

基于物联网和数据融合的空调 故障诊断系统及方法 *

谢秀颖^{1,2}, 邵珠虹^{1,2}, 张桂青^{1,2}, 汪 明^{1,2}, 李成栋^{1,2}

(1. 山东建筑大学 信息与电气工程学院, 济南 250101; 2. 山东省智能建筑技术重点实验室, 济南 250101)

摘 要: 针对传统的诊断方法模型难以精确建立的问题,设计了一种基于物联网和数据融合的空调故障诊断系统。首先提出了空调故障诊断系统的体系结构,对系统涉及的关键技术进行了介绍;然后给出了系统所采用的数据分析和综合诊断方法,并给出了系统的应用实例。该空调故障诊断系统可对空调设备的运行状态进行监控,通过对系统数据库中的数据分析、判断,采取相应的合理决策,实现对建筑用电设备物联网中的空调设备进行故障诊断的目的。

关键词: 物联网; 故障诊断; 无线传感器网络; 数据融合

中图分类号: TP273.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)02-0565-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.02.043

Air-conditioning fault diagnosis system and methods based on Internet of things and data fusion

XIE Xiu-ying^{1,2}, SHAO Zhu-hong^{1,2}, ZHANG Gui-qing^{1,2}, WANG Ming^{1,2}, LI Cheng-dong^{1,2}

(1. School of Information & Electric Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Intelligent Buildings Technology, Jinan 250101, China)

Abstract: To solve the problem that the models of the traditional fault diagnosis methods are difficult to establish precisely, this paper designed an air-conditioning fault diagnosis system based on Internet of things and data fusion. In this paper, firstly, proposed the architecture of the air-conditioning fault diagnosis system, and also introduced some key technologies of implementation. Then, presented some data analysis methods and some comprehensive diagnosis methods used in this system. Finally, also gave several applications of this system. The fault diagnosis system could monitor the operation status of the air-conditioning equipments. It also provided analysis and judgment of the data in the database, and took appropriate decisions to achieve the fault diagnosis purposes of the air-conditioning equipments in the Internet of things.

Key words: Internet of things; fault diagnosis; WSN; data fusion

0 引言

随着我国国民经济的快速发展和人民生活水平的日益提高,空调设备正越来越广泛地应用于各种行业和部门。当空调系统发生故障时,若不能及时诊断出故障,将会影响生活和生产,甚至有可能带来巨大的损失。因此开发对空调设备的运行状态进行监控和故障诊断,并作出维护决策的空调故障诊断系统具有重要的实际意义。

空调的故障诊断是建筑设备领域里的一个重要内容,涉及到很多专业学科的综合应用。其内容包括空调的故障机理、故障诊断理论和方法、信号处理和计算机技术等,既有理论问题,又有实际应用的问题,故有一定的技术难度^[1,2]。

过去的几十年中,故障诊断技术备受关注^[3,4]。传统的分类思想一般将故障诊断方法划分为基于数学模型的、知识的和信号处理的三大类方法^[3,4]。传统的故障诊断方法

一般需要确定精确的解析模型,在模型未知或描述不精确的情况下是不能得到准确的故障诊断结果的^[10,11]。近年来,随着理论研究的深入,基于数据的故障诊断方法的应用也越来越广泛^[12,15]。随着智能建筑技术的发展,建筑物内的用电设备的数量和种类越来越多,其智能化水平也越来越高,将各种用电设备通过网络互连构成了建筑用电设备物联网系统。而在建筑用电设备物联网环境下,机理建模更加困难,但物联网技术使得设备状态与信息以及环境参数等海量数据的获取与共享成为可能,从而有大量的数据可供利用、发掘,从中发现规律,实现故障诊断的目的。针对建筑用电设备物联网环境下空调的故障诊断问题,本文提出了一种基于数据融合的空调故障诊断方法,该方法只需对过程运行数据进行分析处理,从而在不需要知道系统精确解析模型的情况下也能完成系统的故障诊断,而且在实际系统中更容易直接应用。

收稿日期: 2011-08-06; **修回日期:** 2011-09-13 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(61074149,61105077);山东省高校科技计划资助项目(J11LG16)

