

建筑能耗监管网关实时数据库设计

陈旭飞¹, 于凤芹¹, 钦道理²

(1. 江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214122;
2. 锐泰节能系统科学有限公司, 江苏 无锡 214135)

摘要:为了解决建筑能耗监管网关中数据实时存储和并发访问的问题,文中介绍了基于 Level DB 的建筑能耗监管网关实时数据库设计。首先分析了 Level DB 具有数据实时性和事务实时性的特点,具备设计实时数据库的开发条件,按照三个层次介绍了网关的系统架构;然后进行实时数据库具体设计,实现对能耗数据的实时存储,并对外提供数据库 API 访问接口,满足用户的并发访问需求;最后设计了数据库功能模块,详细阐述了各个模块的功能。测试结果表明,该实时数据库具有优秀的读写性能,可以满足建筑能耗数据的实时存储与并发访问。

关键词:网关;Level DB;实时数据库;存储;并发访问

中图分类号:TP311.5

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)03-0180-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.03.041

Design of Real-time Database for Building Energy Consumption Regulatory Gateway

CHEN Xu-fei¹, YU Feng-qin¹, QIN Dao-li²

(1. School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;
2. Reatgreen Energy-saving System Science Co., Ltd., Wuxi 214135, China)

Abstract: To solve the problem of data real-time storage and concurrent access of building energy consumption regulatory gateway, introduce the design of real-time database for building energy consumption regulatory gateway based on Level DB. Firstly, analyze that Level DB has the characteristics of the data real-time and the transaction real-time which has the development condition of designing real-time database, and introduce the system architecture according to three levels. Then design the real-time database specifically to store the data of energy consumption in real time and provide the database API interfaces meanwhile which can meet the demands of concurrent access of users. Finally, design the function modules of real-time database and describe the function of every module in detail. The results of test show that this real-time database has excellent reading and writing performance and can meet the requirements of real-time storage and concurrent access.

Key words: gateway; Level DB; real-time database; storage; concurrent access

0 引言

随着科技的飞速发展,数据信息量呈现指数增长而达到了海量,特别是在建筑能耗监管网关中,大量的数据给网关数据的实时存储和快速访问带来了极大的挑战。因此,如何提高网关中数据处理的实时性和访问效率,优化海量数据的存储,已成为一个研究课题^[1]。

对数据的大量操作需要高性能的数据库和访问接

口来支持^[2]。实时数据库是实时系统技术和数据库技术相结合的产物,具有高实时性、高数据吞吐量等特点^[3],本质特征就是数据和事务有定时限制^[4-5]。目前市场上的实时数据库产品价格较高,对于一般的企业单位来说,成本过高^[6],因此,一般实时性较高的开源数据库不失为一种折中之选。文献[7-8]中所述的数据库 SQLite 就是关系型的,虽然这种数据库设计目标是嵌入式的,占用资源非常低,但是由于其体系架构的限制,数据访问并发量不高,实时性较低,无法支持

收稿日期:2014-05-12

修回日期:2014-08-13

网络出版时间:2015-02-23

基金项目:2012 年度教育部-中国移动科研基金项目(MCM20122013)

作者简介:陈旭飞(1988-),男,硕士研究生,CCF 会员,研究方向为嵌入式系统及机器人;于凤芹,博士,教授,研究方向为基于物联网的能耗感知系统研究与设计、语音和图像等多模态信号分析与处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150223.0952.005.html>

高并发访问,不能满足数据量和并发量的大幅度增加需求^[9]。

Level DB 是 Google 公司开发的高速键值存储数据库,这是一种 NoSQL 数据库,能够处理十亿级别规模的数据^[10]。与关系数据库管理系统相比,NoSQL 在处理大数据量时非常容易,性能也非常高^[11]。Level DB 程序库和应用程序在相同的地址空间中运行,数据库操作不需要进程间的通讯,使用 API 接口访问,不需要对结构化查询语言进行解析,数据访问效率高,所以 Level DB 可以实现海量数据的实时存储转发,满足实时数据库要求的数据实时性,支持多线程并发操作数据库,事务处理能力满足实时数据库对事务处理的实时性要求^[12]。

