

# 楼宇能源管理系统设计与实现

崔 然,马旭东,彭昌海,孙 宇  
(东南大学,江苏 南京 210096)

**摘 要:**介绍楼宇能源管理系统的概念和意义,分析了楼宇能源管理系统的结构和功能,提出了全新的系统设计方案,通过无线传感器网络与智能抄表系统采集环境信息和能耗信息,实现了能效和能量的监测,并在 .NET3.5 架构下,利用语言级集成查询 LINQ 实现了对 MS SQL Server 数据库的访问,利用 WPF 技术实现了系统的客户端软件系统。该系统的应用保证了室内环境的舒适性,同时通过对环境的实时监测和能耗信息的分析,能够优化能耗系统的运行,降低楼宇能耗。

**关键词:**楼宇能源管理系统;无线传感器网络;智能抄表系统;WPF;节能

**中图分类号:** TP18

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2010)07-0184-04

## Design and Realization of Building Energy Management System

CUI Ran, MA Xu-dong, PENG Chang-hai, SUN Yu  
(Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** Firstly, the concept and significance of building energy management system are introduced and analyses the structure and the functions of BEMS. Then raise a new design proposal and realize the monitoring of energy-quantity and energy-efficiency based on WSN and intelligent meter-reading systems. Finally, client software system is constructed by WPF and LINQ on .NET3.5 framework. The application of BEMS could keep the thermal comfort indoor and optimize the operation of equipments, then the energy would be saved.

**Key words:** BEMS; wireless sensor networks; IMS; WPF; energy-saving

### 0 引 言

楼宇能源管理系统 (Building Energy Management System) 是智能楼宇 (IB) 和绿色建筑 (GB) 相结合的产物。智能建筑是通过优化结构、系统、服务和管理四个要素来提高建筑的智能化水平<sup>[1]</sup>。在要求建筑智能化的同时,要求建筑对环境没有不良影响并实现对能源的充分的利用。因此,绿色建筑的概念应运而生。绿色建筑是通过科学的整体设计,集成绿色配置、自然通风、自然采光、低能耗围护结构、新能源利用、中水回用、绿色建材和智能控制等高新技术,具有选址规划合理、资源利用高效循环、节能措施综合有效、建筑环境健康舒适、废物排放减量无害、建筑功能灵活适宜等六大特点。不仅可以满足人们的生理和心理需求,而且能源和资源的消耗最为经济合理,对环境的影响最小。为了实现建筑智能、节能、绿色、环保的目标,需要

对建筑的用能(主要是电能)进行统一管理,提高建筑内各能耗系统的运行效率,以降低对能源的消耗<sup>[2]</sup>,因此,楼宇能源管理系统在传统的 BAS (Building Automation System) 基础上逐渐发展起来。

### 1 楼宇能源管理系统的概念

从 20 世纪 80 年代开始,计算机技术的应用相当广泛,结合通讯、数据处理等相关技术,各个独立的楼宇系统和不同厂商的设备之间的通信逐渐成为可能。随着国际技术交流的日益频繁,通信标准趋于统一化。20 世纪 80 年代的能源危机让世界意识到节约能源的重要性,在电力节能方面出现了很多实际有效的技术和方法。新的空调控制理论、DDC 控制器、最优化的控制思想纷纷应用于建筑节能。在这种新的世界趋势下,楼宇能源管理系统具有了新的特点:

1) 从独立的 BAS 系统发展成为网络互通的 BEMS 开放式架构;

2) 从离线系统诊断 (Off-line System Diagnostics) 发展为在线诊断和咨询,增强了系统的实时性;

3) 楼宇内部的各种系统和设备均通过国际统一的

收稿日期:2009-10-28;修回日期:2010-01-14

基金项目:国家科技支撑计划课题(2008BAJ12F05)

作者简介:崔 然(1983-),男,江苏东台人,硕士研究生,研究方向为智能楼宇、无线传感技术;马旭东,教授,研究方向为人工智能、嵌入式系统。

总线标准实现相互的通信;

4) 楼宇的能耗状况可远端测量, 能耗数据可由通信网络传输、数据库存储形成可统计、可预测的能耗分析数据, 提供改善策略。

在日本, 对 BEMS 的定义为整合 BAS、EMS (Energy Management System)、BMS (Building Management System)、HVAC automatic control、BOFDD/Cx (Building Optimization, Fault Detection and Diagnosis/Commissioning) 以及 FDS (Fire/Disaster Prevention & Security) 等功能的全方位的楼宇的能源管理系统。

