

图书馆温湿度智能控制系统研究与设计

昌 凯¹ 薛栋梁^{1,2} 孙 强¹ 陈年生¹ 高云伟² 程家林¹

(上海电机学院 上海 201306)¹ (中国科学院计算技术研究所 北京 100190)²

摘要 针对当前高校图书馆智能化建设中温度调控和湿度调控彼此脱节的现象,设计了基于 ZigBee 的温度湿度采集系统,从而研究了某高校图书馆内温度和湿度的相关性,提出了该校图书馆内温度和湿度相互关系的经验公式,进而为综合调控图书馆内温度和湿度建立了理论基础。为解决图书馆内温度和湿度自动调控差的现状,在温湿度采集系统的基础上设计了软硬件协同运作的智能温度湿度控制系统,该系统作为该校图书馆智能化楼宇的建设的子系统已经取得了良好的实际运行效果。

关键词 温湿度采集,温湿度控制,温湿度分析,ZigBee,智能控制系统

中图分类号 TP391.8 **文献标识码** A

Research and Design of Temperature and Humidity Intelligent Control System in Library

CHANG Kai¹ XUE Dong-liang^{1,2} SUN Qiang¹ CHEN Nian-sheng¹ GAO Yun-wei² CHENG Jia-lin¹

(Shanghai Dianji University, Shanghai 201306, China)¹

(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)²

Abstract In view of the phenomenon that temperature and humidity cannot be controlled together in the current university library of intelligent construction, a temperature and humidity acquisition system based on ZigBee was designed, so that the correlation between temperature and humidity in a university library was studied and the experience formula of the relationship between temperature and humidity of the school library was put forward, and then the theoretical basis for the comprehensive control of temperature and humidity within the library was established. In order to solve the current situation that the automatic control of the temperature and humidity in library is bad, the intelligent temperature humidity control system on the basis of the temperature and humidity acquisition system with hardware and software working together was designed. As a subsystem for the construction of intelligent building of the school library, this system has obtained the good actual effect.

Keywords Temperature and humidity collection, Temperature and humidity control, Temperature and humidity analysis, ZigBee, Intelligent control system

1 引言

一般现代模式的图书馆都是一个收集、藏书并且供人查阅资料、学习的地方,是一个脱离了藏、借、阅、管分离的传统模式^[1]的场合。确保一个适宜的图书馆环境的温湿度,既要考虑馆内图书的存储安全环境,还要考虑馆内读者的最佳外在生理环境。目前,图书馆温湿度大多数还处于仅仅依靠于中央空调系统进行手动调节的状态,而且馆内的湿度调节时常被忽略。图书馆管理员只关注温度且只有当室外温度超出特定范围时,管理员才会打开空调进行馆内的温度调节,从而忽略了馆内的湿度调节,而且有时开了空调后,由于温度得不到有效的反馈,常常出现开空调前后的温度差值很大,而导致让图书馆内的读者忍受不了的情况。文献[2]中虽然也讲到了 Zigbee 无线网络在馆藏图书温湿度监控系统中的应用,但

是该监控系统主要完成了无线系统取代传统的有线系统来进行监控系统的设计,并没有设计出一套软硬件协调运作的智能温湿度控制系统;文献[3,4]都讲到了用无线传感器网络对环境温湿度进行监测,但是这两个系统都只体现了数据的采集、传输和显示的功能,并没有根据采集上来的数据进行反向控制;文献[5]讲到了基于无线传感器网络设计了图书馆环境监测系统,只是讲到了无线传感器网络在图书馆的应用,使得监测变得更容易和便捷,且监测的数据能够实时地显示,但是同样没有涉及到控制。

所以根据这些情况,本文设计了一个闭环反馈的图书馆智能温湿度调节系统,它可以对馆内各个地方的温湿度进行采集,使得管理员能够清晰地了解馆内温湿度的情况,同时上位机对采集得到的温湿度数据进行数据库的存储、分析和处理,从而对馆内的温湿度采取相应的调节措施。