基于以上分析,文中在对网关系统架构各层介绍的同时,重点叙述了数据处理层,并在该层设计了基于 Level DB 的实时数据库,实时存储采集层上传的能耗数据,对外提供了数据库 API 访问接口,可以满足应用层对实时数据库的并发访问,数据库功能模块提供了数据库的运行功能,保证了数据库实现对数据的接收、存储和访问调度。

1 网关系统架构

图 1 为建筑能耗监管网关系统架构,分为三个层次,分别为数据采集层、数据处理层和前台应用层。数据采集层中,485 总线上挂载电、水、气、热等计量表,数据采集模块发起 Modbus 协议通信,轮询每个计量表,采集各个计量表中的实时数据。数据处理层负责对实时数据的接收、存储和访问调度,是文中的核心部分,实时数据库内部接收模块接收数据采集层上传的实时数据,存储模块对实时数据进行存储,同时 Web 服务器通过实时数据库 API 模块访问实时数据库,将实时数据上传至监控端前台页面展示,随着时间的推移,后台服务程序将不断沉淀下来的实时数据转存到历史数据库,这是实时数据库的历史数据处理过程。此过程作为实时数据库系统的一项核心功能,其主要作用是保存实时数据的历史记录^[13]。从数据接收、存

储到数据展示是基于事件的数据处理机制,从而提升了整个系统的实时性。前台应用层中,监控端负责对能耗数据实施页面实时监控,也可以向 Web 服务器发送数据请求,通过历史数据库 API 接口访问历史数据库,查看历史数据记录。

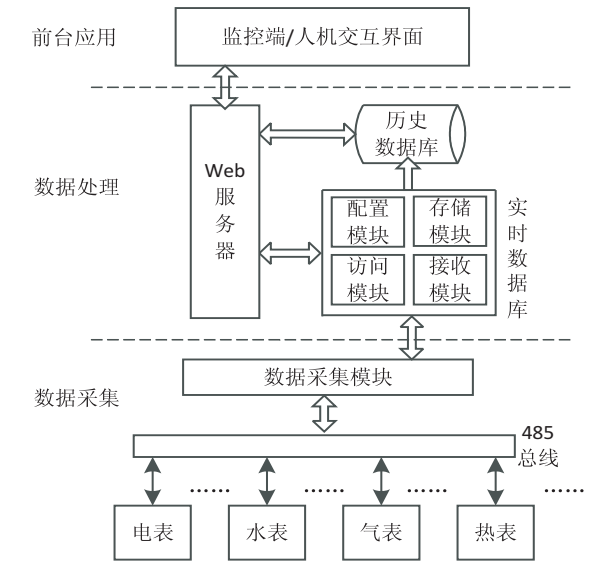


图 1 网关系统架构

2 实时数据库实现

实时数据库系统的设计是个复杂的过程,可以将系统开发过程分解成不同的阶段,包括需求分析、系统规范、系统设计、软件编程、集成、测试运行等^[14]。

2.1 数据存储需求分析

对建筑能耗数据进行实时存储处理是实时数据库的核心任务,因此首先应该分析实时数据的存储需求。图 2 为网关实时数据流图,数据采集前需要做一些准备工作,包括对各种类型的智能计量表设备做协议配置、设备模板配置、需要采集哪些设备、设备传感层信息设置、采集需要哪些串口、串口属性设置、每个串口采集周期设置等,以上数据称为设备配置参数。完成这些准备工作后,预采集设备列表根据 AT 通讯指令接口采集数据,并做异常日志记录。上述采集的实时数据中除了电、水、气、热各个采集表的能耗累计值,

