

# 建筑能耗数据特性分析及优化采样方法研究

赵 亮,张吉礼,梁若冰

(大连理工大学建设工程学部, 辽宁 大连 116024)

**摘要:**从信息特性角度出发将建筑能耗监测系统中的能耗数据划分为统计类信息与监测类信息,并结合采样定理分析了常规采样、变频采样及勒贝勒采样方式的优缺点,最后针对不同建筑能耗信息提出了相应的优化采样方法. 建筑能耗数据的优化采样方法可以提高建筑能耗监测系统的数据传输效率、节省数据中心服务器的数据库存储空间,为建筑能耗监测系统的进一步推广提供有力的理论基础与技术支撑.

**关键词:**建筑节能;能耗数据;采样定理;采样方法优化

**中图分类号:**TU 242

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-7930(2013)05-0688-06

建筑节能的含义是“提高建筑物能源使用效率”,建筑节能的最终目标应该是降低实际运行过程中的能源消耗,因此就应该以实际的能源消耗数据作为导向,作为建筑节能工作唯一的评价标准<sup>[1]</sup>. 建筑能耗监测工作在国内外已经取得了广泛的应用,针对大型公共建筑、机关办公建筑、高等院校陆续建立了大批建筑能耗监测平台<sup>[2-4]</sup>,对建筑内的用能信息进行监测统计. 目前已经取得了显著的成绩,但这其中也存在一些问题,如现有的能耗监测系统对累计电量、实时电压、温度等参数均采用等周期的采样方法进行数据采集,致使采集数据量过大、进而造成数据传输的压力较大、数据库的存储容量需求较高等问题. 本文从信息特性角度入手,结合采样定理,针对不同类型的能耗数据提出了相应的优化采样方法.

## 1 建筑能耗数据特性

信息是通信过程中传递的对象,而数据则是对信息的描述,只有赋予了信息内涵的数据才是一个有用的数据,按照信息的特点将其划分为统计类信息与监测类信息.

### 1.1 统计类信息

统计类信息数据在时间轴上是连续变化的,具有非负性,同时具有广义递增的特性<sup>[5]</sup>,即任意  $t$  时刻对应的数据都不会比  $t-1$  时刻对应的数据值小,如图 1 所示. 曲线的斜率反映了耗电量的变化趋势,曲线的斜率越大说明该段时间内电量消耗量越多,建筑内的统计量信息包括用电量、用水量、用热量等<sup>[6]</sup>.

### 1.2 监测类信息

为了计算建筑用能设备的能效评价指标,需要获取相关的监测数据. 如设备的工作电压、电流、功率等. 监测类信息在时域上是连续的,部分监测信息数据具有周期性. 与统计类信息相比,监测类信息在幅值上也是连续变

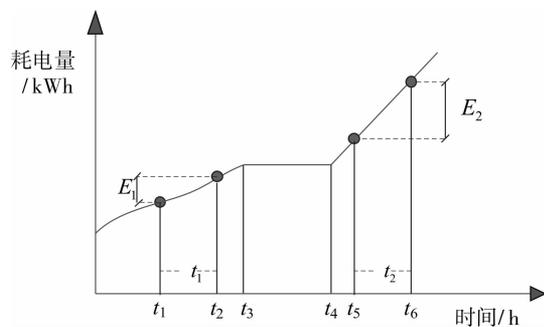


图 1 统计类信息-耗电量

Fig. 1 Statistical information-electrical energy consumption

收稿日期:2013-05-14 修改稿日期:2013-09-20

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划基金资助项目(2011BAJ03B12-3, 2013BAJ10B02-03);中国博士后科学基金面上资助项目(2013M540227)

作者简介:赵 亮(1983-),男,黑龙江哈尔滨人,博士生,主要从事筑能源系统物联网基础理论与节能技术研究.