本文受国家自然科学基金委员会青年科学基金项目(6140050208),计算机应用技术学科基金项目(13XKJ01)资助。

昌 凯(1991—),男,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络,E-mail:chang8909@163.com;薛栋梁(1982—),男,工程师,主要研究方向为嵌入式操作系统、云计算;孙 强(1974—),男,副教授,主要研究方向为检测技术与自动化装置、工业无线传感器网络、高性能计算技术;陈年生(1967—),男,教授,主要研究方向为计算机应用;高云伟(1980—),男,工程师,主要研究方向为虚拟化、操作系统、无线网络;程家林(1963—),男,高级工程师,主要研究方向为无线网络。

2 温湿度对图书馆的影响

图书馆空气中湿度大对图书是有影响的,因为纸张中的非纤维素成分或残留在纸张中的酸碱、漂白粉等有害物质,在高温、高湿度影响下,会造成纸张的老化和对纸张的纤维发生腐蚀作用,另外潮湿还能造成图书的霉烂和虫蛀。还有地下室的图书如果长期处于高温、低湿的环境中,对图书也有很大的影响,很有可能因为静电产生火灾现象,一旦发生这样的事情,后果会很严重。参照国家档案局《我国档案库房温湿度标准》可将图书馆的图书区的温度控制在 $14\sim 24^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$,相对湿度控制在 $45\%\sim 60\%\pm 5\%$ [6]。

读者或者学习的人在一个温湿度不适宜的环境中学习,会感觉到非常的难受,而且会因此出现各种厌学现象,比如躁动、不安、头痛、压抑,从而导致学习效率特低。实验表明,在室温为 $22^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $40\%\sim 60\%\text{RH}$ 的环境下进行思维活动,有助于提高学习和工作效率 [7]。

所以综合得出了管内的最佳温湿度是室温为 $22^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $40\%\sim 60\%\text{RH}$ 。

3 温湿度采集系统

3.1 温湿度采集系统

温湿度采集系统由温湿度传感器节点和协调器节点构成,系统通过采集节点上的温湿度传感器 DHT11 对环境中的温湿度进行数据采集 [8],然后传感器节点把采集到的温湿度数据通过 ZigBee 协议传输给协调器节点,最后协调器节点把接收到的温湿度数据通过串口线 RS232 传输给 PC 机并在其上面显示及保存,系统的结构框架图如图 1 所示。

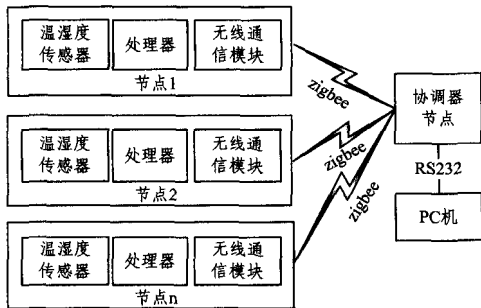


图 1 温湿度采集系统的结构框架图

该采集系统的节点采用了 CC2530 芯片为微处理器,该芯片是 TI 公司推出的兼容 2007 协议的无线射频单片机,可以实现 ZigBee 无线网络的开发。通过组建一个基于 ZigBee 通讯协议的无线传感器网络系统 [9],把组成该网络的传感器节点分布在图书馆各处,对图书馆环境中温湿度数据进行采集 [10]。该系统的传感器节点组成结构如图 2 所示。协调器节点的组成结构和传感器节点相似,就是协调器节点上除了没有温湿度传感器模块,其还比传感器节点多一个串口通信模块,它是通过 RS232 串口线和 PC 机连接,负责接收传感器节点采集来的温湿度数据。

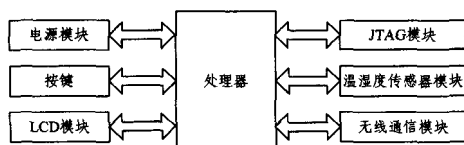


图 2 传感器节点的结构图

本文通过可靠的路由协议 [11,12] 和智能的部署方法 [13] 搭建的星形网络拓扑结构 [14] 对图书馆重要点进行代表性的数据采集工作,这样就可以在同一时间对图书馆多点进行湿温度的采集,从而使得数据更加具有有效性和整体性。