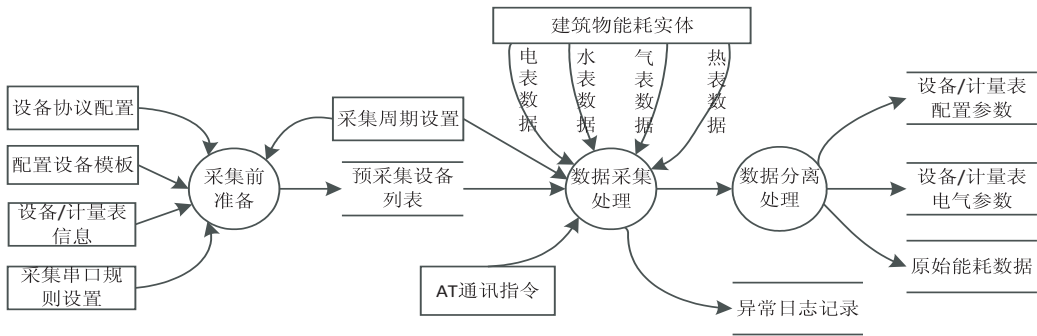


图 2 网关实时数据流图

还包括设备计量表的电压、电流、功率等电气参数。

根据参数类型不同将采集的混合数据分离处理成设备配置参数、设备电气参数和原始能耗数据,因此,所需存储的实时数据为四种数据,即异常日志记录、设备配置参数、设备电气参数和原始能耗数据。

2.2 数据库分层体系架构

将所有的实时数据都存储在一个数据库里,数据库设计固然简单,但是随着访问的增加,读写操作不断增加,数据库的压力会越来越大,可以将实时数据库的组织划分为数据库、表、字段三个层次。在该实时库的层次结构中,一个实时数据库系统可以包括多少个数据库、一个数据库包含多少个表、一个表包含多少个字段都是可以设置的,每个字段具体的数据类型也可以根据实际需要设置。因此,将数据库划分成不同类型的数据库,各个数据库分成各个数据表,数据表中存储数据字段。文中在实时数据库存储模块中,设置两种数据库,分别为配置数据库和采集数据库,每个数据库里又配置各种数据表。

图 3 为实时数据库分层体系架构。

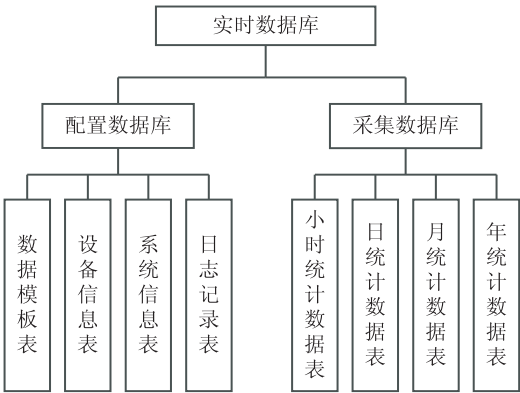


图 3 数据库分层体系架构

2.3 数据库详细设计

对实时数据需求分析得出了需要存储的四种数据,将异常日志记录和设备配置参数存储至配置数据库,设备电气参数和原始能耗数据存储至采集数据库,各数据库中数据表及其作用定义如表 1 所示。

表 1 实时数据库各数据表定义

数据表名称	数据表定义
设备模板表	存储描述多种协议信息的通用模板
设备信息表	存储设备的基本信息
系统信息表	存储系统的基本信息
异常日志记录表	存储系统运行错误日志信息
小时统计数据表	存储小时为单位的实时数据统计
日统计数据表	存储日为单位的实时数据统计
月统计数据表	存储月为单位的实时数据统计
年统计数据表	存储年为单位的实时数据统计

基于上文的描述,可以设计对应以上各表的数据存储表。由于小时统计数据包含了日、月、年统计数据,所以查询到小时统计,数据表就可以查询到日、月、年统计数据表。下面仅列举小时统计数据表,如表 2 所示。

表 2 小时统计数据表

序号	字段中文名	字段名	类型	主键	定义内容
1	设备号	ID	int	是	设备的编号
2	年	Year	int	是	具体年份
3	月	Month	int	是	具体月份
4	日	Day	int	是	具体日期
5	小时	Hour	int	是	具体时份
6	电流	I	numeric	否	计量表电流
7	电压	U	numeric	否	计量表电压
8	功率	P	numeric	否	计量表功率
9	能耗	En	numeric	否	计量表能耗数值

将表 2 存储至采集数据库时,属于主键的字段作为键值对的键 key,按照 key 中时间先后顺序存储,电流、电压、功率和能耗数值等非主键字段作为键值对的值 value。