化的,但监测信息有一定的波动范围,如功率因数的取值范围是0~1,非动力用电的电压值在220V左右波动,如图2所示。

## 2 采样方法研究

### 2.1 采样定理

连续时间信息在时间轴上以一定的规律变化,通过抽样的方式将其进行离散的过程被称作“信号的采样”,反之,接收端将离散的数值恢复为原始信号的过程被称作是“信号的重建”,采样定理就是解决以上两个问题的一种数学工具。为了纪念采样定理的创始人,美国物理学家 Harry Nyquist 和科学家 Claude Elwood Shannon,采样定理又称为“Shannon 采样定理<sup>[7,8]</sup>”或“Nyquist 采样定理<sup>[9]</sup>”。

对于一个能量有限的带限信号,如果要在接收端将其完整的恢复,采样频率必须大于信号带宽的两倍以上。设一时间连续信号为  $x(t)$ ,其频谱为  $X(f)$ ,采样周期为  $T_s$ ,采样得到的离散信号为  $x_s(nT_s)$ 。

(1) 频谱  $X(f)$  为有限频谱,当  $|f| \geq f_c$  (信号截止频率) 时,  $X(f) = 0$ ;

(2)  $T_s \leq 1/2f_c$  或  $2f_c \leq f_s$  ( $f_s = 1/T_s$ )

如果  $X(f)$  和采样周期  $T_s$  同时满足以上2个条件时,该信号可以唯一被描述。

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x_s(nT_s) \frac{\sin\left[\frac{\pi}{T_s}(t-nT_s)\right]}{\frac{\pi}{T_s}(t-nT_s)} \quad (1)$$

式中,  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , 其中  $f_c$  就是在采样时间间隔内能够辨认的信号最高频率,即截止频率,也称之为“奈奎斯特频率”。

### 2.2 采样方法研究

(1) 常规采样,等周期采样方式是最常见的一种采样方式,每经过一个固定的时间间隔  $T_s$  便进行一次采样,产生的数据描述了该时刻的信息状态,这种采样方式被称作“莱曼采样”。莱曼采样的优点是兼容性好,适用于各类形式的信息采集。但是采用该方法付出的代价比较大,定步长采样方式时间分辨率比较差,即每一个采样点采样、量化、存储等过程都在采样周期  $T_s$  时间内完成。设原信号的最高频率为  $f_c$ ,采样频率为  $f_s$ ,则:

$$f_s = K \cdot f_c (K > 2) \quad (2)$$

其中,  $K$  是采样频率与信号最高频率的比值,取值应大于2,设一次触发采样存储占用的空间为  $Q$ ,设采样时间为  $t$ ,则对应的存储容量为:

$$S = \frac{t}{T_s} \quad (3)$$

(2) 变频采样方式,即采样频率在数据采集过程中可以根据实际情况进行调整,当信号的变化趋势已知的时候,可以通过改变采样频率的方式对信号进行采集,在满足“奈奎斯特采样频率”的基础上,不断调整信号的采样频率,以此达到节省存储空间的目的。

设  $t_1$  时间段内的采样频率为  $f_{s_1}$ ,  $t_2$  时间段内的采样频率为  $f_{s_2}$ ,则对应的数据存储空间大小为:

$$S = \frac{t_1}{T_{s_1}} \cdot Q + \frac{t_2}{T_{s_2}} \cdot Q \quad (4)$$

(3) 勒贝格采样,以上介绍的两种采样方式都是在信息变化经过一个特定的时间点即启动采样一次,另外一种方式是勒贝勒采样(Lebesgue Sampling)<sup>[10]</sup>,如图3所示。该方式从信号波动变化的幅值入手,在纵坐标上将信号变化进行划分刻度,每当信号的数值变化经过一个坐标点时即启动采样一次,即相邻两次采样产生数据差值的绝对值总是相等的<sup>[11]</sup>。

只要正确的设定“采样精度”,通过采样得到的曲线就一定能保证控制精度,保证恢复信号的需求。

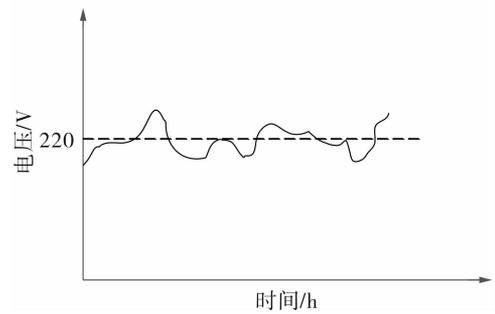


图2 监测类信息-电压

Fig.2 Monitoring information-voltage

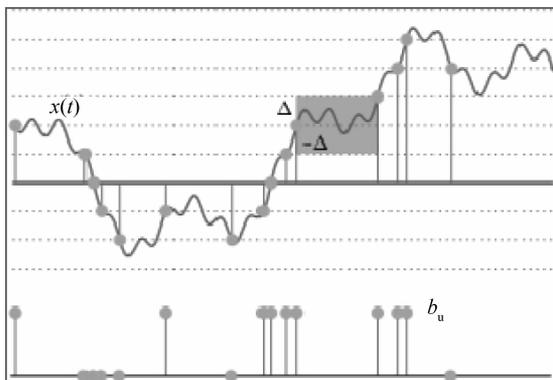


图3 勒贝勒采样方式

Fig. 3 Lebesgue sampling method

设定勒贝勒采样精度为  $A$ , 则对应的  $t$  时间段内的数据存储空间大小为:

$$S = \frac{t}{A} \cdot Q \quad (5)$$

以上介绍的几种采样方法性能对比如表 1 所示.

表1 不同采样方式性能对比

Tab. 1 Comparison of different sampling methods

采样方法	存储空间	优点	缺点
常规采样	$S = \frac{t}{T_s} \cdot Q$	适用于任何信号	存储空间较大
变频采样	$S = \frac{t_1}{T_{s1}} \cdot Q + \frac{t_2}{T_{s2}} \cdot Q$	节省存储空间	被测信号频率已知
勒贝勒采样	$S = \frac{t}{A} \cdot Q$	采样精度较高	需要触发

### 3 建筑能耗数据采样方法优化

目前,建筑能耗监测系统中无论对任何形式的信号,都是通过等周期的采样方法进行数据采集,采样周期从 1~30 min 不等. 为了提高能耗数据的传输效率以及节省数据库的存储空间,结合上述的多种采样方法,为建筑能耗监测系统提供最佳的数据采样方式.

目前,建筑能耗监测系统中监测的数据主要分为电、水、热三类,具体包括:(1)电信号:三相电压、三相电流、三相功率、功率因数、总电量;(2)热量信号:热量流量、供水温度、回水温度;(3)水量信号:水流量.

按照第一节对建筑能耗信息的分类,这里以累计耗电量和三相电压为例分别对统计类信号和监测类信号的采样过程进行优化.

#### 3.1 统计类信息采样优化

图 4 展示了某办公类建筑(一个单位)典型月(2、5、8、11)中累计 1 周的耗电量数据变化曲线(图中显示采样周期为 1 h,实际采样周期为 5 min). 明显可以看出,6 时以前与 18 时以后,办公室没有工作人员的情况下,耗电量显著降低,波动趋势较平稳,6 时~18 时之间,耗电量维持在一个较高的数值,且波动幅度比较大. 因此,图 4 中的电耗数据变化趋势具有方波的特性,如图 5 所示,  $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$  时间段内数据在一个较低值附近平缓波动,  $t_2 \sim t_3$  时间段内数据在一个较高值附近剧烈波动.

对于具有这种特征的数据,可以通过变频采样方式对其进行优化采样,如图 6 所示,对于  $t_3 \sim t_4$  时间段内,数据波动比较平缓,可以通过低采样频率对其进行采样;  $t_4 \sim t_5$  时间段内,数据波动比较剧烈,宜采用较高频率进行数据采样. 以图 4 中某一天的数据为例,分析如下.

优化前:等周期采样方式,每天需要的上传数据量计算如式(6)所示,共 288 组数据.

$$\text{数据包个数} = \frac{24 \cdot 6 \text{ min}}{5 \text{ min(采样周期)}} = 288 \quad (6)$$

优化后:当日上午 6 时~下午 18 时点期间采用 5 min 采样周期采样,当日下午 18 时~次日上午 6 时采用 30 min 采样周期采样,每天的上传数据量计算如(7)所示,共 168 组数据.

$$\text{数据包个数} = \frac{12 \cdot 6 \text{ min}}{5 \text{ min(采样周期)}} + \frac{12 \cdot 16 \text{ min}}{30 \text{ min(采样周期)}} = 168 \quad (7)$$

图 7 显示了耗电量数据优化采样前后的变化曲线,从图中可以看出优化采样后保持了原信号的变化特征,但相比原方法节省 41.7% 的存储空间. 同理,对于累计耗水量和累计耗热量,亦可以采用变频采样方式进行优化.

