

基于 Zigbee 和 MEMS 的物联网综合实验研究

周 亮, 吴 昊, 林水生

(电子科技大学 通信与信息工程学院, 四川 成都 611731)

摘 要: 物联网是近年我国的新兴产业, 高校相关实验室的建设存在内容单一, 缺乏系统整体性等缺点。为使學生全面掌握物联网系统相关知识, 提高物联网相关技术综合开发能力, 针对物联网中信息的采集、传输、处理、应用等环节, 以 Zigbee 和 MEMS 技术为基础, 围绕运动姿态检测、目标定位跟踪、智能控制等方面开展了物联网综合实验的研究。此综合实验涵盖面广泛, 设计思路新颖, 实验现象生动形象, 既能培养学生的创新思维, 又能提高其创新实践的能力, 使学生更全面地掌握物联网系统技术。

关键词: 综合实验; 姿态检测目标; 智能控制; 物联网

中图分类号: G642.0 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-4956(2014)5-0203-04

Research on comprehensive experiments of Internet of things based on Zigbee and MEMS

Zhou Liang, Wu Hao, Lin Shuisheng

(School of Communication and Information Engineering of UESTC, Chengdu 611731, China)

Abstract: The Internet of things (IOT) is the strategic emerging industry in our country in recent years, while the insufficiency of system integrity exists in university professional laboratory construction significantly. In order to enable students to learn the IOT technology systematically as well as improve the abilities of creative thinking and application technology development, a set of experimental system of IOT based on Zigbee and MEMS is presented. The collection, transmission, processing and application of variety of information are contained in this system. Gesture measuring experiment, target localization and tracking experiment, intelligent control experiment are designed with the system. Wide ranges of technology are covered and vivid phenomena are emerged from all the experiments. Creative thinking and innovative practice ability of students can be achieved through this experiment system.

Key words: comprehensive experiment; gesture measuring; intelligent control; Internet of things

物联网(Internet of things, IOT)的出现是互联网后信息技术的又一重大突破, 它将网络从人与人之间的信息交互扩展到物与物、人与物的信息交互, 大大提高了社会信息化水平^[1]。物联网技术和产业的发展将引发新一轮信息技术革命和产业革命, 是信息产业领域未来竞争的制高点和产业升级的核心驱动力^[2]。为落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》, 推进“卓越工程师教育培养计划”开展, 创建高校和行业企业联合培养人才的新机制, 加强高校工程实践教学教育, 培养适应行业企业需求的工程人才, 物联网工程专业必须从一开始就要加强工程能力的培

养, 特别是要注重培养学生的创新思维, 并提高其创新实践的能力。

随着物联网产业的高速发展和应用市场的逐步开拓, 开展物联网技术相关的课程已成为高等院校势在必行的举措, 通过物联网相关实验课程, 可以使学生理解物联网感知层、传输层、信息处理应用层常用技术和设备^[3]。目前各高校随着技术快速发展逐步展开了物联网相关专业的建设, 但实验室的建设明显存在不足和滞后。绝大多实验仍然是以实验箱为平台, 动手空间很小, 不利于培养学生的创新能力^[4]。为了使學生能够全面掌握物联网系统的相关知识, 提高学生的应用技术开发能力, 针对物联网中信息的采集、传输、处理、应用等环节, 本文围绕运动姿态检测、智能化传感信息融合、目标定位跟踪等方面开展了物联网综合实验的设计和 research。

收稿日期: 2013-10-25

作者简介: 周亮(1979—), 男, 四川资中, 硕士, 讲师, 主要研究方向为无线传感器网络及通信集成电路设计。

E-mail: zlzl@uestc.edu.cn

1 Zigbee 及 MEMS 技术在物联网中的应用

Zigbee 是一种短距离、低功耗、低速率、组网灵活的无线通信技术^[5-7],适用于传输数据量小、功耗要求较为苛刻、实时性要求较低、网络节点要求较多的场合。Zigbee 具有 3 种拓扑结构,其中网状拓扑结构特别适用于物联网,并且具备自组织、自愈功能,其鲁棒性很强。目前该技术已经广泛应用于物联网之中。本综合实验系统采用 Zigbee 协议以实现无线自组织网络通信。