2.4 数据库 API 接口设计

实时数据库 API 接口是系统提供给用户的一个开放的接口规范,它允许用户利用该接口直接访问实时数据库^[15]。当现场设备采集的数据存储到实时数据库后,通过数据库 API 访问接口函数对其进行计算处理,分析并统计出监控端各种可能的需求结果。当监控端向服务器发送数据请求,服务器通过数据库 API 接口将实时数据表中的实时数据返回到监控端页面展示,实现对网关数据的实时监控,同时将统计后的结果存储到历史数据库,这样做可以避免查询历史数据时,重复计算处理的问题,减轻处理器的工作量,大大提高系统响应速度^[16]。数据库 API 访问接口可以同时响应多种数据调度请求,从而具有并发访问性能。

优秀的数据库接口可以帮助用户制定更好的查询策略^[17],文中在具体分析了用户对查询需求的基础上,设计了高效的数据库访问接口。由于数据访问比较频繁,访问方法比较多,这里仅列举部分访问接口,任何客户层请求都可调用数据访问接口。文中部分实时数据库 API 访问接口及其具体描述如下:

(1) 获取设备 ID 号接口 getDeviceID(index):用于查询设备的 ID 号,其中参数 index 为设备的索引号;

(2) 获取设备数据类型接口 getDeviceDataType(index):用于查询设备能耗数据类型,例如电、水、气、热等,其中参数 index 为设备的索引号;

(3) 获取设备电气参数接口 getDeviceDataParam

(index):用于查询设备电气参数,其中参数 index 为设备的索引号;

(4) 获取设备能耗数值接口 `getDeviceDataValue` (index):用于查询设备能耗数据值,其中参数 index 为设备的索引号;

(5) 获取设备数据时间接口 `getDeviceDataTime` (index):用于查询设备能耗数据产生时间,其中参数 index 为设备的索引号。

3 数据库功能模块

文中设计的实时数据库具有四部分功能模块,实现对实时数据库的运行功能。

(1) 数据库配置模块:根据实时数据分析,创建配置数据库和采集数据库,设置实时数据库运行初始化参数,根据配置参数初始化数据库,并向配置数据库导入设备配置文件。

(2) 数据接收模块:接收数据采集模块上传的所有实时数据,包括配置参数和各计量表采集的原始能耗数据和电气参数等。

(3) 数据存储模块:文中核心内容,包括了实时数据库的实现。对数据进行分离分项处理并建立相应的实时数据表,根据实时数据分析,将实时数据表存储至对应的配置数据库或采集数据库,对每个实时数据表进行键值设计,存储数据接收模块整理的各类数据。

(4) 数据库访问模块:服务器响应客户端数据请求,通过 API 接口将存储模块中的实时数据进行上传至监控端页面展示。

4 测试分析

为了测试文中设计的实时数据库的性能,硬件平台采用了 Intel Atom 系列的 D2600 主板,在 Linux 操作系统和 Node.js 编译环境下调式开发,运行在单独的目标机上,利用基于 JavaScript 的测试程序实现存储,连续向数据库写入万余对键值记录,计算存储所需的时间,测试结果如图 4 所示。

```
[root@chs CMCCMages]# node test.js
连续写入 3万对数据记录 :
写入前时间戳 timestamp1=1396421432212
写入后时间戳 timestamp2=1396421433744
-----
连续写入 5万对数据记录 :
写入前时间戳 timestamp1=1396421434249
写入后时间戳 timestamp2=1396421435991
-----
连续写入 8万对数据记录 :
写入前时间戳 timestamp1=1396421436498
写入后时间戳 timestamp2=1396421439087
-----
连续写入 10万对数据记录 :
写入前时间戳 timestamp1=1396421439591
写入后时间戳 timestamp2=1396421442930
```

图 4 测试结果截图

在 JavaScript 语言中时间戳是自 1970 年 1 月 1 日 (08:00:00 GMT) 至当前时间的总毫秒数,将写入数据前后的时间戳打印出,然后计算前后的时间戳之差,可以得到写入数据的时间。测试程序中加了 1 000 ms 的延迟,因此写入数据所需秒数计算方法为:

$$t = (\text{timestamp}_2 - \text{timestamp}_1 - 1\,000) / 1\,000 \quad (1)$$

由式(1)可以计算出,写入 3 万、5 万、8 万、10 万对数据记录分别需要 0.532 s、0.742 s、1.589 s、2.339 s,每秒平均可以插入约 5 万对数据记录,而读取速度比写入速度还要快一些,而实际应用中,每对数据记录存储一张实时数据表,每秒存储的总数据量可以达到几十万级别,其读写性能可以满足建筑能耗网关数据的实时存储与并发访问的需求。

