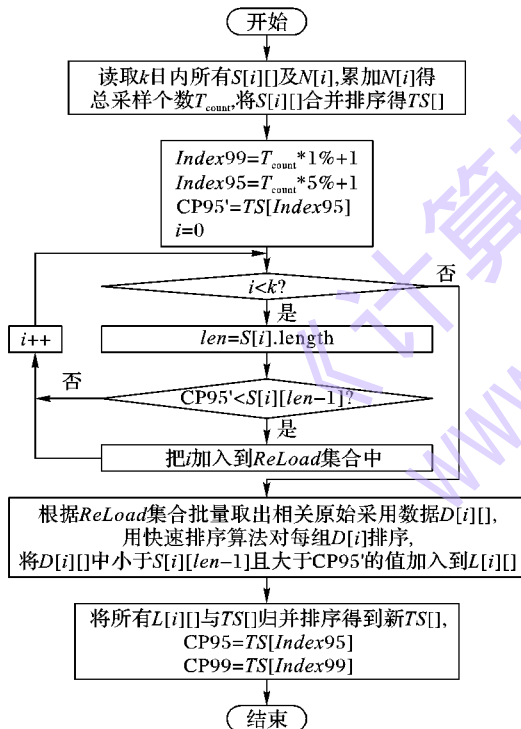


图5 CP95 值和 CP99 值的计算流程

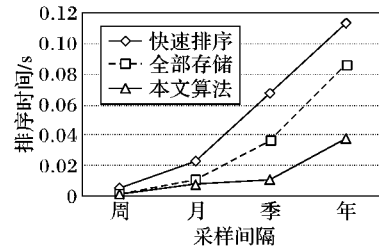
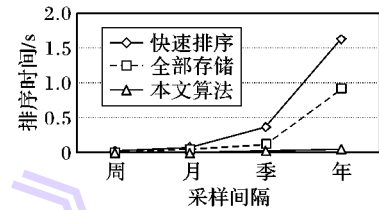
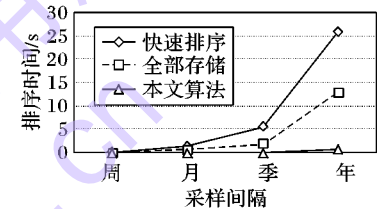
## 4 测试结果

稳态数据处理时间由数据存取时间和指标计算时间组成,通过存储方式设计和数据批量存取,可以大幅减少数据存取时间。本方法读取数据量小于传统方法的 30% (存储数据  $X$  + 重载数据  $R$ ),能保证相同方法下数据存取效率比传统方法高。本文主要针对指标计算时间进行测试比较。

选取采样间隔为 300 s、30 s 和 3 s 的监测点,分别用快速排序、全部存储的  $k$  路归并算法和本文算法对不同时间段的指标进行计算,其排序时间如图6~8所示。

由图6~8可见,本文方法明显优于快速排序、全部存储

的  $k$  路归并算法。而且,当采样间隔缩短,即采样点数增大,性能提升尤为明显。日采样数为 288 时,性能提升 3 倍以上;日采样数据为 2880 时,性能提升 15 倍以上。

图6 300 s 采样间隔排序时间 ( $N = 288$ )图7 30 s 采样间隔排序时间 ( $N = 2880$ )图8 3 s 采样间隔排序时间 ( $N = 28800$ )

## 5 结语

本文提出了一种高效的稳态数据处理方案。利用稳态指标的统计特点,在计算日指标时存储部分日排序数据,对传统 CP99 值和 CP95 值的计算方法进行改进,利用部分数据和选择性加载策略计算 CP99 值和 CP95 值。本方案与具体数据存储方案无关,可以应用于海量数据环境下的数据计算,与传统方案相比,本方案数据处理性能提升明显。本方案已在山西、河北等多个省电能质量监测系统中应用<sup>[23]</sup>。实践证明,本方案正确、有效,解决了监测系统性能瓶颈问题。