MEMS 器件和系统具有体积小、重量轻、功耗低等优点,在航空、航天、汽车、生物医学等诸多领域有着十分广阔的应用前景^[8]。由于其体积小、抗冲击、可靠性高、寿命长、成本低,是一类非常适于构建微型捷联惯性导航系统的惯性传感器^[9]。目前常见的 MEMS 惯导传感器有加速度传感器和陀螺仪等。在物联网设备中,通常会受到体积、功耗等方面的限制,因此常规传感器很难集成于其中,而 MEMS 则非常适合于物联网设备。传感技术是物联网的基础技术之一。本综合实验系统使用了多类 MEMS 运动传感器件,以实时获取运动目标的姿态信息。

2 综合实验系统结构

本物联网综合实验系统主要包括硬件平台、软件资源和实验资源三大部分。其系统结构如图 1 所示。

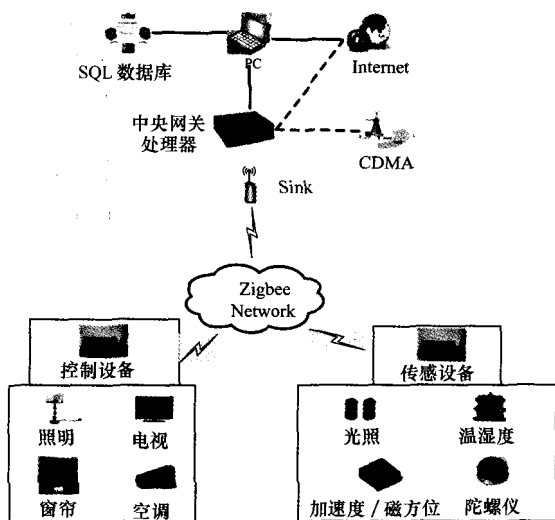


图 1 物联网综合实验系统结构图

硬件平台主要由中央网关处理器、传感设备和控制设备等组成,它们通过 Zigbee 无线信道相互连接,并以多跳自组织形式相互通信。中央网关处理器采用高性能 ARM 处理器作为核心,集成了多种外设接口,便于功能性扩展。中央网关处理器可以通过有线或无

线的方式接入 Internet,达到远程控制的目的。传感设备和控制设备中的无线通信节点均采用 TI CC2431 低功耗处理器。传感设备中除包含温、湿度传感器等常规传感器外,还包括加速度传感器、陀螺仪、磁方位传感器等 MEMS 运动传感器,为运动姿态检测提供基本硬件支持。控制设备中包括照明控制、电动窗帘控制等。

软件资源主要包括自组织网络协议栈、嵌入式网关软件、嵌入式节点软件、SQL 数据库及各类图形化信息反演、管理、控制软件。

为使学生能够综合地学习物联网中信息的采集、传输、处理、应用等,基于以上平台和资源开发了多套典型实验,包括运动信息传感及姿态反演实验、物联网定位实验和智能控制实验等。

3 物联网实验设计

运动信息传感及姿态反演实验是利用物联网中相应的运动信息传感器采集信息,并通过 Zigbee 无线通信方式进行数据传输,在网关平台上进行误差修正和数据融合,实时反演物体的运动姿态。本实验侧重于运动信息的采集与处理,可以锻炼学生对物联网中多类数据融合的能力。

物联网定位实验使用射频传输的 RSSI 信息,利用无线信道传播模型进行移动节点的定位与跟踪,侧重于定位信息的自组网传输和定位跟踪算法的研究,可以锻炼学生对在物联网中开发自组织网络的能力,并提高其处理数据的能力。

智能控制实验利用光照等传感信息,对多组终端设备进行远程智能控制,侧重于物联网系统整体的组网原理和数据通信机制,锻炼学生从宏观上把握物联网系统智能控制和远程控制的优势。