3.2 温湿度数据分析

本文是以本校的图书馆作为采集对象,对本校图书馆同一楼层进行了从 2014.5.6 到 2014.6.6 为期一个月的实地采集工作,本校图书馆是一个具有中国对称特色的建筑,馆内的学习区基本上是沿窗户分布,而图书区基本上是安排在远离窗户、背风背阳的地方。在布置节点进行温湿度采集时考虑了图书馆的对称性,因此就对图书馆的一半进行了数据采集,这一个月,由于还没有到考试周,因此馆内人流量正常,占座率达到 50% 左右,中央空调没有工作,该层的窗户基本打开。本校图书馆的格局是在同一个楼层上学习区和图书区共同存在,馆内中间的地方是中庭,主要用于楼层上下换气。为了能够使得采集到的数据具有代表性,本文在图书馆该层的一半区域选取了 5 个具有代表性的监测点并放置了传感器节点进行湿温度的采集,采集数据过程中有 8 天雨天数据,所以针对这种情况,本文得出了晴天和雨天两种天气的数据。

为了研究馆内湿温度的相关性并求取其之间的经验公式,本文把这个月所有晴天(雨天)每个监测点采集到的温湿度进行了对应时间点的平均值求取,从而得到了 4 种情况下的 5 组对应时间点的平均数据,4 种情况分别为晴天温度、晴天湿度、雨天温度、雨天湿度。

1) 为了能够更清楚地确定图书馆温湿度在晴天和雨天这两种天气里的波动情况,本文分别对晴天(雨天)每个监测点采集到的温湿度对应时间点的平均值数据进行了方差的计算,计算公式如下:

$$S_{zy}^2 = \frac{1}{n} [(z_1 - z)^2 + (z_2 - z)^2 + \dots + (z_n - z)^2] \quad (1)$$

其中, x 为 a, b, c, d ; y 为每种天气下节点采集湿温度的组别 1, 2, 3, 4, 5 及组别平均值; n 为 0~23 的时间点; z_n 为每数组中对应时间点的温度或湿度; z 为每数组中对应时间点的温度或湿度平均值。

从而,求得的方差的数组为:

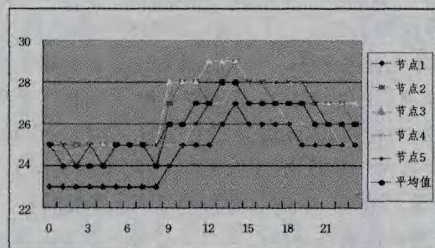
$$\begin{bmatrix} S_{ay} \\ S_{by} \\ S_{cy} \\ S_{dy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.6767 & 1.9167 & 2.5233 & 1.0733 & 1.9433 & 1.6400 \\ 65.1100 & 32.0900 & 1.1600 & 0.6400 & 0.9100 & 1.1667 \\ 0.9733 & 0.4267 & 0.6667 & 0.3333 & 0.0400 & 0.2600 \\ 41.5833 & 38.9933 & 27.7933 & 15.4067 & 21.1600 & 23.6667 \end{bmatrix}$$

其中, a 为晴天温度; b 为晴天湿度; c 为雨天温度; d 为雨天湿度; y 为每种天气下节点采集湿温度的组别 1, 2, 3, 4, 5 及组别平均值。

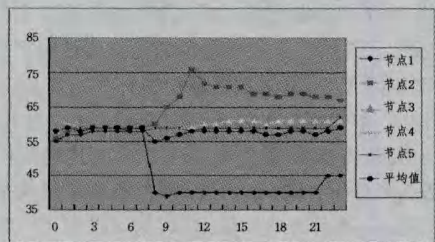
2) 为了能够更形象地观察出图书馆温湿度在晴天和雨天这两种天气里的波动情况,画出了数据对应的折线图,如图 3 所示。

结合由式(1)求得的各组别数据的方差值和图 3(a)、图 3(b)、图 3(c)、图 3(d)可知,不管是晴天还是雨天,图书馆内的 5 个采集点的温湿度在图书馆开馆的 8:00~22:00 时间段内波动很大,而在闭馆的时间段内各采集点采集到的数据基本

