

基于能源分析模型的可再生能源与建筑集成平台的研究*

谭 励, 陈 鹏, 于重重

(北京工商大学 计算机与信息工程学院, 北京 100048)

摘 要: 为了研究可再生能源在建筑中替代常规能源的效果,在采集、分析全国 5 个气候区 23 幢示范建筑物的不同种类可再生能源使用数据的基础上,提出适用于我国建筑行业范围内的可再生能源与建筑集成的能源分析多层次模型。该模型由总体概念层、公共层、基础模型层组成,分别实现对总体问题的描述、公共模型方法的建立以及具体能源模型的创建,并以此能源分析模型为基础,进一步设计实现了具有能源使用预测功能的可再生能源与建筑集成数据分析平台。

关键词: 可再生能源与建筑集成; 能源分析模型; Microsoft 时序算法

中图分类号: TP311

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2010)10-3816-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.10.056

Research building integrated renewable energy platform based on energy analysis model

TAN Li, CHEN Peng, YU Chong-chong

(College of Computer & Information Engineering, Beijing Technology & Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: In order to study effective alternative of substitution renewable energy for conventional energy sources in building, the paper proposed a kind of multi-level energy analysis model of building integrated renewable energy, which was applicable to the construction industry in China, based on monitoring and analyzing of 23 demonstration buildings using different types of renewable energy located in five climate zones in China. The model composed of the overall concept layer, the public layer and the base model layer. The function of each layer was to achieve the overall description of the problem, to establish the common model approach and to create each specific energy model. Moreover, based on energy analysis model, designed and implemented the building integrated renewable energy data analysis platform with forecasting the use of alternative energy.

Key words: building integrated renewable energy; energy analysis model; microsoft time series algorithm

0 引言

我国建筑物总面积巨大,建筑物的供暖、照明、空调使用等方面消耗大量的能源。因此,开发可再生能源,将可再生能源与建筑集成(building integrated renewable energy, BIRE)是解决建筑能源紧缺问题一条有效的新途径。近年来,在 BIRE 过程中,各国根据本国的特点和不同的需求研发了各种可再生能源分析与评估软件。例如加拿大的 RETScreen 清洁能源项目分析软件^[1]已被 222 个国家超过 20 万用户所使用,该软件能够分析包括风能、太阳能、地源热泵等多种可再生能源的使用状况。同时,我国也在加快可再生能源软件系统的开发与利用,研制成功的系统包括清华大学开发的 DeSt^[2] 建筑环境设计软件包、上海交通大学开发的建筑节能设计及评估的软件、中国建筑科学研究院建筑工程软件研究所节能中心研发的 CHEC^[3] 软件等。上述软件以人工监测数据为基础,从不同角度分析了使用可再生能源代替常规能源的经济可行性、经济指标组成以及可再生能源的使用效率。但在中国不同建筑气候区建筑的可再生能源替代常规模型的分析上有所欠缺。

本文在分析连续监测采集一年的全国 5 个不同建筑气候区、23 幢不同类型的可再生能源与建筑集成技术示范建筑物

的(部分示范建筑如表 1 所示)监测数据的基础上,提出了一种可再生能源在建筑集成应用中的能源分析模型,并根据模型思想设计了可再生能源与建筑集成数据分析平台。通过建筑中可再生能源的使用情况,确定建筑集群适合使用的可再生能源方式,实现对不同地区、不同能源类型、不同建筑类型的可再生能源使用率的评估与预测,提高我国可再生能源技术在民用建筑尤其是住宅建筑中的应用水平。

1 能源分析模型

1.1 能源分析模型设计总体思想

可再生能源是指风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能等非化石能源。其中,可用于建筑中的可再生能源主要包括太阳能、浅层地能、污水源能、生物质能、地下水能等。为了更好地反映各种可再生能源对减少建筑能耗的贡献率,研究其替代常规能源的效果,需要设计实施特定的可再生能源监测系统。不同可再生能源建筑系统的结构及安装实施存在差异,相应的监测系统也不完全相同。但从不同的监测参数中所获得的技术经济指标应具有一定的通用性。因此针对相同类型的监测系统抽取统一的物理模型,物理模型中应包括对监测方法、监测参数、能源替代的物理含义等的描述。对物理模型

收稿日期: 2010-04-08; 修回日期: 2010-05-24 基金项目: 国家重大科技攻关项目(2006BAA04B05)