3.1 运动信息传感及姿态反演实验

掌握各类运动姿态传感器的工作原理,实现传感器数据的采集,并对多传感器数据进行融合,完成物体运动姿态的反演。

在该实验中,运动信息采集节点负责运动信息的采集,并将采集到数据通过无线传感器网络发送给汇聚节点,汇聚节点再将接收到的数据发送给中央网关处理器,在网关平台上实现传感误差修正、数据融合以及运动姿态的反演。

运动信息的获取主要由终端采集节点完成。加速度传感器和磁方位传感器使用 I2C 接口,陀螺仪使用 ADC 接口与节点处理器 CC2431 连接。获取传感数据的流程如图 2 所示。当程序开始运行时,首先完成系统时钟、射频及接口的初始化,接下来配置传感器的参数,配置成功后各传感器开始工作,每隔 100 ms 采

集一次各传感器的数据,并将采集到的传感数据通过射频接口发出。

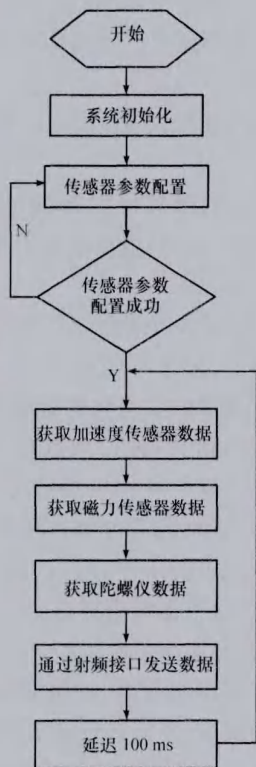


图2 传感数据采集流程图

在导航系统中通常利用俯仰角、翻滚角和航偏角对一个物体在空中的姿态进行描述。由于传感器器件本身存在的误差及安装误差等,导致测量结果不准确,因此在传感器初始化时通常要进行定标处理,其方法可参考文献[10]。此外,由于运动等因素的影响,单独利用加速度传感器或磁方位传感器的数据计算载体的姿态的精度较差,而单独利用陀螺仪的数据,通过积分计算出姿态角也存在累积误差等问题。对于这种情况,通常采用的方法是卡尔曼滤波法,但是卡尔曼滤波法的收敛速度慢,对处理器的速度有较高的要求,并且实现复杂度高。而互补滤波法^[11-12]结构简单,易于实现,很好地解决了加速度传感器和磁方位传感器的抖动误差以及陀螺仪累积误差的问题。

互补滤波器的结构框图如图3所示。首先,加速度传感器和磁方位传感器的数据通过低通滤波器滤除高频的抖动噪声,之后计算得到姿态角,同时,陀螺仪的数据经过积分得到姿态角,并通过高通滤波器滤除低频漂移噪声。然后将得到的这2组数据加权平均得到最优化的姿态角结果。此外,根据加速度传感器的数据,可以利用计步器原理,粗略地推算出运动轨迹。最终得到的运动姿态反演的效果如图4所示。

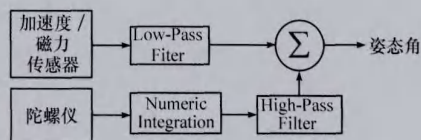


图3 互补滤波器结构图

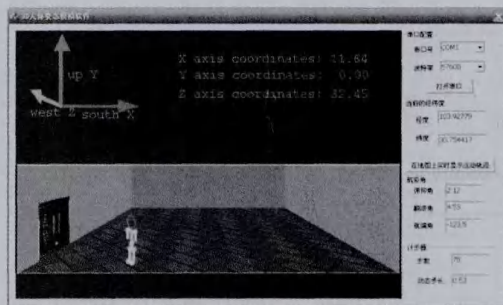


图4 运动姿态反演效果图

3.2 物联网定位实验

学习无线信道传播模型,掌握 RSSI(received signal strength indicator)测距基本原理,利用最小二乘估计等算法实现基于测距的物联网定位。