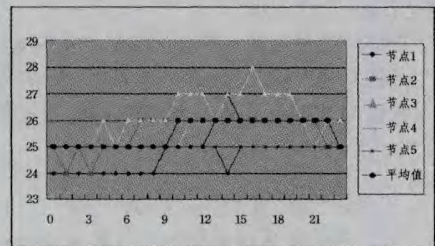
能够维持稳定状态。由图 3(a)、图 3(c)可知,节点 3 采集到的温度值在 5 个节点中相对较高,由图 3(b)、图 3(d)可知,节点 2 采集到的湿度值在 5 个节点中相对较高。虽然这 5 个节点因为所属位置不同而采集到的温湿度各不相同,但是从其平均值来看,两种天气图书馆内的温度值基本保持一致,然而湿度值受天气的影响比较大,雨天的湿度明显比晴天的湿度值要大得多。



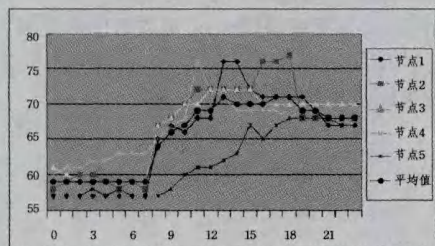
(a)晴天温度的折线图



(b)晴天湿度的折线图



(c)雨天温度的折线图



(d)雨天湿度的折线图

图 3 图书馆内温湿度的折线图

所以通过本文的实地采集的数据及目前实际情况分析来看:1)图书馆内,各个地方的温湿度值存在着一定温湿差,管理员如果只是通过一个局部点的监测来判断是否打开中央空调或加(除)湿机,还是存在着实际的误差问题;2)在一个温度值不算太高的雨天,湿度一般比晴天大得多,但是对管理员来说,不容易直观地感觉出来,从而很容易忽略图书馆的湿度的调节进而对广大读者和图书馆的藏书造成影响。综上所述,针对于目前现代模式的图书馆,设计一套图书馆智能温湿度控制系统是很有必要的。

3)为了能够设计出更能够适合本图书馆的温湿度调节系统,本文对图书馆采集的历史温湿度数据进行了相关性的分析和曲线拟合。

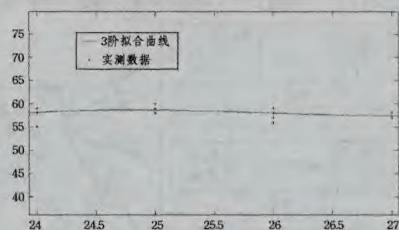
首先,为了能够求出具有代表性的图书馆温湿度特性关系,本文根据式(2)对晴天和雨天这两种类型天气的温湿度平均值之间的相关性进行求解^[15]。

$$r_{\text{相关性}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

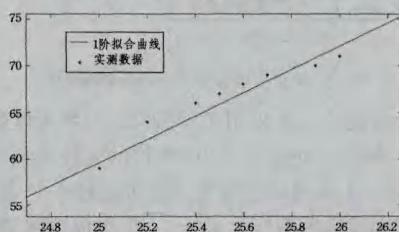
其中, $n=0\sim 23$, x_i 指晴天或雨天的各时间点所有节点对应的平均温度, y_i 指晴天或雨天的各时间点所有节点对应的平均湿度,从而求得 $|r_{\text{晴}}|=0.2109$, $|r_{\text{雨}}|=0.9818$ 。

接下来,本文通过 MATLAB 对晴天和雨天的平均温湿度进行了关系拟合^[16],设温度是自变量 x_i ,湿度值为因变量 y_i ,其中 $y_i = f(x_i)$, $i=0,1,L,23$ 。要求一个函数 $y = S(x)$ 与所给数据 $\{(x_i, y_i), i=0,1,L,23\}$ 拟合, $S(x) = a_0 \phi_0(x) + a_1 \phi_1(x) + \dots + a_n \phi_n(x)$ 且 $\phi_n = x_n$, $(n \leq 23)$,因为晴天的温度和湿度的相关性 $|r_{\text{晴}}| \leq 0.3$,所以晴天的温湿度相关性很弱,故本文对晴天进行了最佳拟合得出了最佳 3 阶拟合曲线,如图 4(a)所示,其函数表达式为: $S(x) = 0.2x^3 - 16.2x^2 + 418.6x - 3545.3$,且当 $x \in (22, 25)$ 时,求得的值域在 $(49, 59)$ 内,即当馆内的温度在 $22^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ 范围时,馆内的相对湿度在 $49\% \sim 59\% \text{RH}$ 范围内;而雨天的温湿度相关性 $|r_{\text{雨}}| \geq 0.9$,相关性很强,故对雨天求得的拟合曲线如图 4(b)所示,其函数表达式为: $S_{\text{雨}}(x) = 12.4716x - 252.1761$,且当 $S_{\text{雨}}(x) \in (40, 60)$ 时,求得的自变量的区间为 $(23, 25)$,即当馆内的相对湿度在 $40\% \sim 60\% \text{RH}$ 范围时,温度在 $23^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ 范围。