作者简介: 谭励(1980-),女,广西南宁人,讲师,博士,主要研究方向为人工智能、机器学习(tanli_913@sina.com);陈鹏(1986-),男,硕士研究生,主要研究方向为数据挖掘;于重重(1971-),女,副教授,主要研究方向为智能信息处理、人工智能。

进一步转换,通过形式化的语言抽象出概念模型。

表 1 可再生能源与建筑集成技术部分示范点说明

项目类型	项目名称	所属建筑气候区
太阳能 热水系统	广东省广州逸泉山庄(大 B 区)底层居住建筑)	夏热冬暖
	宁夏回族自治区银川市清水湾住宅区一期	寒冷
	江苏省徐州市沛县龙固中三新村	夏热冬冷
	辽宁盘锦润诚苑住宅小区	严寒

太阳能 光伏系统	常州天合光能有限公司办公楼	夏热冬冷
	广东科学中心	夏热冬暖
	威海蓝星办公楼	寒冷

	河北省石家庄河北建设服务中心	寒冷
地源	湖北出入境	夏热冬冷
热泵	潍坊海关	寒冷
系统	赤峰市众联广场	严寒
	广西大学学生公寓	夏热冬暖

抽象出的概念模型是一种支持预测分析功能的多层次模型框架,模型由总体概念层、公共层、基础模型层组成。分别实现对总体问题的描述、公共模型方法的建立以及具体能源模型的创建。通过将监测方法、统计方法和预测算法封装在公共层中,有效地实现了对各种可再生能源数据的预测分析功能。能源的总体模型设计如图 1 所示。

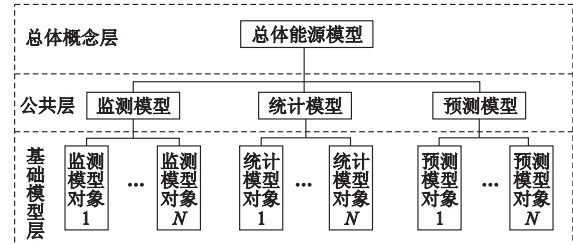


图1 总体能源模型设计图

1.2 能源模型的描述

1.2.1 总体概念层描述

总体概念模型是对可再生能源在建筑集成应用的客观描述,从计算机的角度抽象实际问题,并使用形式化语言加以描述。总体概念层采用基于总体问题描述的模型描述方法,针对可再生能源在建筑集成应用的需求和现有可再生能源分析软件的缺点,概括为问题域,并形式化描述为 $C = \langle C_{bmonitor}, C_{bstatic}, C_{bpredict} \rangle$ 。针对问题域,提出解决方法,并将方法概括为 M_{pl} ,即公共层模型集合。同时描述问题域与公共层具体模型之间的关系 $R = \langle R_i \rangle$, R_i 为一对一、一对多或多对多的关系。

综上所述,将总体概念层描述如下: $M_E = \langle M_{pl}, C, R \rangle$ 。总体概念层将问题描述、模型构建和对可再生能源在建筑集成应用的认识联系起来,为分析人员认识和分析可再生能源在建筑集成中的应用提供方便。

1.2.2 公共层描述

公共层是能源模型的第二层,是利用面向对象共享、重用的思想构建的解决实际问题域的模型集合。针对可再生能源在建筑集成应用中的需求,将其定义为

$$M_{pl} = \langle M_F, M_T, M_w, R \rangle \tag{1}$$

$$M_F = \langle M_{Fmonitor}, M_{Fstatic}, M_{Fpredict} \rangle \tag{2}$$

$$M_T = \langle M_{TPara}, M_{TEco} \rangle \tag{3}$$

$$M_w = \langle M_{wmonitor}, M_{wstatic}, M_{wpredict} \rangle \tag{4}$$

其中: M_F 为模型功能描述, M_T 为模型类型描述, M_w 为模型算法集合, R 为模型算法与功能模型的关系; $M_{Fmonitor}$ 、 $M_{Fstatic}$ 、 $M_{Fpredict}$

分别为监测模型、统计模型、预测模型; M_{TPara} 、 M_{TEco} 分别为参数模型、经济指标模型; $M_{wmonitor}$ 、 $M_{wstatic}$ 、 $M_{wpredict}$ 分别为监测算法、统计算法、预测算法。

公共层模型在构建过程中封装了其设计和实现,仅向外部提供接口及其使用规范,形成相对独立的可重用的软件单元,因此减少了开发和维护的工作量,同时也保证了开发系统的质量。