5 结束语

文中提出了基于 Level DB 的建筑能耗监管网关实时数据库设计方案,根据 Level DB 存储容量大、实时性高的特点和该设计中合理的数据库设计,可以实现对海量能耗数据的实时存储,同时又对外提供了高效简洁的数据库 API 接口,满足了前台应用层对实时数据并发访问的需求,从而实现对现场设备的实时监控。除此之外,监控端可以通过 Web 服务器对历史数据库进行访问,查询历史数据记录,将数据分析结果展示在页面上,并根据分析结果,制定合理的能源控制策略。

参考文献:

- [1] 张德山,李海浩.海量数据存储管理方法的研究[J].信息化研究,2011,37(4):4-7.
- [2] 林 迅.整合数据库访问接口[J].电脑知识与技术:学术交流,2007,2(10):909-922.
- [3] 徐 慧.实时数据库中数据压缩算法的研究[D].杭州:浙江大学,2006.
- [4] 肖迎元,刘云生,廖国琼.移动实时数据库系统综述[J].计算机工程与应用,2004,40(35):173-177.
- [5] Ahmed Q N, Vrbsky S V. Maintaining security and timeliness in real-time database system[J]. Journal of Systems & Software, 2002, 61(1):15-29.
- [6] 吴卓葵,刘桂雄,洪晓斌,等. TCP/IP 模式下的实时数据库系统总体规划与分析[J]. 现代制造工程, 2005(11):83-86.
- [7] 杜 洁. 嵌入式家庭网关数据库的研究与应用[J]. 长沙大学学报, 2007, 21(5):97-100.
- [8] 胡 伟. SQLite 在嵌入式系统上的实现研究[J]. 计算机与数字工程, 2009, 37(2):158-163.
- [9] 闫 湖,周 薇,李立新,等. 基于分布式键值对存储技术

(下转第 187 页)

中可以看出,经过线缆传输后由于线缆对不同频率信号的衰减不同,接收端输入信号的眼图完全无法分辨;经过均衡电路以及 CDR 电路处理后,输出信号的眼图较为理想。从上述仿真结果可以看出,发送器输出的信号在通过 50 m CAT5-e UTP 线缆传输后可以被接收器电路正确恢复。

4 结束语

文中设计了一种适用于高速长距离传输的 1394b 芯片结构,通过采用输出幅度可调的发送器电路以及基于连续时间均衡电路的接收器电路,在增大了输出信号幅度的同时提升了接收端的误码性能。文中所提出的芯片结构,在 1394b 协议规定的 S800 模式下,无需 LDR 即可支持 50 m 的 CAT5-e UTP 线缆,降低了相应的 1394 网络系统成本,提高了系统可靠性。

参考文献:

[1] Stauffer D R, Mechler J T. High speed Serdes device and applications[M]. [s. l.]:[s. n.],2009:8-15.

[2] 陈 钰,洪志良. 用于 2.5Gbps 千兆以太网发接器的时钟倍频器设计[J]. 固体电子学研究进展,2003,23(3):256-261.

[3] Choi J S, Hwang M S, Jeong D K. A 0.18μm CMOS 3.5-Gb/s continuous-time adaptive cable equalizer using enhanced low-frequency gain control method[J]. IEEE Journal of Solid-state Circuits,2004,39(3):419-425.

[4] Gondi S, Razavi B. Equalization and clock and data recovery techniques for 10-Gb/s CMOS serial-link receiver[J]. IEEE Journal of Solid-state Circuits,2007,42(9):1999-2011.

[5] Cheng K H, Tsai Y C, Wu Y H, et al. A 5-Gb/s inductorless

CMOS adaptive equalizer for PCI express generation II applications[J]. IEEE Trans on Circuits Syst II : Exp Briefs,2010,57(5):324-328.