### 参考文献:

- [1] MELHORN C J S, MAITRA A, SUNDERMAN W, et al. Distribution system power quality assessment phase II: voltage sag and interruption analysis [C]// PCIC2005: Industry Applications Society 52nd Annual Petroleum and Chemical Industry Conference. Piscataway, NJ: IEEE, 2005: 113-120.
- [2] BOLLEN M. Understanding Power Quality Problems [M]. New York: IEEE, 2000: 50-100.
- [3] FUCHS E F, MASOUM M A S. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines [M]. London: Elsevier Academic Press, 2011: 1-400.
- [4] 王玲,康健,邹宏亮,等.实时电能质量监测系统的构建及应用[J].电力系统保护与控制,2011,39(2):108-111. (WANG L, KANG J, ZOU H L, et al. Construction and application of real-time power quality monitoring system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(2): 108-111.)
- [5] 陈锦铭,袁晓冬.电能质量在线监测平台的设计与开发[J].电力信息化,2011,9(3):60-64. (CHEN J M, YUAN X D. Design and development of an online power quality monitoring platform[J]. Electric Power Information Technology, 2011, 9(3): 60-64.)

- [6] 何维国, 谢伟, 张健. 上海电网电能质量监测系统[J]. 华东电力, 2010, 38(4): 497-499. (HE W G, XIE W, ZHANG J. Power quality monitoring system of Shanghai grid[J]. East China Electric Power, 2010, 38(4): 497-499.)
- [7] 全国电压电流等级和频率标准化技术委员会. GB/T 12325-2008, 电能质量供电电压偏差[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 3. (Standard voltages, current ratings and frequencies. GB/T 12325-2008, Power quality-deviation of supply voltage[S]. Beijing: China Standard Press, 2008: 3.)
- [8] IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality. IEEE Std1159.3-2003 IEEE recommended practice for the transfer of power quality data[S]. New York: IEEE, 2004: 1-200.
- [9] 马友忠, 慈祥, 孟小峰. 海量高维向量的并行 Top-k 连接查询[J]. 计算机学报, 2015, 38(1): 86-98. (MA Y Z, CI X, MENG X F. Parallel Top-k join on massive high-dimensional vectors[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(1): 86-98.)
- [10] 王有为, 王伟平, 孟丹. 基于统计方法的 Hive 数据仓库查询优化实现[J]. 计算机研究与发展, 2015, 52(6): 1452-1462. (WANG Y W, WANG W P, MENG D. Query optimization by statistical approach for Hive data warehouse[J]. Journal of Computer Research and Development, 2015, 52(6): 1452-1462.)
- [11] 刘亚秋, 李海涛, 景维鹏. 基于 Hadoop 的海量嘈杂数据决策树算法的实现[J]. 计算机应用, 2015, 35(4): 1143-1147. (LIU Y Q, LI H T, JING W P. Implementation of decision tree algorithm dealing with massive noisy data based on Hadoop[J]. Journal of Computer Applications, 2015, 35(4): 1143-1147.)
- [12] 张逸, 杨洪耕. 海量电能质量数据交换格式文件快速解析方案[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(12): 116-121. (ZHANG Y, YANG H G. Fast parsing of massive PQDIF files[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(12): 116-121.)
- [13] 张逸, 杨洪耕, 叶茂清. 基于分布式文件系统海量电能质量监测数据管理方案[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(2): 102-108. (ZHANG Y, YANG H G, YE M Q. A data management scheme of massive power quality monitoring data based on distributed file system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(2): 102-108.)
- [14] 魏雪琴. 电能质量数据压缩研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2013: 5-25. (WEI X Q. The research on power quality data compression [D]. Hefei: Anhui University, 2013: 5-25.)
- [15] 赵东旭. 电能质量数据中心建设关键问题研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012: 10-20. (ZHAO D X. Research on key issues in power quality data center construction[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012: 10-20.)
- [16] 王淑祥, 马素霞. 基于 Hadoop 的海量电能质量监测数据分析平台研究[J]. 中国科技信息, 2013, 25(13): 79-80. (WANG S X, MA S X. Study on massive power quality monitoring data analysis platform based on Hadoop[J]. China Science and Technology Information, 2013, 25(13): 79-80.)
- [17] 李斌, 郭雅娟, 陈锦铭, 等. 电能质量监测系统 95 概率大值的 top-k 优化研究[J]. 电力信息化, 2013, 11(1): 20-24. (LI B, GUO Y J, CHEN J M, et al. Research on the top-k optimization method of 95% probability values for the power quality monitoring system[J]. Electric Power Information Technology, 2013, 11(1): 20-24.)
- [18] 白宇, 郭显娥. 深度优先稳定原地归并排序的高效算法[J]. 计算机应用, 2013, 33(4): 1039-1042. (BAI Y, GUO X E. Efficient algorithm of depth-first stable in-place merge sort[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(4): 1039-1042.)
- [19] 孙琳琳, 侯秀萍, 朱波, 等. 基于多线程归并排序算法设计[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2015, 33(1): 105-110. (SUN L L, HOU X P, ZHU B, et al. Merge sort algorithm design based on multi thread[J]. Journal of Jilin University (Information Science Edition), 2015, 33(1): 105-110.)
- [20] 姜忠华, 徐文丽, 刘家文, 等. 智能归并排序[J]. 电子设计工程, 2011, 19(21): 53-55. (JIANG Z H, XU W L, LIU J W, et al. Intelligently merge sort[J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(21): 53-55.)
- [21] HOSSAIN N, ALMA M G R, AMIRUZZAMAN M, et al. An efficient merge sort technique that reduces both times and comparisons [C]// 2004 ICTTA: Proceedings of the 2004 International Conference on Information and Communication Technologies: from Theory to Applications. Piscataway, NJ: IEEE, 2004: 857-858.
- [22] KAZMI S Z H, KAZMI S S, KAZMI S S H, et al. Chunk sort[J]. International Journal of Computer Science and Information Security, 2010, 8(4): 162.
- [23] 赵霞, 林天华. 分布式电能质量信息系统[J]. 科技导报, 2013, 31(19): 58-61. (ZHAO X, LIN T H. Design and implementation of distributed electric power quality information system[J]. Science & Technology Review, 2013, 31(19): 58-61.)