1.2.3 基础模型层描述

能源模型的第三层是基础模型,是在继承了公共模型层的基础之上针对具体可再生能源的模型描述。将其定义为

$$M_{bm} = \langle M_{bid}, M_{btype}, M_{bdate}, M_{boper}, M_{boperway} \rangle \tag{5}$$

$$M_{bdate} = \langle DS, TN, FN, DT \rangle \tag{6}$$

$$M_{boper} = \langle in, out, del, upda \rangle \tag{7}$$

其中: M_{bid} 表示模型编号, M_{btype} 表示能源种类, M_{bdate} 表示能源数据, M_{boper} 表示能源数据操作, $M_{boperway}$ 表示继承公共层中的数据处理方法; DS 为数据库名, TN 为表名, FN 为字段名, DT 为数据类型; in 、 out 、 del 、 $upda$ 分别表示对能源数据的输入、输出、删除、更改。该层与公共层模型以及具体能源直接联系,指明了具体模型的研究任务,加快了平台开发周期。

2 系统设计

根据能源模型的设计思想,将可再生能源与建筑集成数据分析平台功能分为以下五大部分:

- a) 系统管理模块。主要实现系统的数据管理,完成对用户以及不同能源项目的基本配置,为数据分析作准备。
- b) 监测模块。主要实现对数据的实时和历史监控功能,实现对历史数据的分析和实时动态数据的监控。
- c) 统计模块。对各个可再生能源参数、经济指标按不同项目种类、不同项目进行统计分析。通过指标来衡量何种能源适合何种气候性建筑项目。
- d) 预测分析模块。根据已采集到的本地数据,运用时序算法对多种能源指标进行预测分析,为项目推广提供可靠依据。
- e) 报表功能模块。主要实现报表的生成、查询、导出、打印功能。

具体功能模块设计如图 2 所示。

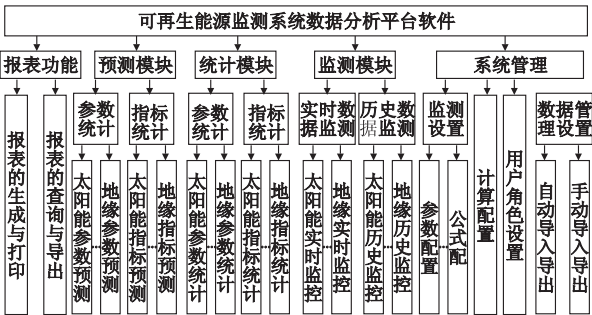


图2 系统功能设计图

3 系统设计与实现

本平台以 .NET 为开发环境,采用 VS2008 和 SQL2008 为开发工具, C# 为开发语言,结合 XML、XSLT、JavaScript 等技术进行开发。

3.1 数据库设计与 XSLT 转换

平台数据库包括四大部分,即 XML 文档(算法数据库)、实时数据库、历史数据库和决策数据库。XML 文档数据库主

要用来存放平台分析数据的常用算法公式;实时数据库的设计是存放两天内的实时数据,这些数据是由 I/O 服务器控制器根据系统要求写入到实时数据库中的。数据源是数据采集模块采集到的数据,其思想是方便快速的实时数据监测。历史数据库中的数据则是由实时数据库中的数据进一步整理得到的数据;决策数据库是由结合专家知识和历史数据库中的数据经过过滤数据形成的数据库,为进一步的预测分析提供数据。

为了使数据在应用时具有规范化的表达格式,同时又使得应用层与数据层有较强的独立性,系统采用 XML 存储显示操作数据,而且 XML 在数据应用方面也具有跨平台、易表义等优点。在显示数据时采用可扩展样式语言(XSLT)作解析 XML 的语言,将 XML 转换成 HTML 语言。使用 XSLT 的优势在于它能够不同数据的 XML 以相同的格式显示。同时结合 JavaScript、CSS、HTML 等技术,既满足显示美观的要求,又能达到数据的操作与显示的要求。

3.2 监测模块的实现

为了方便用户查看到可再生能源的使用情况,对历史、现在使用情况作出评估,本平台将监控模块划分为历史监控模块和实时监控模块。本系统通过 Ajax 等技术实现了监控功能。