基于 RSSI 的测距方法简单,无需增加专用测距部件,因此被广泛地应用于各类无线定位系统中^[13-14]。本实验系统利用多个节点组成定位网络,主要由参考节点和盲节点组成,通过获取接收信号强度值 RSSI 来确定目标位置信息。参考节点预知自身位置并可将位置信息通过自组织网络传输至其他节点,盲节点为需要被定位的节点。网络布置时,需确保盲节点能收到 3 个或 3 个以上的参考节点信号。

基于 RSSI 的测距原理是已知参考节点的发射功率,盲节点根据接收到的信号强度值,计算出信号传播损耗,使用理论或经验的信号传播模型将传播损耗反演为距离。在实际应用中,普遍采用的信号传播模型是 Shadowing 模型:

$$P_d = P_{d0} - 10n \lg(d/d_0) + \xi_\sigma \quad (1)$$

其中, P_d 是信号传播 d m 后的接收功率, d_0 是参考距离,一般取 1 m, n 是与环境有关的路径损耗指数, ξ_σ 是标准偏差为 σ 的零均值正态分布随机变量。令 $A = P_{d0} + \xi_\sigma$, 则可得距离 $d = 10^{\frac{A - P_d}{10n}}$ 。 A, n 可通过预先测量节点间的距离以及接收到的信号强度值进行距离-损耗模型拟合得到。假定,盲节点可测得 $m(m \geq 3)$ 个参考节点的信号强度值,根据信号传播模型,则可获得盲节点到这些参考节点的距离,分别为 r_1, r_2, \dots, r_m 。通过最大似然估计法对盲节点的位置进行计算。假定该 m 个锚节点,坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)$, 盲节点坐标为 (x, y) , 利用最小二乘估计法

即可得到盲节点坐标: $\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b}$, 其中:

$$\mathbf{A} = -2 \begin{bmatrix} x_1 - x_m & y_1 - y_m \\ \vdots & \vdots \\ x_{m-1} - x_m & y_{m-1} - y_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} r_1^2 - r_m^2 - x_1^2 - y_1^2 + x_m^2 + y_m^2 \\ r_{m-1}^2 - r_m^2 - x_{m-1}^2 - y_{m-1}^2 + x_m^2 + y_m^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

结合以上算法实现物联网定位系统工作流程,如图5所示。



图5 定位系统工作流程图

(1) 汇聚节点作为协调器组建一个 Zigbee 网络,所有节点加入该网络。

(2) 盲节点广播一系列 RSSI Blast 信号,在该数据包中设定跳数为 1,确保只有一跳范围内的参考节点收到此数据包。

(3) 收到该广播信号的参考节点对接收到的 RSSI 值作处理。由于受到多径、绕射、障碍物等不稳定因素的影响,RSSI 会出现一定幅度的扰动,因此各参考节点使用高斯滤波法选取高概率的 RSSI 值,然后求取几何平均以减少小概率事件对整体测量结果的干扰。

(4) 盲节点发送 RSSI 请求信号,参考节点将处理过的 RSSI 连同自身位置信息打包发送给盲节点。

(5) 盲节点将从各个参考节点收到的数据打包,发送给汇聚节点。

(6) 汇聚节点将数据传送到中央网关处理器,由中央网关处理器执行定位算法并给出定位结果。

3.3 智能控制实验

学习物联网系统的组网原理,理解数据通信的机制,掌握基本的智能反馈控制和编程方法。在实验过程中可通过中央处理平台观察控制设备和传感设备的人网情况和拓扑形成,同时还可进行手动控制或通过传感器智能反馈控制相关的电器设备。

在实验系统中,传感设备和控制设备通过 Zigbee 网络与汇聚节点进行通信,中央网关处理器负责后台

的数据处理与前台的控制命令下发。智能控制工作流程如下:

(1) 各传感器设备与汇聚节点形成自组织网络;