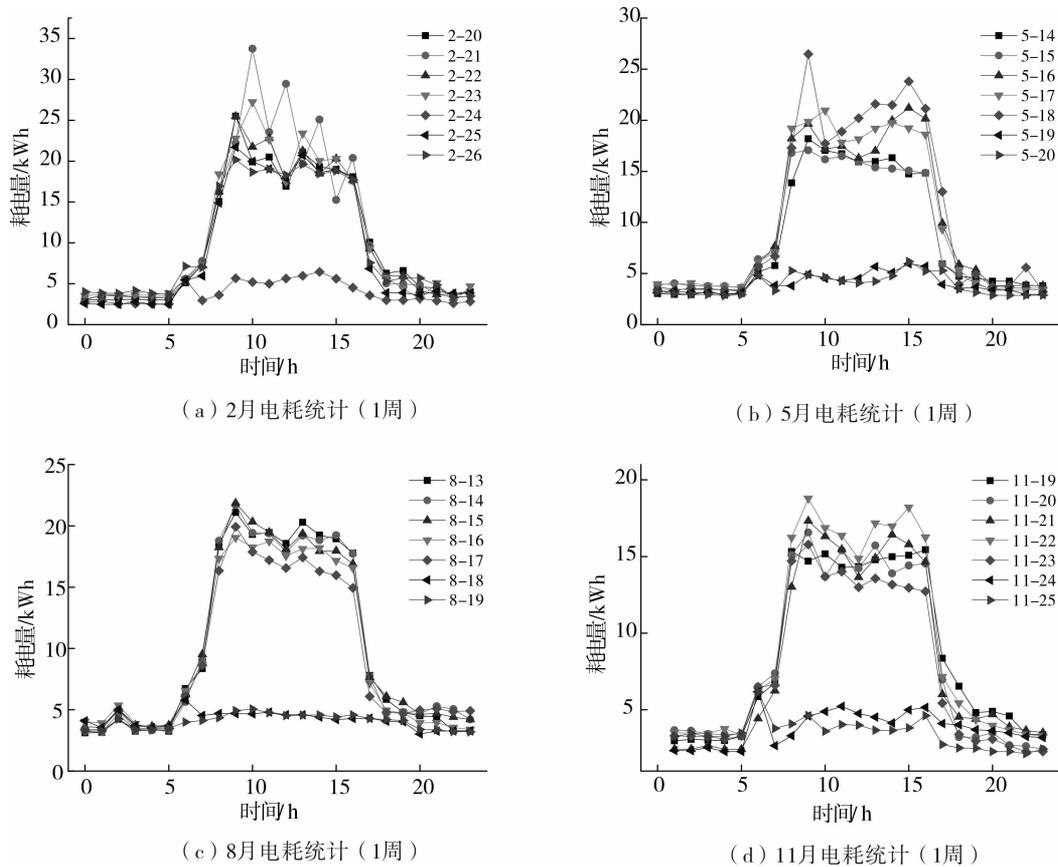


图 4 耗电量统计

Fig. 4 Statistics of electrical energy consumption

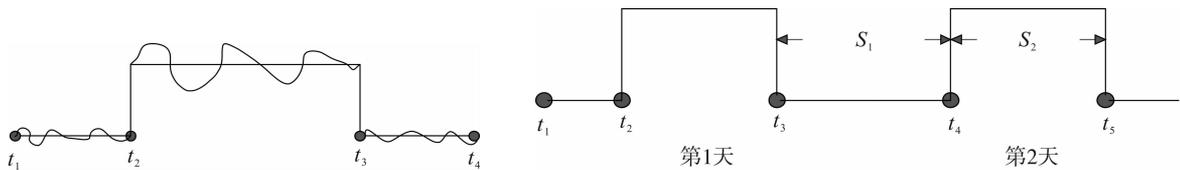


图 5 统计类数据变化特征曲线

Fig. 5 Changing characteristic curve of statistics data

图 6 统计类信息采样优化

Fig. 6 Sampling optimization of statistics data

### 3.2 监测类信息采样优化

(1)电压信号:图 8 为三相电压信号的实时监测曲线,电压值在 222V~236V 之间波动,对于此类信号可以采用勒贝勒等幅度的采样方式进行优化。

优化前:等周期采样,每天上传的数据量如式(6)所示,共 288 组数据。

优化后:以图 8 某一天的电压监测为例进行勒贝勒采样方式优化,设采样精度为 1V,优化后采样数据点仅为 155 个,相比等周期(5 min)采样方式节省 46.2% 的存储空间;当设定采样精度为 2V 时,优化后采样数据点仅为 90 个,相比等周期(5 min)采样方式节省 68.8% 的存储空间。优化后的数据曲线与原采集数据曲线对比如图 9 所示,保持了原信号的变化特征。功率因数信号与电压信号具有相同特征,可以按