Ajax 能在不更新整个页面的前提下维护数据,使得 Web 应用程序更为迅捷地回应用户动作,并避免了在网络上发送那些没有改变过的信息和等待过程中出现空白页的情况。同时因为仅向服务器发送并取回必需的数据,也减小了服务器的压力。通过 Flash 能够动态显示图形数据,不仅美化图形表面,而且是图形增加了缩放、拖拽的功能,使监控图形变化更加地形象。Ajax 与 Flash 技术的结合实现了监测图形在无等待刷新的情况下,对能源使用情况的监控功能。

3.3 统计模块的实现

统计模块主要实现各种可再生能源经济指标和参数的统计功能。在统计过程中,各种经济指标和参数均按照行业内普遍认可的国际标准,通过严格的数学计算获取。以太阳能热水系统为例,其统计的参数包括集热系统输出能量 Q_{br1} 、系统总负荷 Q_c 、太阳辐照量 $H \cdot A$ 、循环泵能耗 Q_{p1} 、水输送管网耗能 Q_{p2} 、蓄热水箱辅助能源消耗量 Q_a ;其经济指标包括太阳能保证率 f 、太阳能集热系统效率 η_2 、太阳能热水系统效率 η_3 、太阳能集热系统有用的热量 Q_ψ 以及常规能源替代量 Q_Δ 。其经济指标统计公式如下:

$$f = Q_{br1} / Q_c \tag{8}$$

$$\eta_2 = Q_{br1} / (H \cdot A + Q_{p1}) \tag{9}$$

$$\eta_3 = Q_c / (Q_{br1} + Q_a + Q_{p1} + Q_{p2}) \tag{10}$$

$$Q_\psi = Q_{br1} \tag{11}$$

$$Q_\Delta = Q_{br1} - Q_{p1} \tag{12}$$

由于各种可再生能源经济指标和参数均不相同,在实现过程中根据能源种类编写独立的统计算法文件,以方便统计能源种类的扩展。

3.4 预测模块的实现

在实现预测模块的过程中,考虑到可再生能源与建筑集成能源数据具有季节性规律,而且数据之间具有较强的关联性,因此,可利用时序算法预测未来的参数和技术经济指标。时序算法针对时间序列通过在创建模型时从原始数据集派生的趋势来预测未来数据变化情况。

时间序列数据是指同一种现象在不同时间上的相继观察

值排列而成的一组数字序列,是以规律的时间间隔采集的测量值的有序集合,可以描述如下:

$$S = \{X_{t-1} = \langle t_1, a_1 \rangle, X_{t-2} = \langle t_2, a_2 \rangle, \dots, X_{t-n} = \langle t_n, a_n \rangle\} \tag{13}$$

其中: a_i 是在 $t_i(i=1,2,3,\dots,n)$ 时刻的变量值,且时间间隔为定值。常见的时序预测算法包括算术平均法、移动平均法、指数平滑法等。本平台选用 Microsoft 时序算法^[12],该算法充分考虑季节变动以及数据变化周期等因素的影响,并在决策树算法的基础上提出一种用于时间序列预测的算法,可完成对时序数据准确的长期及短期预测。

Microsoft 时序算法采用线性自回归模型 $AR(p)$, p 表示回归长度,具体模型可以定义如下:

$$f(y_t | y_{t-p}, \dots, y_{t-1}, \theta) = N(m + \sum_{j=1}^p b_j y_{t-j}, \sigma^2) \tag{14}$$

其中: $f(y_t | y_{t-p}, \dots, y_{t-1}, \theta)$ 是一个线性回归, $N(\mu, \sigma^2)$ 是一个服从均值为 μ 、方差为 σ^2 的正态分布, $\theta = (m, b_1, \dots, b_p, \sigma^2)$ 是该模型各类参数。

Microsoft 时序算法构建回归树模型,树中非叶节点都由一个布尔回归公式决定其指向,叶节点通过逐层对应的中间节点的合取得到,每个叶子节点代表一个独立的自回归模型。回归树公式定义如下:

$$f(y_t | y_{t-p}, \dots, y_{t-1}, \theta) = \prod_{i=1}^L f_i(y_t | y_{t-p}, \dots, y_{t-1}, \theta_i)^{\varphi_i} = \prod_{i=1}^L N(m_i + \sum_{j=1}^p b_{ij} y_{t-j}, \sigma_i^2)^{\varphi_i} \tag{15}$$