作者简介: 谢秀颖(1960-),女,山东蓬莱人,教授,主要研究方向为建筑设备智能化;邵珠虹(1987-),女,山东临沂人,硕士研究生,主要研究方向为建筑设备智能化(shaozh1987@163.com);张桂青(1962-),男,教授,主要研究方向为建筑设备智能化;汪明(1976-),男,副教授,主要研究方向为建筑设备智能化;李成栋(1981-),男,博士,主要研究方向为智能控制、建筑设备智能化。

1 空调故障诊断系统

本文介绍的空调故障诊断系统是基于建筑用电设备物联网的,系统结构如图 1 所示。

建筑用电设备物联网系统的网络拓扑结构为工业以太网、无线传感器网络、GPRS/GSM/CDMA/3G 网络和广域网的混合结构。空调故障诊断系统包括若干个环境模块、若干个空调无线测控模块、若干个房间控制器、至少一个管理计算机。

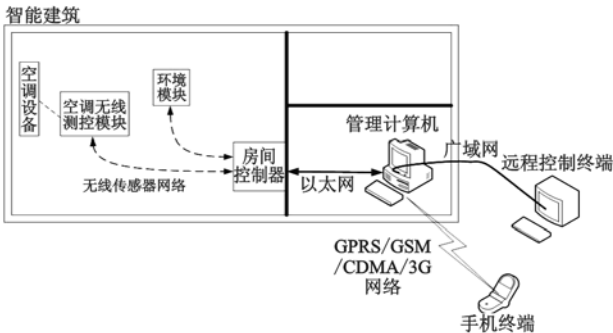


图1 系统结构

在其空间单元内设有房间控制器、环境模块和空调无线测控模块。环境模块采集房间的环境参数,空调无线测控模块采集空调的状态及其参数信息;环境模块和空调无线测控模块通过无线传感器网络与房间控制器进行通信;房间控制器通过以太网与管理计算机连接。

管理计算机采用数据库的形式对数据进行统一管理,从而实现基于数据融合的故障诊断。管理计算机提取数据库中的各种信息,如环境温度、湿度、二氧化碳浓度数据,空调状态和参数等,综合这些信息进行数据处理、比较和分析,并结合历史数据判断空调的状态和趋势,诊断空调故障。管理计算机还提供了空调故障诊断界面,可随时监测房间环境参数、空调状态与参数以及空调故障诊断情况等。

2 建筑用电设备物联网中的关键技术

2.1 无线传感器网络通信

在该系统中,房间控制器与环境模块和空调无线测控模块之间都是通过无线传感器网络进行通信的。当房间控制器和环境模块或空调无线测控模块进行通信时,发送方会向无线传感器网络中发送一帧信息,这帧信息包含有三个字段,分别是物理帧头、网络帧头和数据负载。在此无线传感器网络中收到这帧信息的节点会对网络帧头进行解析,得到源地址与目的地址。无线通信网络是个树状的网络,根据当前节点是否为协调器来判断是沿着树往上还是往下转发数据。若是往上,则从每一层的路由节点开始判断目标节点是否在该层,若不在,则转发到上一层直到最顶层;若是往下,也是依次从每个路由节点判断是否是该节点还是在该层或是在下一层,直到最大深度,经过层层传递,信息最终到达目的地址。当房间控制器和环境模块或者是房间控制器和空调无线测控模块进行通信的时候,根据信息的发送方和接收方的不同,数据负载的格式也不相同^[16,17]。

当房间控制器启动并初始化一些参数后(工作频道、网络 ID、邻居表等),环境模块和空调无线测控模块随之自动启动,并向房间控制器寻找可以加入的网络节点。需要加入网络的环境模块和空调无线测控模块首先向房间控制器进行注册。

2.2 以太网技术

该系统中的管理计算机与各个房间控制器之间是通过以太网连接的。通过 Visual C# 进行 socket 网络程序开发,使其建立连接,并通过协议 TCP 进行数据的交换。利用 C# 开发 Web 应用程序,通过建立 B/S 架构的空调故障诊断界面,使得授权用户可通过登录空调故障诊断界面查看大楼环境参数、空调运行状态和参数及故障诊断情况等。