(2) 由传感器节点完成数据采集并通过自组织网络传送至汇聚节点;

(3) 汇聚节点进行数据融合之后将数据传送至中央网关处理器;

(4) 中央网关处理器使用 SQL 数据库进行传感数据的存储、处理与分析,然后通过汇聚节点发送各类命令至控制节点;

(5) 各控制节点接收到命令后利用控制电路对各对象(例如:照明灯、窗帘等)进行控制。

中央网关处理器的应用软件能够显示出当前加入到网络中的各节点信息,包括节点数、ID 编号和采集到的数据等情况。学生可以根据所接收的信息,实时地得知房间中的光照、温湿度等环境状况。应用软件能够记录保存各节点的历史数据,方便查询实时数据和历史数据。此外,根据室内环境的实际需要,可以设置光照的阈值,超过该阈值的时候,应用软件根据设置的阈值发出相应的控制命令,控制照明灯或电动窗帘进行环境指标的调节,使得环境调节智能化。图6、图7分别为客户端节点拓扑控制界面和传感器信息查询界面。

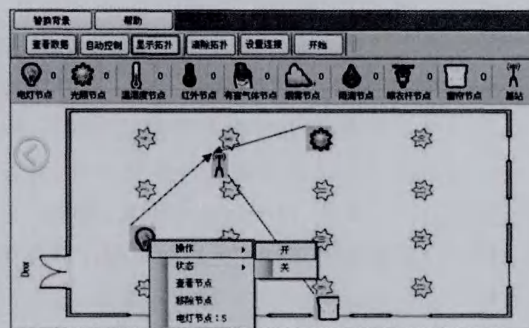


图6 控制软件界面

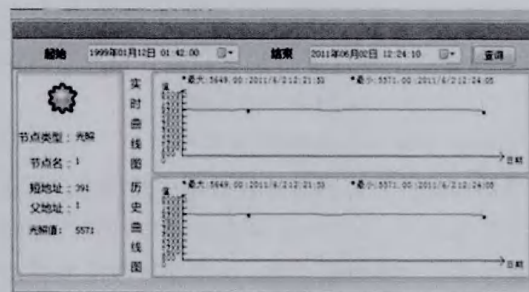


图7 传感器信息查询界面

(下转第 218 页)

化学实验的兴趣。大综合的 10 号实验除了让他们感到难度大而且收获大以外,同时也让他们感到趣味横生。具有绚丽颜色变化的元素性质和彩色产品的制备实验也在一定程度上吸引着学生的注意力。

5 结束语

通过合理安排实验顺序、加大实验的综合化程度、把实验步骤进行模糊化处理、让学生按照已有知识完全独立设计实验步骤、在教学中让学生成为课前讲解主体等,这一系列循序渐进的教学实践,可以有效地强化学生在教学活动中的思维水平,增强学生在教学中的思考程度,同时可以逐步培养学生的批判性思维能力和口头与书面表达能力,有效地提高了实验教学的质量。

参考文献(References)

- [1] 德雷克·博克. 回归大学之道[M]. 上海:华东师范大学出版社, 2008:96.
- [2] 刘丹. 美国斯坦福大学校长揭秘高等教育人才培养之道[EB/OL]. [2010-04-10]. <http://www.chinanews.com/edu/edu-tszz/news/2010/04-10/2217915.shtml>.
- [3] 蔡蕴琦, 张琳. 斯坦福大学校长:中国建成世界一流大学还需 20 年

[EB/OL]. [2010-05-03]. <http://www.chinanews.com/edu/edu-xyztc/news/2010/05-03/2259551.shtml>.