[6] 李乐民,叶佳祥. 数字传输设备中的均衡器[M]. 北京:人民邮电出版社,1980.

[7] Toifl T, Schmatz M, Menolfi C. Low-complexity adaptive equalization for high-speed chip-to-chip communication paths by zero-forcing of jitter components[J]. IEEE Transactions on Communications,2006,54(9):1554-1557.

[8] Williams S, Thompson H. An improved CMOS ring oscillator PLL with less than 4ps accumulated jitter[C]//Proceedings of IEEE custom integrated circuits conference. [s. l.]:[s. n.],2004:151-154.

[9] 姜 梅,刘三清,李乃平,等. 用于电荷泵锁相环的无源滤波器的设计[J]. 微电子学,2003,33(4):339-343.

[10] 何小威,李少青,唐世民. 一种用于微处理器的高频锁相环设计与实现[C]//第十届计算机工程与工艺学术年会. 广西,桂林:出版者不详,2006.

[11] 陈一辉,郭 淦,叶菁华,等. 一种采用常跨导偏置技术的高速多相时钟发生器[J]. 微电子学,2004,34(3):345-348.

[12] Loke A L, Barnes R K, Wee T T, et al. A versatile 90-nm CMOS charge-pump PLL for SerDes transmitter clocking[J]. IEEE Journal of Solid-state Circuits,2006,41(8):1894-1907.

[13] Payne R, Landman P, Bhakta R, et al. A 6.25-Gb/s binary transceiver in 0.13μm CMOS for serial data transmission across high loss legacy backplane channel[J]. IEEE JSSC,2005,40(12):2646-2657.

[14] 李优杏,周先敏,吕军红. 基于 FPGA 的 SERDES 接口设计与实现[C]//中国通信学会第五届学术年会论文集. 北京:电子工业出版社,2008.

(上接第 183 页)

的 EMS 数据库平台[J]. 电网技术,2012,36(9):162-167.

[10] Google. LevelDB-a fast and lightweight key/value database library by Google [EB/OL]. [2014-05-04]. <http://code.google.com/p/leveldb/>.

[11] Thantriwatte T A M C, Keppetiyagama C I. NoSQL query processing system for wireless ad-hoc and sensor networks[C]//Proc of 2011 international conference on advances in ICT for emerging regions. Colombo:IEEE,2011:78-82.

[12] 张 博,徐 慧. 基于 Berkeley DB 煤矿安全实时数据库设计[J]. 软件,2011,32(4):119-121.

[13] Lu Huiming, Zhou Zhao. The researching and application of historical data processing in real-time database system[C]//Proc of international conference on computer application and system modeling. Taiyuan:IEEE,2010:162-166.

[14] Irfan M, Zhu Hong. Key role of value-oriented requirements to develop real-time database systems[C]//Proc of IEEE 2nd international conference on computing, control and industrial engineering. Wuhan:IEEE,2011:405-408.

[15] 宋清昆,孙元娜,王学伟,等. 组态软件实时数据库系统的设计[J]. 自动化技术与应用,2008,27(1):55-57.

[16] 鲍 婧,叶 桦,孙晓洁,等. Berkeley DB 在家庭监控系统中的应用[J]. 东南大学学报:自然科学版,2010(S1):92-97.

[17] Siau K L, Chan H C, Wei K K. Effects of query complexity and learning on novice user query performance with conceptual and logical database interfaces[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans,2004,34(2):276-281.

作者：[陈旭飞](#)，[于凤芹](#)，[钦道理](#)，[CHEN Xu-fei](#)，[YU Feng-qin](#)，[QIN Dao-li](#)
作者单位：[陈旭飞, 于凤芹, CHEN Xu-fei, YU Feng-qin\(江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡, 214122\)](#)
，[钦道理, QIN Dao-li\(锐泰节能系统科学有限公司, 江苏 无锡, 214135\)](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015(3)

引用本文格式：[陈旭飞](#).[于凤芹](#).[钦道理](#).[CHEN Xu-fei](#).[YU Feng-qin](#).[QIN Dao-li](#) [建筑能耗监管网关实时数据库设计](#)

[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(3)