通过得出的晴天和雨天的温湿度函数关系式,为综合调控馆内温湿度建立了理论基础,进而为控制器对图书馆内的温湿度调节提供了数据保障。



(a)晴天的温湿度拟合曲线图



(b)雨天的温湿度拟合曲线图

图 4 曲线拟合图

4 温湿度智能控制系统

在温湿度采集系统的基础上设计了该软硬件协同运作的智能温湿度控制系统,该系统主要由温湿度采集部分、上位机部分和被控部分组成,温湿度采集部分已经在上文详细介绍,上位机部分主要是运行在 PC 机上的应用程序,主要为管理员提供一个人性化的人机操作界面,而被控部分则是通过继电器连接在控制节点上的中央空调和加(除)湿机,控制节点也是通过 ZigBee 协议和温湿度采集部分中的协调器相连接,故控制节点和传感器节点处于同一个无线传感器网络中,

控制系统网络设计方案示意图如图 5 所示。

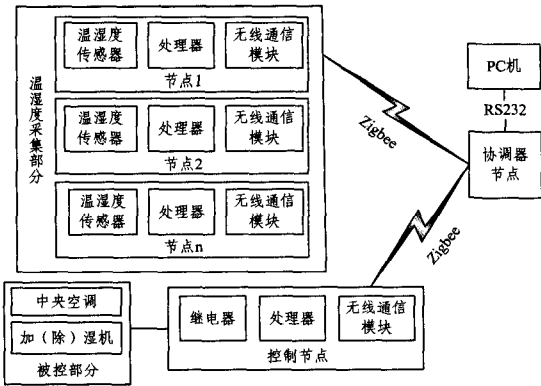


图 5 控制系统网络设计方案示意图

该系统的硬件部分——温湿度采集部分已经在上文详细给出,而该系统的控制节点的处理器和传感器节点一样都是采用 CC2530 微处理器,该节点上没有温湿度传感器而是继电器,其他的模块和传感器节点一样。被控部分则是通过继电器连接在控制节点上的中央空调和加(除)湿机,当采集部分的传感器节点把采集到的温湿度数据通过协调器传给 PC 机时,PC 机进行存储、分析处理并判断是否发出控制命令给控制节点,当控制节点收到协调器发来的控制命令,其便会进行相应动作的执行,同时向协调器发送反馈信息。

该系统节点的软件设计是在 TI-ZStack 的基础上进行对 CC2530 芯片及温湿度传感器 DHT11 程序的开发,从而建立与实现了无线传感器网络的设计^[17]。协调器节点通电初始化后进行网络的建立,给加入网络的节点分配 ID 地址,把各节点发送过来的温湿度数据通过串口发送给 PC 机,当采集到的数据经过分析超出了设定值时,PC 机就通过协调器给控制节点发送控制命令来完成相应的操作,同时给协调器发送一个反馈信息;传感器节点在通电初始化后加入网络,当时间间隔到,节点从休眠模式转到工作状态开始采集数据并查询可用信道发送给协调器;控制节点在通电初始化并加入网络后,就处于休眠模式,直到收到协调器发来的控制命令激活后进行相应动作的操作。