2.3 GPRS/GSM/CDMA/3G 网络技术

将数据管理计算机通过串口与西门子 GSM 模块 TC35 相连,使用标准的 AT 命令来控制 GSM 模块就可以实现管理计算机和用户手机的无线通信功能。利用 GPRS/GSM 网络进行通信,可通过发短信的方式来远程控制空调设备的起停。授权用户可利用 CDMA/3G 网络用手机登录故障诊断界面。

3 故障诊断算法

3.1 故障诊断算法

本文中的基于物联网和数据融合的空调故障诊断方法,是通过融合该系统中多传感器采集的环境温度、湿度、二氧化碳浓度数据,空调设备的电压、电流及对空调的相应操作信息等,进行故障分析和诊断的。先对来自传感器的原始信息进行特征提取(特征可以是对空调设备的操作事项,环境温度、湿度、二氧化碳浓度数据,电压和电流等),然后对特征信息进行数据处理、综合分析,进而作出决策。相应地,数据预处理与综合分析诊断算法如下:

a) 数据预处理。一组数据中,如果个别数据偏离平均值很远,那么这个(这些)数据称为可疑值。由于数据库中存储的多传感器采集的数据存在可疑值,需要对这些数据运用一定的检验法进行判断和处理,本文中采用格拉布斯法剔除异常数据,然后再利用处理后的数据来确定参数的估计值,如算术平均值、标准差等,进而进行综合分析诊断。

(a) 将可疑值包括在内,用式(1)计算样本标准差 S 。

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

其中: n 为统计次数, X_i 为各参数值, $\bar{X}$ 为各参数值的均值。

(b) 根据可疑值 X_i 与均值 $\bar{X}$ 之差的绝对值是否大于 $\lambda(\beta, n)$ 倍样本标准差 S 来判断该可疑值是否应当剔除,即

如 $|X_i - \bar{X}| > \lambda(\beta, n)S$, X_i 应当剔除;

如 $|X_i - \bar{X}| \leq \lambda(\beta, n)S$, X_i 不应当剔除。

其中:系数 $\lambda(\beta, n)$ 可根据统计次数 n 和可靠概率 β 查表得到。

b) 综合分析诊断。

定义 1 空调状态空间。系统中的所有空调设备的状态、参数及设定值等信息的集合。

$$A = \{a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{kj}, \dots\} \quad (2)$$

定义 2 诊断条件集。诊断所采取的规约条件的集合,确定空调系统当前状态下的各项指标,如环境参数变化范围,电压值、电流值取值范围,误差范围,历史数据等。

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_m, \dots\} \quad (3)$$

定义 3 决策事件集。系统对所有空调设备的诊断结论的集合。决策事件包括对象、行为和描述,事件对象就是被诊断的空调设备,事件行为就是对空调设备的诊断决策,描述就是标准诊断结论的语句。决策事件在此主要是指诊断结果,即空调是否出现故障以及故障的类型。

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n, \dots\}$$

(4)

算法采用如下推理过程:

$$\text{if } A_{ij} \text{ (and) } B_m \text{ then } RR(C_n)$$

即在某种状态 A_{ij} 下,满足条件 B_m ,则决策事件集 C 中的某一些决策事件 $\{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ 按照一定次序发生。

对于一些与时间无关的静态数据,可直接使用上述形式的规则表达,但对于一些随时间变化的动态数据,需要引进一个时间因子嵌入到规则的条件或结论中。设 $p(t)$ 为一时间函数,它在时刻 t 具有确定的值, t_m 为给定的时间极限, $\delta(p)$ 为给定偏差,则规则可具有如下的形式:

$$\text{if } |p(t) - p(t_m)| > \delta(p) \text{ then 诊断结论}$$

3.2 系统故障诊断的步骤

首先分析数据库中的操作事项信息,判断是否对空调进行了操作,并对操作类型进行判断;若读取到对空调进行了开启或关闭操作时,通过对电压、电流等参数进行分析,判断空调设备是否能正常开启或正常关闭,诊断其有没有出现开启异常或关闭异常的情况;当空调正常开启后或是读取到对空调进行了改变工作模式或设定值的操作时,按照设定的频率读取空调的工作模式、状态及参数,并提取环境温度、湿度、二氧化碳浓度等数据,通过分析环境参数等信息,诊断空调是否开始制冷、制热或通风,有没有出现不制冷、不制热或不通风的故障;并通过分析其数据变化趋势,综合由历史数据所构成的历史曲线或参考图谱等,通过上述综合分析诊断策略,判断空调是否能正常制冷、正常制热或正常通风,分析其制冷/制热/通风的效果。

3.3 故障诊断算法流程示例

系统故障诊断流程如图 2 所示。

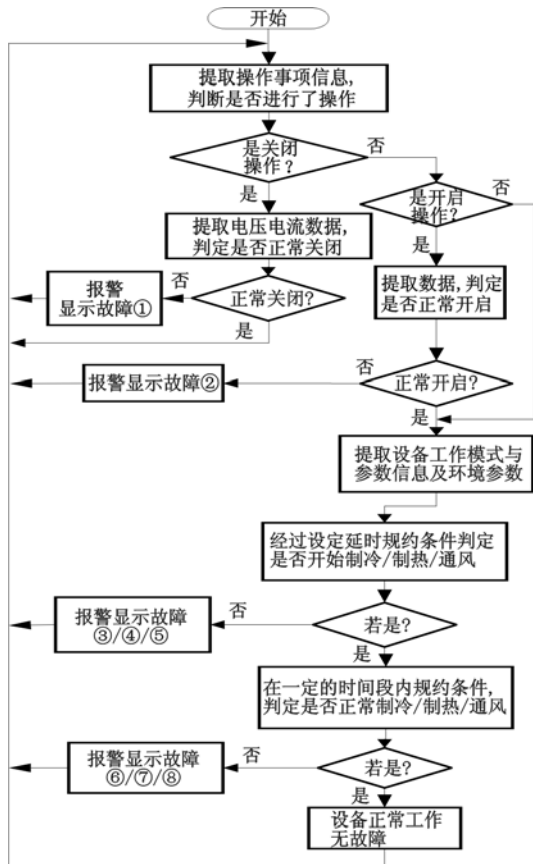


图2 系统故障诊断流程

a) 系统初始化,环境模块按照设定的采样频率采集空间单元的温度、湿度和二氧化碳浓度数据;空调无线测控模块按照设

定的采样频率采集空调设备的电压、电流数据、空调的运行状态和对空调相应操作信息;将上述信息上传到管理计算机。

b) 提取数据库中的操作事项信息,判断是否对空调进行了操作,并对操作类型进行判断。当获知对空调进行了手动或自动开启或关闭的操作时,转入步骤 c);当获知没有进行操作或是进行了改变工作模式或改变设定值的操作时,转入步骤 d)。

c) 当获知对空调进行了开启或关闭的操作时,判断是开启操作还是关闭操作。

若对空调进行了开启操作,管理计算机从数据库中提取相关的空调电压数据和电流数据并进行数据处理,判断规约条件“电压、电流数据在正常范围内”是否成立,若成立,则表明空调正常开启,转入步骤 d);反之,则表明空调没有正常开启,出现了开启异常故障。

若对空调进行了关闭操作,管理计算机从数据库中提取相关的空调电压数据和电流数据并进行数据处理,判断规约条件“电压、电流数据在正常范围内”是否成立,若成立,则表明空调正常关闭,转入步骤 b);反之,则表明空调没有正常关闭,出现了关闭异常故障。

d) 读取数据库中的空调运行模式(制冷/制热/通风模式)及参数,并提取环境参数。以空调工作在制冷模式为例,对其分析过程进行说明:

若空调工作在制冷模式,则分析空调开始运行于制冷模式后一段时间内的温度数据,判断规约条件“温度值逐渐降低”是否成立,若成立,说明空调开始制冷,进入下一步;反之,说明空调没有开始制冷,出现了不制冷故障。

e) 经过一段时间的延时,分析该时间段内的温度数据,判断规约条件“温度变化趋势正常”是否成立,若成立,说明空调设备正常制冷,制冷效果良好;反之,说明空调设备制冷异常,效果不好。