## Background

This work is partly supported by the Science Technology Research Projects for the High school of Hebei Education Department (YQ2013038), the Natural Science Foundation of Hebei Province (F2015207009) and the Science Research Project of Hebei University of Economics and Business(2013KYY17).

**ZHAO Xia**, born in 1979, Ph. D., lecturer. Her research interests include software engineering, nonlinear control technology.

**LIN Tianhua**, born in 1979, M. S., associate professor. His research interests include software engineering, software architecture, information system.

**MA Suxia**, born in 1964, M. S., professor. Her research interests include software engineering, software architecture, component technology.

**QI Linhai**, born in 1964, associate professor. His research interests include database, information system, business intelligence.

(上接第 1429 页)

- [10] Digital Juice, Incorporated. The digital juice sound FX library [DB/OL]. [2015-05-20]. <http://www.digitaljuice.com>.
- [11] British Broadcasting Corporation (BBC). BBC sound effects library [DB/OL]. [2015-05-20] <http://www.sound-ideas.com/bbc.html>.

## Background

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (61301300).

**LIN Jing**, born in 1982, M. S., lecture. Her research interests include audio and vedio signal processing.

**YANG Jichen**, born in 1980, Ph. D., associate research fellow. His research interests include audio and vedio signal processing.

**ZHANG Xueyuan**, born in 1987, Ph. D. candidate. His research interests include audio and vedio signal processing.

**LI Xinchao**, born in 1980, Ph. D. candidate. His research interests include intelligent optimization, signal processing.