其中: L 是叶节点的个数, $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L)$ 和 $\theta_i = (m_i, b_{i1}, \dots, b_{ip}, \sigma_i^2)$ 是叶节点 $l_i(i=1,2,3,\dots,L)$ 处线性回归的模型参数。构建回归树如图 4 所示。

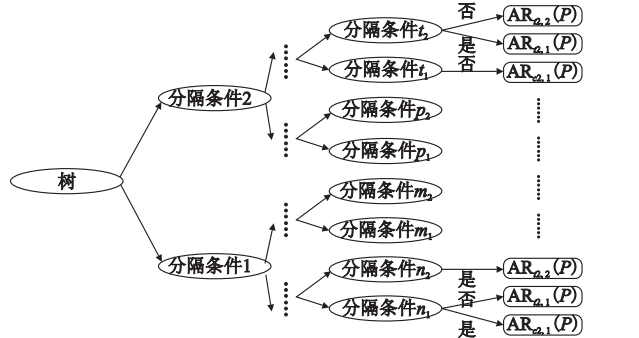


图3 回归树

根据非叶子节点进行分隔,最后由叶子节点的线性回归模型预测时间序列值。

采用时序算法的优势在于:可再生能源的使用具有季节性因素,而算法的时间序列也同时具有季节性因素。因此算法不仅能够预测到未来的数据,而且能够预测历史,可以通过对历史数据的验证修改算法参数,从而形成一个历史数据—参数修改—预测数据—历史数据的一个闭环预测系统,获取较为可靠的预测数据。

4 结束语

本文在分析了可再生能源与建筑集成的发展趋势的基础上,提出了多层次可再生能源总体模型,并设计了一个可再生能源与建筑集成数据的分析平台。该平台基于可再生能源与建筑集成积累的海量数据,应用 Microsoft 时序算法实现了预测分析功能以及监测、统计功能,弥补了现有可再生能源分析软件的缺点。

类型,这些类型的对象之间就包含了分类、继承和概括关系。通过对复杂实体的分解,能够表达复杂实体各组成部分的聚集关系,例如 CityGML 中 building 类型包含 closureSurface、floorSurface、interiorWallSurface 和 ceilingSurface 等部分要素,这些要素联合起来就聚集成 building。

3 实验验证

基于面向虚拟地理环境的语义数据模型,以 Visual Studio 2008 作为开发平台,以 OpenGL 作为可视化工具,SQL Server 2005 作为存储工具,对模型进行验证。通过扩展 MFC 中 CTreeCtrl 类功能,实现节点之间的拖曳功能,使一个节点成为其他节点的兄弟节点、父节点或子节点。在拖曳时,子节点连同它所有的子节点一起成为另外节点的子节点。同时,语义数据模型也可以有多个根,形成森林。在节点的拖曳过程中,定义一些准则,保证拖曳的合法性,例如建筑物不能成为土地利用的子节点。语义数据模型中也可以定义实体之间的关系,如定义一些实体是否是另外实体的约束。语义数据模型可以以 XML 格式进行导入和导出,在导入和导出的过程中,保留依附于语义数据模型的所有几何信息、拓扑信息、语义信息和属性信息。

实验使用的数据主要包括建筑物数据和地形数据。采用面向虚拟地理环境的语义数据模型对各种实体进行说明,能够无歧义地表达实体以及实体之间的关系。图 3 为虚拟地理环境中各实体之间关系的图形化界面,通过该图形化界面能够很容易定义实体之间的关系。图 4 为地上建筑物对象和地形无缝集成可视化的效果。分别采用 polyhedron 和 TIN 对建筑物和地形节点的几何信息进行表达,并对建筑物底面和地形节点进行语义描述,采用语义数据模型对实体之间的约束关系进行说明(建筑物底面作为地形的约束),设计相应的约束 Delaunay 算法,避免建筑物悬浮于地表或者嵌入到地表的現象,做到建筑物和地形的无缝集成。

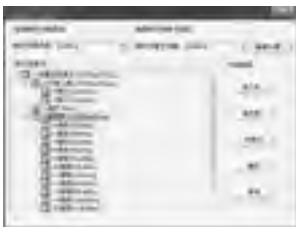


图3 语义数据模型图形化界面 图4 地上建筑物和地表无缝集成

4 结束语

针对当前虚拟地理环境对实体的表达不够清晰、不能准确反映实体之间的关系问题,提出了一种语义数据模型。将语义数据模型分成几何信息、拓扑信息、语义信息和属性信息四个有机联系的整体,并通过标志符将四者联系在一起,共同表达虚拟地理环境中的实体。由于虚拟地理环境是一个复杂的巨系统,要完整而无歧义地表达虚拟地理环境中各种现象,进行空间分析,探测地理规律是一项重大的课题,不是一蹴而就的事情,面向虚拟地理环境的语义数据模型是一种有益的探索。