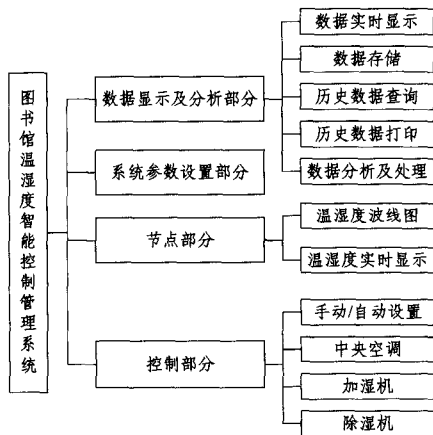


图 6 图书馆温湿度智能控制管理系统功能块图

该系统的上位机管理系统包含数据显示及分析部分、系统参数设置部分、节点部分、控制部分 4 大功能模块^[18],在控制部分有手动和自动的模式选择,可以让管理员轻松地完成馆内温湿度的管理工作,具体的上位机监控软件功能模块如图 6 所示。

结束语 实验表明,图书馆安置了该温湿度智能控制系

统,在中央空调工作的期间能够很好地进行温湿度反馈,从而帮助中央空调进行温湿度的调节,且在最容易忽略湿度的春秋温度适中的季节里或者是连续阴雨天气里,能够借助加(除)湿机进行馆内的湿度调节,进而帮助图书馆处于一个既有利于图书又有利于读者的适宜的温湿度环境中。

参考文献

- [1] 黄胜,魏春雨. 浅议现代高校图书馆建筑设计——以上海机电学院临港校区图书馆为例[J]. 中外建筑,2009(12):87-88
- [2] 徐泽清. ZigBee 无线网络在馆藏图书温湿度监控系统中的应用[J]. 黑龙江工程学院学报,2011,12(4):67-71
- [3] Nayak K, Nanda K, Dwarakanath T, et al. Data Centre Monitoring and Alerting System using WSN[C]// International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies(IEEE CONECCCT), 2014. 2014:1-5
- [4] Zhao Jin, Lian Xiao-qin, Wu Ye-lan, et al. Design of wireless temperature and humidity data collection system based on MSP430 and CC2530[C]// 2012 3rd International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization(ICSEM), 2012:193-195
- [5] Liu Yong-min, Lu Wu-yi. A Library's Environmental Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks[C]// International Conference on Networking and Digital Society, 2009(IC-NDS'09). 2009:145-148
- [6] 孟朝阳. 纸张老化检验的新方法[J]. 档案与建设, 2009(12):13-15
- [7] 朱怀宁. 图书馆内温湿度的控制[J]. 中华医学图书馆情报杂志, 2003,12(6):25-27
- [8] 卜永波,罗小玲,陈一. 基于 DHT11 传感器的温湿度采集系统[J]. 计算机与现代化,2013,11(219):133-135
- [9] Yang Chen-wei, Liu Dao, Yao Dun-ping, et al. Design of Monitor-and-control System for Supermarket Fresh Area Based on ZigBee[C]// International Conference on Electric Information and Control Engineering(ICEICE), 2011. 2011:1302-1305
- [10] 赵金燕,杨秀娟,郎云雯,等. 基于 ZigBee 技术的温湿度采集系统设计[J]. 电子设计工程,2013,3(6):15-17
- [11] Chen Jiann-liang, Ma Yi-wei, Hsu Yu-ming, et al. Adaptive routing protocol for reliable wireless sensor networking[C]// 2010 The 12th International Conference on Advanced Communication Technology(ICAICT), 2010:358-363
- [12] Mansour S, Nasser N, Karim L, et al. Wireless Sensor Network-based air quality monitoring system[C]// 2014 International Conference on Computing, Networking and Communications(ICNC), 2014 :545-550
- [13] 李燕君,潘建. 无线传感器网络的节点智能部署方法研究[J]. 计算机科学,2012,39(8):115-118,135
- [14] 王汝传,孙力娟. 无线传感器网络技术导论[M]. 北京:清华大学出版社,2012
- [15] 郭红霞. 相关系数及其应用[J]. 武警工程学院学报,2010,26(2):3-5
- [16] Jain M B, Nigam M K, Tiwari P C. Curve fitting and regression line method based seasonal short term load forecasting[C]// 2012 World Congress on Information and Communication Technologies(WICT), 2012:332-337
- [17] 王小强,欧阳俊,等. ZigBee 无线传感器网络设计与实现[M]. 北京:化学工业出版社,2012
- [18] Willis T, Newsome B. Visual Basic 2010[M]. Tsinghua University Press, 2011