- [4] 黄朝阳. 我国高校学生批判性思维能力调查报告[D]. 厦门:厦门大学, 2008.
- [5] 张梅, 印勇. 美国批判性思维研究及其启示[J]. 重庆大学学报:社会科学版, 2012, 18(6):154-157.
- [6] 孙亮. 大学生批判性思维能力培育的重要性及对策分析[J]. 中国成人教育, 2012, 307(8): 51-53.
- [7] 李迎新, 孙燕. 大学英语教学与批判性思维培养[J]. 河北师范大学学报:教育科学版, 2011, 13(7): 103-106.
- [8] 李文婧, 傅海伦. 数学批判性思维的影响因素及其培养[J]. 中国成人教育, 2012, 307(18): 124-125.
- [9] 潘家明. 批判性阅读教学与批判性思维能力培养[J]. 教育探索, 2009, 213(3):121-123.
- [10] 韩少杰, 王小英. 英语专业精读教学与学生批判性思维能力的培养[J]. 外语教学, 2009, 30(6): 67-70.
- [11] 邵文泽. 浅谈批判性思维培养与主动性知识建构在当代高等教育中的核心地位[J]. 大学教育, 2013, 26(14):41-42.
- [12] 秦海宏, 葛伟, 孙雪洁. PBL 教学法在实验教学中对学生批判性思维能力的培养[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(6):121-123.
- [13] 李花丽. 理工科院校英语专业的基础英语教学与批判性思维能力的培养[J]. 北京邮电大学学报:社会科学版, 2013, 15(2): 106-110.
- [14] 古国榜, 展树中, 李朴. 无机化学实验[M]. 北京:化学工业出版社, 2010.

(上接第 206 页)

4 结束语

本物联网综合实验系统涵盖面广,设计思路新颖,实验现象生动形象,让学生从基本的实验入手,逐步了解面向应用的物联网系统架构,从简单的演示性实验到最终全面设计复杂的应用,涉及到了物联网的各个层面,极大地发挥了学生的自主创新能力,培养了学生的工程实践能力,使学生更全面地掌握物联网系统技术,为其今后的研究及开发工作奠定了基础。

参考文献(References)

- [1] 李天松, 周海燕, 蔡成林. 北斗导航与物联网的联合实验室建设[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(6):158-162.
- [2] 黄峥, 古鹏. 物联网实验室建设研究与探讨[J]. 实验技术与管理, 2012, 29(2):191-195.
- [3] 秦磊华, 张海珍, 石柯, 等. 物联网导论课程实验教学探究[J]. 实验室研究与探索, 2012, 31(6):150-151.
- [4] 闫春娟. 物联网专业实验室的创新建设[J]. 高校实验室工作研究,

2012(2):89-91.

- [5] 周怡颐, 凌志浩, 吴勤勤. Zigbee 无线通信技术及其应用探讨[J]. 自动化仪表, 2005, 26(6): 5-9.
- [6] 原羿, 苏鸿根. 基于 Zigbee 技术的无线网络应用研究[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(6):89-91.
- [7] 顾瑞红, 张宏科. 基于 Zigbee 的无线网络技术及其应用[J]. 电子技术应用, 2005(6):1-3.
- [8] 张威, 张大成, 王阳元. MEMS 概况及发展趋势[J]. 微纳电子技术, 2002(1):22-27.
- [9] 李荣冰, 刘建业, 曾庆化, 等. 基于 MEMS 技术的微型惯性导航系统的发展现状[J]. 中国惯性技术学报, 2004, 12(6):88-94.
- [10] 彭孝东, 陈瑜, 李继宇, 等. MEMS 三轴数字陀螺仪标定方法研究[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(6):63-69.
- [11] 梁延德, 程敏, 何福本, 等. 基于互补滤波器的四旋翼飞行器姿态解算[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(11): 56-61.
- [12] 郭晓鸿, 杨忠, 陈喆, 等. EKF 和互补滤波器在飞行姿态确定中的应用[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(11):149-152.
- [13] 董梅, 杨曾, 张健, 等. 基于信号强度的无线局域网定位技术[J]. 计算机应用, 2004, 24(12):49-52.
- [14] 杨维, 周嗣勇, 乔华. 煤矿安全监测无线传感器网络节点定位技术[J]. 煤炭学报, 2007, 32(6):652-656.