参考文献:

- [1] 龚建华,林琨. 虚拟地理环境在线虚拟现实的地理学透视[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
- [2] 林琨,龚建华. 论虚拟地理环境[J]. 测绘学报,2002,31(1):1-6.
- [3] ZHANG Jian-qin, GONG Jian-hua, LIN Hui, et al. Design and development of distributed virtual geographic environment system based on Web services[J]. Information Sciences, 2007, 177(19): 3968-3980.
- [4] 朱庆,李德仁,龚健雅,等. 数码城市 GIS 的设计与实现[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2001,26(1):7-11.
- [5] 温永宁,闰国年,杨慧,等. 面向服务的分布式地学模型集成框架研究[J]. 遥感学报,2006,10(2):160-168.
- [6] RAMASUNDARAM V, GRUNWALD S, MANGEOT A, et al. Development of an environmental virtual field laboratory[J]. Computers & Education, 2005, 45(1): 21-34.
- [7] MAC E, CAI G, SHARMAR. Enabling collaborative geoinformation access and decision-making through a natural, multimodal interface[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2005, 19(3): 267-292.
- [8] 陈常松. 地理信息分类体系在 GIS 语义数据模型设计中的作用[J]. 测绘通报,1998(8):17-20.
- [9] DARPA. Fundamentals of the DRM[EB/OL]. [2010-04-04]. <http://www.sedris.org/drm.htm>.
- [10] DARPA. Environmental data coding specification (EDCS) [EB/OL]. [2010-04-04]. <http://www.sedris.org/edcs.htm>.
- [11] GERHARD G, THOMAS H K, ANGELA C, et al. OpenGIS city geography markup language (CityGML) encoding standard[EB/OL]. [2008-10-29]. <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>.
- [12] 吴立新,车德福,郭甲腾. 面向地上地下无缝集成建模的新一代三维地理信息系统[J]. 测绘工程,2006,15(2):1-6.
- [13] 肖乐斌,钟耳顺,刘纪远,等. GIS 概念数据模型的研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2001,26(5):387-392.

(上接第 3818 页)

参考文献:

- [1] RETScreen International Clean Energy Decision Support Centre. RETScreen clean energy project analysis software[CP/OL]. <http://www.retscren.net/>.
- [2] 燕达,谢晓娜,宋芳婷,等. 建筑模拟技术与 DeST 发展简介[J]. 暖通空调,2004,34(7):49-56.
- [3] 邓毛颖. 民用建筑能效测评标技术导则[J]. 建设科技,2008(13):7.
- [4] 徐莉燕. 绿色建筑评价方法及模型研究[D]. 上海:同济大学,2006.
- [5] TROML K, BURGER S. United States GBC 2000 team: Supporting green buildings and communities for a healthy and prosperous planet, NREL/BR-810-29045[R]. [S. l.]: office of Buliding Technology, 2000.
- [6] LEED E. No man's land: combat and identity in world war I[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.
- [7] MEEK C, CHICKERING D M, HECKERMAN D. Autoregressive tree models for time-series analysis[C]//Proc of the 2nd International SIAM Conference on Data Mining. 2002: 229-244.
- [8] 王军,彭喜元,彭宇. 一种新型复杂时间序列实时预测模型研究[J]. 电子学报,2006,34(12A):2390-2394.
- [9] 孙大明,苑麒麟,王宝海,等. 居住建筑节能设计计算机技术及在上海工程实践中的运用[J]. 建筑节能,2004(10):25-28.
- [10] TSANG I W, KOCOR A, KWOK J T, et al. Efficient kernel feature extraction for massive data sets[C]//Proc of International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2006:724-727.
- [11] XU Fei, HAO Ai-hong, ZHANG Xiao-li, et al. Data processing and analysis of solar energy hot water monitor system[C]//Proc of the 2nd International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. 2009:572-577.
- [12] TANG Z H, MACCLENNAN J. Data mining with SQL Server 2005[M]. 邓祝芳,焦贤龙,高升,译. 北京:清华大学出版社,2007: 141-155.