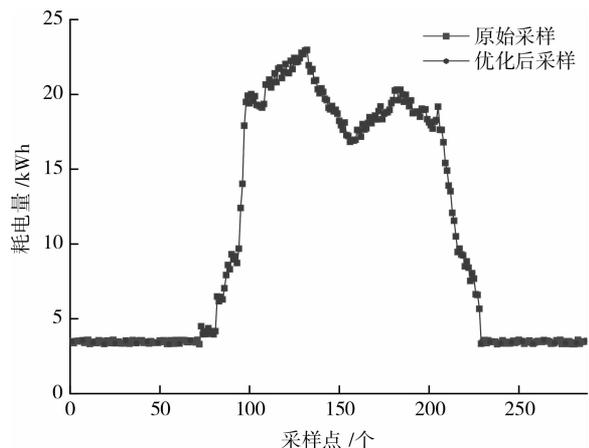
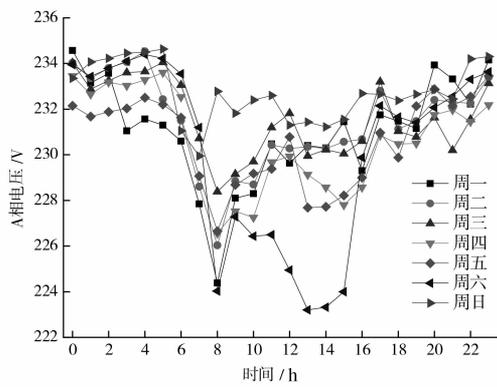
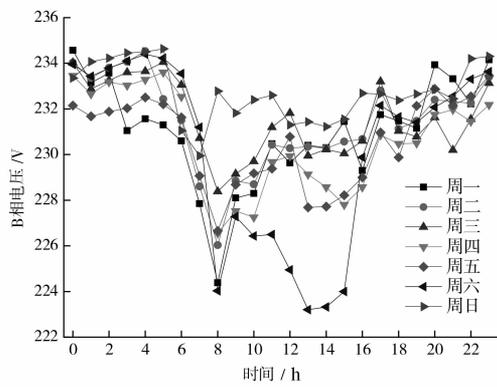


图 7 耗电量采样优化前后对比

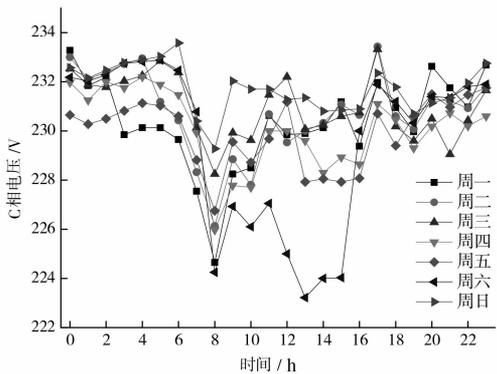
Fig. 7 Comparison between original signal and optimized sampling for electrical energy data



(a) A 相电压



(b) B 相电压



(c) C 相电压

图 8 三相电压信号的实时监测曲线

Fig. 8 Monitoring curve of voltage

此方法进行优化. 通过勒贝勒采样方式进行优化, 只要合理选取采样精度, 在满足原信号变化趋势的基础上, 可以节省 50%左右的存储空间.

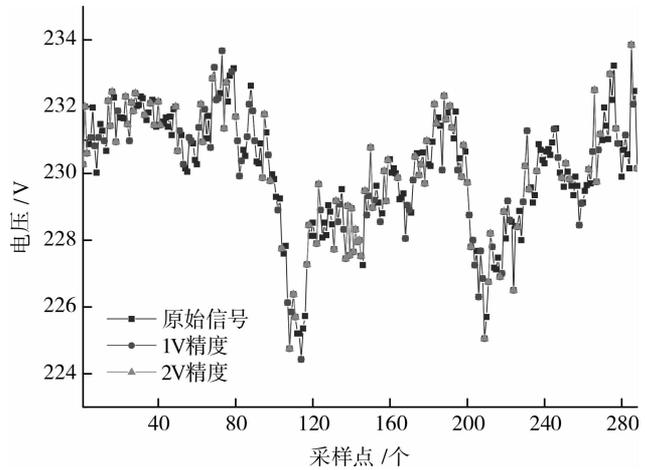


图 9 电压信号采样优化对比

Fig. 9 Comparison between original signal and optimized sampling for voltage

(2) 电流信号: 电流信号具有突发性, 为真实反映数据的变化特性, 应尽可能按照最高采样频率进行数据采集, 因此对于此类信号, 不做优化处理.