在上述过程中,当空调设备出现故障时,在故障诊断界面具体显示故障类型,并发出报警信号。空调设备故障类型编号为:①设备关闭异常;②设备开启异常;③设备不制冷;④设备不制热;⑤设备不通风;⑥设备制冷异常;⑦设备制热异常;⑧设备通风异常。

类似地,还可采用上述步骤对空调运行于其他模式时进行故障诊断。

在判断温度变化趋势是否正常时,可采用将温度变化趋势与同模式下的历史数据进行比较的方法。充分利用大量的离线和在线数据获得隐含在数据中的经验、知识及规则,得到同模式下的参考曲线,进而将实际曲线与参考曲线进行比较来诊断故障。以空调工作于制冷模式为例,温度变化曲线的比较如图 3 所示。其中, a 为参考曲线, b 为实际曲线, c 、 d 曲线(温度值误差为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 得到的曲线)间所包含的区域为空调正常制冷情况下的温度取值范围。将实际曲线 b 与参考曲线 a 相比较可以看出,曲线 b 是合理的,空调设备是正常制冷的,制冷效果良好。

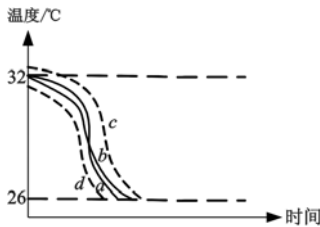


图3 温度变化曲线的比较

4 系统性能测试

在实验室搭建的建筑用电设备物联网系统平台上,对该空调故障诊断系统的性能进行了测试。该平台包括房间 XX301、XX302、XX303、XX304、XX305,各房间内有灯、空调、水泵等用电设备。在此,本文只对空调设备进行故障诊断。各房间内均设置有房间控制器、环境模块、与空调设备对应的空调无线测控模块;房间 XX304 内有一台管理计算机,对整个系统进行监测和管理。

测试实验时正值夏天,已知室外环境温度为 32℃,为了使室内达到一定的舒适度,将空调的温度设定为 26℃。下面进行空调的制冷性能测试,检查系统是否能正常诊断出空调设备的故障。

a)环境模块采集房间环境参数,空调无线测控模块采集空调的运行状态及参数等,通过无线传感器网络与房间控制器进行通信。房间控制器通过以太网将信息上传给管理计算机;管理计算机以数据库的形式对上传的信息进行存储和管理。

b)提取数据库中的各空调设备的运行状态和参数,提取各房间温度数据,分别对各组数据进行故障分析。故障诊断的结果是房间 XX301 的空调设备出现了不制冷的故障,房间 XX302、XX303、XX304、XX305 的空调设备正常工作。

c)管理计算机的诊断界面上具体显示出诊断结果,房间 XX301 的空调设备发出报警信号,并显示故障类型为③。设备故障状况总览如图 4 所示,系统故障信息列表如图 5 所示。

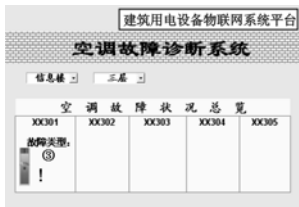


图4 设备故障状况总览



图5 系统故障信息列表图

还对空调设备易出现的其他故障进行了测试。测试表明,该故障诊断系统能有效地对空调设备的运行状态进行监控,及时诊断出故障,诊断误差率为 2%,具有很高的可靠性。

5 结束语

本文提出了一种基于物联网和数据融合的空调故障诊断系统及方法。在建筑用电设备物联网环境下应用这种基于数据融合的空调故障诊断方法,克服了传统诊断方法模型难以精确建立的不足,完全基于数据库中的测量数据。若将其应用于建筑物内,特别是在大型的建筑物、超高层建筑内,具有快速便捷的特点和非常高的时效性。同时,本系统也存在不足,比如无线网络的稳定性需要提高、异常数据不能完全剔除等,在下

一步的研究工作中将着重解决这些问题。

参考文献:

[1] 周东华,叶银忠.现代故障诊断与容错控制[M].北京:清华大学出版社,2000.