台湾地区对 BEMS 的定义为 BEMS 就是将建筑物或者建筑群内的变配电、照明、电梯、空调、供热、给排水等能源使用状况, 实行集中监视、管理和分散控制的管理与控制系统, 是实现建筑能耗在线监测和动态分析功能的硬件系统和软件系统的统称。它由各计量装置、数据采集器和能耗数据管理软件系统组成。

BEMS 通过实时的在线监控和分析管理实现以下效果:

- 1) 对设备能耗情况进行监视, 提高整体管理水平;
- 2) 找出低效率运转的设备;
- 3) 找出能源消耗异常;
- 4) 降低峰值用电水平。

BEMS 的最终目的是提供愉快舒适的室内环境并降低能源消耗, 节省费用。

## 2 系统功能与结构

BEMS 系统以楼宇能源利用效率和能源使用量为监测对象, 建立楼宇能源信息数据库, 并提供数据的处理分析和能耗设备的监控功能, 实现对建筑节能效果的诊断和能耗的控制。环境信息是能源利用效率的直接体现, 能耗量的监测可以通过能耗分项计量电表实现。温度和光照强度是否能在存在扰动的环境下一直稳定在合理的范围内, 设备的用电量是否满足预先的设计规划等, 可以通过对各耗能系统的用电量及其产生的效果来反映出耗能设备的能效水平和建筑的节能水平<sup>[3]</sup>。BEMS 系统的数据主要包括环境数据和能耗数据。环境数据由温湿传感器和光照传感器获取; 能耗数据由分项计量电表计量, 主要包括空调用电、照明插座用电、动力用电和特殊用电<sup>[4]</sup>。系统数据分类图如图 1 所示。

整个 BEMS 系统包括监测系统、计量系统、控制系统、分析系统等 4 个功能子系统 (如图 2 所示)。

- (1) 监测系统: 利用无线传感器网络采集温度、湿

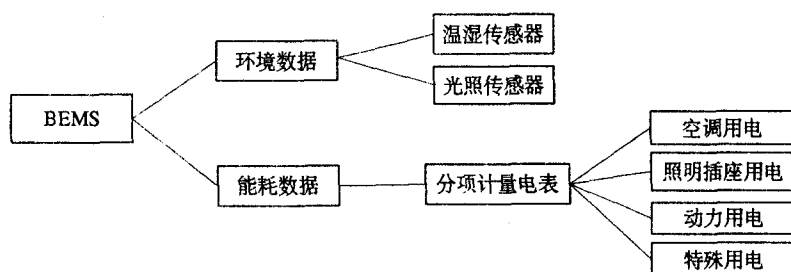


图 1 BEMS 数据分类图

度和光照等环境变量, 实时表示各楼层、各房间的环境状态, 体现各个耗能设备 (空调设备、照明设备) 的能耗效果<sup>[5]</sup>;

(2) 计量系统: 通过对空调用电、照明插座用电、动力用电和特殊用电各分项能耗数据的计量, 反映楼宇能耗量信息;

(3) 控制系统: 在系统分析的基础上, 通过楼宇控制系统 (BA), 对耗能设备进行优化控制;

(4) 分析系统: 在能耗数据库的基础上, 提供各种能耗分析报表, 提供建筑节能改造的依据。

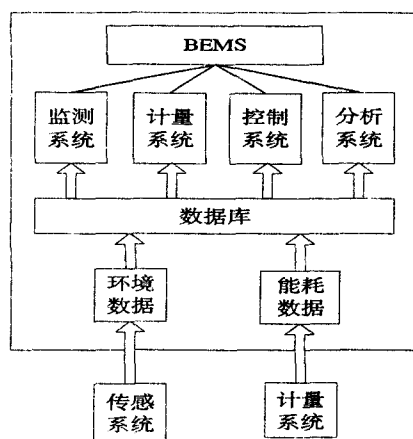


图 2 BEMS 系统结构图

## 3 能效监测系统

为实现对室内环境量的监测, 体现楼宇的能效水平, 需要在楼宇内的不同区域布置大量传感装置。而在楼宇中采用传统的有线监测网络将产生巨大的安装成本<sup>[6]</sup>, 且对楼宇本身存在一定程度的损伤 (特别是对既有建筑而言)。如果采用无线传输网络, 则布线工作即可免去, 工程的总成本将大幅降低<sup>[7]</sup>。因此, 通过无线传感器网络实现楼宇内的环境信息的采集和传输是成功建立监测系统的关键。

无线传感器网络是由部署在监测区域内大量小型或微型的各类集成化传感器节点协作地实时感知、监测各种环境对象信息, 通过嵌入式系统对信息进行智能处理, 并通过随机自组织无线通信网络以多跳中继