表 2 优化采样方法选择及性能分析

Tab. 2 Selection and performance analysis of optimization sampling method

信号分类	优化方式	节省空间/%
累计耗电量	变频采样	41.7
累计耗热量	变频采样	41.7
累计耗水量	变频采样	41.7
三相电压	勒贝勒采样	50
三相电流	不优化	—
三相功率	不优化	—
功率因数	勒贝勒采样	50
温度	勒贝勒采样	50

### 4 结 论

(1) 建筑能耗监测系统采集的能耗信息数据按照其性质可以划分为统计类信息和监测类信息, 统计类信息具有广义递增特性, 监测类信息波动幅度较大, 部分数据具有明显的有界性. 状态类信息在几个确定的状态值波动.

(2) 针对统计量信息可以通过变频采样方式对其进行优化数据采集, 节约存储空间为 41.7%, 针对三相电压和功率因数等在一定幅度范围内波动的监测类信息, 可以通过勒贝勒采样方式对其进行优化, 合理设定采样精度, 可以节约 50%左右的存储空间.

### 参考文献 References

[1] 江 亿, 魏庆芑, 杨 秀. 以数据说话—科学发展建筑节能[J]. 建设科技, 2009(7): 20-24.

- JIANG Yi, WEI Qing-ai, YANG Xiu. Scientific developping on the architectural energy saving—speaking with the data [J]. Construction Science and Technology, 2009(7): 20-24.
- [2] MARINAKIS V, KARAKOSTA C, DOUKAS H, et al. A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption [J]. Sustainable Cities and Society, 2013, 6: 11-15.
- [3] NAGATA T. An electric power energy monitoring system in campus using an Internet [C]//Power Engineering Society General Meeting, Montreal, Canada, 2006.
- [4] BAYINDIR R, IRMAK E, COLAK İ, et al. Development of a real time energy monitoring platform [J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2011, 33(1): 137-146.
- [5] BOUDEC J Y, THIRAN P. NETWORK CALCULUS [M]. Germany: Springer Verlag, 2012: 1-5.
- [6] ZHAO L, ZHANG J L, LIANG R B, et al. Building energy consumption monitoring system in the application of conservation-oriented campus [C]//Architectural and Hydraulic Engineering. The 1st International Conference on Civil, Zhangjiajie, 2012.
- [7] SHANNON C E. A Mathematical Theory of Communication [J]. The Bell System Technical Journal, 1948(27): 379-423.
- [8] SHANNON C E. Communication in the Presence of Noise [J]. Proceedings of the IRE, 1949, 37(1): 10-21.
- [9] NYQUIST H. Certain topics in telegraph transmission theory [J]. Trans. AIEE, 1928(47): 617-644.
- [10] ASTROM K J, BERNHARDSSON B M. Comparison of Riemann and Lebesgue sampling for first order stochastic systems [C]. The 41st IEEE Conference on Decision and Control, Las Vegas, America: 2002.
- [11] 姜子炎. 建筑自动化系统的信息流研究[D]. 北京: 清华大学, 2008.  
JIANG Zi-yan. Studies on Information Flow in Building Automation System [D]. Beijing: Tsinghua University, 2008.

## Analysis on the characteristics of building energy consumption data and research of the optimized sampling method

ZHAO Liang, ZHANG Ji-li, LIANG Ruo-bing

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** This paper classifies the data of building energy consumption system as statistics data and monitoring data from the information characteristic point of view, and analyzes the advantages and disadvantages of common sampling methods frequency variable sampling and Lebesgue sampling. Finally, it puts forward the optimization sampling method for different types of energy data, which could enhance the data transmission efficiency of building energy consumption monitoring system, and save the storage of database. This paper offers important theory and technical support for further application of building energy monitoring system in future.

**Key words:** *building energy saving; energy consumption data; sampling theory; sampling method optimization*