[2] 冯志红,林志贵,房伟,等.多信息融合电路故障诊断系统设计与开发[J].计算机工程与应用,2009,45(2):92-94.

[3] FRANK P M. Fault diagnosis in dynamics systems using analytical and knowledge-based redundancy: a survey and some new results[J]. Automatica,1990,26(3):459-474.

[4] 周东华,胡艳艳.动态系统的故障诊断技术[J].自动化学报,2009,35(6):748-758.

[5] BEARD R V. Failure accommodation in linear systems through self-reorganization[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology,1971.

[6] MEHRA R K, PESCHON J. An innovation approach to fault detection and diagnosis in dynamics systems[J]. Automatica,1971,7(5):637-640.

[7] WILLSKY A S. A survey of design methods for failure detection in dynamic systems[J]. Automatica,1976,12(6):601-611.

[8] HIMMELBLAU D M. Fault detection and diagnosis in chemical and petrochemical process[M]. Amsterdam: Elsevier Press, 1978.

[9] PATTON R J, FRANK P M, CLARK R N. Issues of fault diagnosis for dynamic systems[M]. London: Springer-Verlag, 2000.

[10] ISERMANN R, BALLE P. Trends in the application of model-based fault detection and diagnosis of technical processes[J]. Control Engineering Practice,1997,5(5):709-719.

[11] WANG Hong, DALEY S. Actuator fault diagnosis: an adaptive observer based approach[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1996,41(7):1073-1078.

[12] 孙卫祥,陈进,伍星,等.基于信息融合的支撑座早期松动故障诊断[J].上海交通大学学报,2006,40(2):239-242.

[13] SAUTER V L. Intuitive decision-making[J]. Communications of the ACM,1999,42(6):109-115.

[14] QUTEISHAT A, LIM C P. A modified fuzzy min-max neural network with rule extraction and its application to fault detection and classification[J]. Applied Soft Computing,2008,8(2):985-995.

[15] SINHA D, LAPLANTE P. A rough set-based approach to handling spatial uncertainty in binary images[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence,2004,17(1):97-110.

[16] SHEN Bin, ZHANG Gui-qing, ZHANG Lin. Multi-agent system design for room energy saving[C]//Proc of the 5th IEEE International Conference on Industrial Electronics and Applications.2010:73-76.

[17] LIU Hai-long, ZHANG Gui-qing, SHEN bin, et al. Wireless sensor networks design for multi-agent systems[C]//Proc of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation.2010:5968-5972.

(上接第 564 页)

[2] SOHN S D, SEONG P H. Quantitative evaluation of safety critical software testability based on fault tree analysis and entropy[J]. Journal of Systems and Software,2004,73(2):351-360.

[3] 李彦锋,杜丽,肖宁,等.汽车驱动桥系统模糊故障树分析研究[J].西安交通大学学报,2009,43(7):110-114.

[4] 宋华,张洪钺,王行仁. T-S 模糊故障树分析方法[J]. 控制与决策,2009,20(8):854-859.

[5] 姚成玉,赵静一.基于 T-S 模型的液压系统模糊故障树分析方法研究[J]. 中国机械工程,2009,20(16):1913-1917.

[6] 徐进永,罗士军,张子达.基于模糊故障树分析法的装载机液压系统故障诊断系统[J]. 吉林大学学报:工学版,2007,37(3):567-

574.

[7] 姚成玉,赵静一.液压系统模糊故障树分析方法研究[J]. 中国机械工程,2007,18(14):1656-1659.

[8] DONG Y H, DONG D T. Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries,2005,18(2):83-88.

[9] FRAGISKOS B, CHRISTINA G. Investigating the cause of biosensor SNR decrease by means of fault tree analysis[C]//Proc of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. 2004:1465-1470.

[10] 易秀明,王尤毅.混凝土泵车[M].长沙:三一重工股份有限公司,2007:85-89.