方式将所感知的信息传送到用户终端。

Zigbee 协议使用 IEEE802.15.4 标准作为介质访问层(MAC)和物理层(PHY),在此基础上增加了网络层和应用层<sup>[8]</sup>(如图 3 所示),支持星形和网状拓扑结构,具有低功耗、网络容量大、传输距离远等特点,非常适合用于楼宇监测。IEEE802.15.4 标准是针对无线个人局域网(Low-rate Wireless Personal Area Network),把低能量消耗、低速率传输、低成本作为重点目标,旨在为个人或者家庭范围内不同设备之间的低速互连提供统一的标准<sup>[9]</sup>。

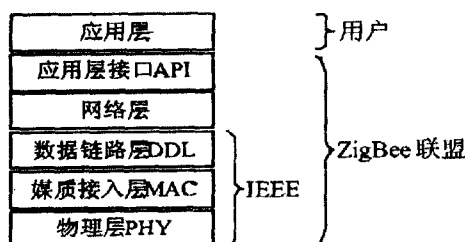


图 3 Zigbee 协议结构

基于 Zigbee 协议的网络程序开发通常有两种方式:一种是通过协议栈函数的调用实现,另一种是通过封装了 Zigbee 协议的微操作系统实现,如 UC Berkeley 的 TinyOS。出于节点节能和网络稳定性的考虑,本系统采用了后者,进行无线传感器网络开发。

TinyOS 操作系统采用基于构件(component-based)的架构,主要构件包括网络协议、分布式服务器、传感器驱动及数据识别工具。无线节点端通过 Main、XMTS300M、QueueSend、TimerC、XmeshBinaryRouter、NoLeds、HPLPowerManagementM、Voltage、PhotoTemp、Sonder、GenericCommPromiscuous 等组件实现了节点的信息采集和传输功能,通过 Main、Xheartbeat、XmeshBaseM、XmeshBinaryRouter、NoLeds、XcommandC 组件实现了无线网关。

## 4 能耗计量系统

根据《国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测系统分项能耗数据采集技术导则》的规定,分项能耗的电量应分为四个分项,包括空调用电、照明插座用电、动力用电和特殊用电。空调用电是为建筑物提供空调、采暖服务的设备用电的统称。照明插座用电是指建筑物主要功能区域的照明、插座等室内设备用电。动力用电是集中提供各种动力服务(包括电梯、非空调区域通风、生活热水、自来水加压、排污等)的设备(不包括空调采暖系统设备)用电。特殊区域用电是指不属于建筑物常规功能的用电设备的耗电量,特殊用电的特点是能耗密度高、占总电耗比重大的用电区域及

设备。以上四个分项电量必分项,本系统针对这四个分项进行独立计量。

根据国家《电能计量装置技术管理规程》的规定,要求电能计量装置具有数据远传功能,至少应具有 RS-485 标准串行电气接口<sup>[10]</sup>,因此,楼宇弱电设计应布设 RS485 网络以满足计量装置的通信要求。同时,RS485 是现在流行的一种布网方式,其特点是实施简单方便,而且支持 RS485 的仪表众多,为计量装置的选择带来了很大的灵活性。计量电表将能耗数据集中存储在 MS SQL Server 数据中,BEMS 系统通过集成查询语言 LINQ 实现数据库的交互,系统结构如图 4 所示。



图 4 系统结构

## 5 基于 WinForm 和 WPF 的客户端开发

### 5.1 .NET Framework 平台

目前,应用程序的开发主要分为基于 .NET Framework 平台和基于 J2EE 平台两种。两者比较而言,.NET Framework 平台支持多种开发语言,开发效率和运行效率相对较高,且拓展性强,由公共语言运行库(CLR)进行代码管理。因此,本系统的开发选择了 Microsoft 的 .NETFramework 平台。

### 5.2 基于 WinForm 的子系统

Windows Forms 是 .NET Framework 的智能客户端组件,通过图形化控件来构建 Windows Forms 应用程序。同时 WinForm 与 MFC 可实现互操作性。在 WinForm 应用程序中通过承载 MFC COM 控件的方式即可实现彼此的互操作。相反,在 MFC 中要使用 WinForm 控件,只要将 MFC 应用程序生成为托管应用程序,就可以访问所有的 .NET 类型。

WinForm 是目前为止微软公司应用程序开发技术中最为成熟的一个,提供的可视化组件也最为丰富,考虑到系统开发的效率,各个子系统就是基于 WinForm 技术实现的。

### 5.2 基于 WPF 的工程

WPF 的全称是 Windows Presentation Foundation,是下一代显示系统,用于生成能带给用户震撼视觉体验的 Windows 客户端应用程序<sup>[11]</sup>。使用 WPF 可以创建广泛的独立应用程序以及浏览器承载的应用程序。WPF 通过可扩展应用程序标记语言 XAML 实现应用程序用户界面。WPF 使得界面显示和代码将更好的得到分离,降低了二者之间的耦合。更为重要的是,WPF 应用程序能实现桌面应用程序和浏览器应用程

序的融合,这意味着利用 WPF 技术开发出的桌面应用程序也可以基于浏览器在不同的操作系统上运行<sup>[12]</sup>。

本系统设计采用了 WPF 编程模式,将用户界面和功能实现相分离。通过 Visual Studio 2008 和 .NET Framework 3.5 平台,构建系统的客户端软件系统。由 XAML 实现的系统主界面如图 5 所示。



图 5 BEMS 主界面

## 6 结束语

文中介绍了国家科技支撑计划课题“城市大型公共建筑长期节能监测技术”的研究成果,借助于无线传感器网络 and 智能抄表系统实现了建筑用能体系的能量和能效的双重监测,构建了全新的楼宇能源管理系统。在系统的实现过程中,采用了微软公司最新的 .NET 3.5 平台以及 LINQ、WPF 等新技术,使得系统更为稳

定和先进,并具有良好的拓展性。

### 参考文献:

- [1] 刘海涛,厉小润. 基于嵌入式技术楼宇智能化控制系统[J]. 计算机应用, 2008(3): 67-69.
- [2] 赵起升,朱静孙. 智能建筑中的楼宇自动化设计及其应用[J]. 华中科技大学学报, 2003(9): 80-82.
- [3] Menzel K, Pesch D, O' Flynn B, et al. Towards a Wireless Sensor Platform for Energy Efficient Building Operation [J]. Tsinghua Science and Technology, 2008, 13 (S1): 381-386.
- [4] 建科综函[2008]58号,国家机关办公建筑 and 大型公共建筑能耗监测系统分项能耗数据采集技术导则[S]. 2008.
- [5] Kintner-Meyer M, Conant R. Opportunities of Wireless Sensors and Controls for Building Operation [J]. Energy Engineering Journal, 2005, 102(5): 27-48.
- [6] 许毅平,周曼丽. 无线网络技术在智能楼宇中的应用[J]. 计算机工程与设计, 2006 (11): 4264-4266.
- [7] Stallings W. Wireless communications and networks [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [8] 李善仓,张克旺. 无线传感器网络原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [9] 王 雪. 无线传感网络测量系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [10] DL/T 448-2000, 电能计量装置技术管理规程[S]. 2000.
- [11] Troelsen A. C# 与 .NET 3.5 高级程序设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [12] Sells C, Griffiths I. WPF 编程(影印版)[M]. 南京: 东南大学出版社, 2008.
- [13] 机制[J]. 中国科学技术大学学报, 2007, 37(9): 1054-1059.
- [14] Du WL, Jia J, Mangal M, et al. Uncheatable grid computing [C]// 24th International Conference on Distributed Computing Systems. Los Alamitos: IEEE CS Press, 2004: 4-11.
- [15] Golle P, Mironov I. Uncheatable distributed computations [C]// Topics in Cryptology - CT - RSA 2001. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2001: 425-440.
- [16] 黄仲伟,陈莘萌. 网络计算中的反欺骗方案[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(10): 2808-2810.
- [17] 黄德才,陈建武,刘端阳. 改进的基于二叉树的无交互防欺骗检测方法[J]. 计算机工程, 2008, 34(14): 44-46.
- [18] 马满福,吴 健,胡正国,等. 网络计算资源管理中的信誉度模型[J]. 计算机应用, 2005, 25(1): 61-64.
- [19] cation: Allocation Mechanisms and Utilisation Patterns [C]// Proceedings of the Sixth Australasian Workshop on Grid Computing and e-Research. Wollongong: Australian Computer Society, 2008: 73-81.
- [20] 张建勋,贺毅朝,田俊峰. 基于市场的网格资源分配管理模型研究[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(2): 193-196.
- [21] LU Weina, YANG Shoubao, GUO Leitao, et al. Reputation-aware transaction mechanisms in grid resource market [C]// Sixth International Conference on Grid and Cooperative Computing (GCC 2007). USA: IEEE Press, 2008: 148-153.
- [22] 路卫娜,杨寿保,郭磊涛. 基于信誉感知的网格资源交易

(上接第 183 页)