

# 基于 ZigBee 无线传感器网络的实验室智能教学系统<sup>①</sup>

徐向艺, 王建玺

(平顶山学院 软件学院, 平顶山 467002)

**摘要:** 针对教育中由于缺乏记录数据而无法分析学生成绩导致在动手能力经验培养上花费太高的问题, 设计了一种基于 ZigBee 无线传感网络的实验室智能教学系统. 首先, 基于嵌入式操作系统 TinyOS 设计了无线传感网络节点; 然后, 设计了采集仪和协调器; 最后, 利用本文设计的系统对 80 名学生进行了实验, 实验及分析结果表明, 无线传感器网络学习环境明显有助于实验课程, 学生成绩有了明显提高, 相比高分组学生, 低分组学生的成绩提高更为明显.

**关键词:** 实验室管理; ZigBee; 无线传感器网络; 智能教学; 采集仪; 协调器

## Intelligent Tutoring System of Laboratory Based on Wireless Sensor Networks with ZigBee

XU Xiang-Yi, WANG Jian-Xi

(School of Software Engineering, Pingdingshan University, Pingdingshan 467002, China)

**Abstract:** It is difficult to analyze students' score because of lacking recorded data, which will cause high costs in practical hands-on training of education. To address this problem, an intelligent tutoring system based on wireless sensor networks with ZigBee is designed. Firstly, nodes of WSN based on embedded operating system TinyOS are designed. Then, collector and coordinator are designed. Finally, experiments are done on 80 students with designed system in this paper. Experimental and analysis results show that a learning environment where wireless sensor networks provide a significant degree of support during laboratory sessions, student performance had significantly improved, and this has been proven evidently for the students in the low-achievement group when being compared to the results delivered by the students in the high-achievement group.

**Key words:** tutoring in laboratory; ZigBee; wireless sensor networks; laboratory inquiry skills; intelligent teaching; collector; coordinator

大多数技术教育依赖于“菜谱”导向的实验, 即提供给学生技术问题、解决问题的程序、预期的实验结果, 甚至解释得到的结果<sup>[1,2]</sup>. 相比之下, 自主学习是鼓励学生在教学系统的帮助下归纳学习, 这种方法让学生有更多的自由可以拿出自己的问题进行调查, 制定一个实验过程, 并根据自己的想法决定如何解释结果<sup>[3,4]</sup>. 文献[5]指出, 至少有 6 种认知技能在成功的自主学习中是特别重要的, 他们是目标设定技能、处理技能、其他认知技能、在主题或密切相关领域的能

或资质、决策能力和自我意识. 有效或成功的自主学习依赖于信息收集、信息监控、学生的处理过程及其他认知活动、他们对信息做出反应的方式. 计算机和互联网技术的发展使人们几乎可以在任何地方任意时间以自己的步调获取学习内容. 学生依赖他的心智模式给出他对所学内容的自己的理解. 使用用户交互数据和直接提问技术<sup>[6]</sup>, 这种智能导师, 通过构建能反映由知名专家感知的现实的心智模式帮助学生理解复杂的技术现象, 同时尽量减少包含重大误解的模型.

<sup>①</sup> 基金项目: 国家自然科学基金(U1204611); 河南省科技厅科技发展计划(134300510037)

收稿时间: 2014-10-24; 收到修改稿时间: 2014-12-17

尽管自主电子学习关注于以自己的步调从事教育或课外学习的独立学习者,但是可以通过了解学生理解的状态给出适当的个别辅导.智能辅导方式,即无线传感器网络,能提供实现合适辅导必要的信息<sup>[7]</sup>.随着近年来微机电系统(MEMS)<sup>[8]</sup>和无线通信技术<sup>[9]</sup>进步,产生了实验室的无线传感器网络,并改变我们的生活.无线传感器网络因其自组织和易配置性比传统的有线传感系统更具吸引力、更有效,这种新技术,通过连接物理世界到通信网络,扩大了传感能力,也扩展了应用范围<sup>[10]</sup>.传感器网络集成了传感器技术、分布式计算和无线通信技术.该网络可以嵌入到物理环境中用于传感、收集数据、处理监控对象的信息并传输处理的信息给<sup>[11]</sup>用户.传感器节点的硬件体系结构由五个部分组成:传感硬件、处理器、存储器、电源和收发器<sup>[12]</sup>.在许多应用中,传感器网络工作分三个阶段进行:第一阶段,传感器进行测量,在某一特定时间形成信号字段的快照,本地存储测量结果;第二阶段,通过信息检索收集来自各个传感器的数据;最后一个阶段对来自传感器的数据以特定的性能指标进行集中处理<sup>[13]</sup>.这种网络由许多微小的低功耗节点、执行器、传感设备和无线收发器组合而成,可以在一个感兴趣的区域大规模部署这些传感器节点来收集和处环境信息.同时,由于无线传感器网络的快速增长,无处不在(或移动)技术及其应用催生了广泛的编程研究<sup>[14,15]</sup>.

基于上述分析,为了更好地检测学生的实验技能和学习倾向,设计了一种基于 ZigBee 无线传感网络的实验室智能管理系统,为了获得测试前后的分数,制定了两套包括各个方面的问卷,实验及分析结果表明了提出方案的可行性.

## 1 无线传感器网络教学

无线传感器网络技术通过连接物理世界到现有网络空间的通信网络来扩大传感能力.为了利用 MEMS 技术<sup>[16]</sup>帮助学生自主学习,需要在实验室中部署多个传感器设备收集学生运动的实时信息和机器运行状况.在这项研究中采用 Zigbee 模块构建无线传感器网络,整体系统架构由 Web 摄像头、Zigbee 加密狗(基节点)、服务器和无线传感器节点组成.无线传感器节点组成的两个关键部分,称为静态节点和移动节点.静态传感器节点分散在实验室中,它们形成一个多跳网状网

络拓扑结构,静态节点的一个关键作用是将所有来自移动节点的数据包传回给加密狗,它的另一个关键作用是本地化提供足够数量的锚点.这些传感器节点中的每一个都有数据收集和点对点路由数据到 Zigbee 加密狗的能力.Zigbee 加密狗用来桥接传感器网络到互联网,互联网能提供一个串行接口和节点编程与数据传输的无线连接.服务器连接到互联网使远程用户能访问实验室监测系统,移动节点是学生穿在身上的一个加速度计,用于监视学生在室内环境中的运动和位置.

在实验和实践的过程中,学生几乎总是需要操作机器和手动调整参数,此外,有一些机器也要求学生踏板并以这种方式调整加工参数.因此,将超薄力传感单元(0.127 毫米)嵌入 ZigBee 节点,整合成柔力传感器,然后安装手柄和踏板,如图 1 所示为 Zigbee 无线传感器网络实物图.

图 1 Zigbee 无线传感器网络实物图

在实验和实践中学生能否正确使用工具是需要讨论的主题.因此,研究计划将 PIR325 红外线检测单元与 Zigbee 节点连接,形成无线红外传感器,安装在工具盒上.ZigBee 节点将与一个以三轴微机电系统为基础的加速度计连接,这样就建成了一种无线加速度计装置,测量适当的加速度,将可检测的加速度的大小和方向作为一个向量.当传感器穿在学生身上时,不仅可以检测出他们在实验室内的运动,也记录了他们在同一时间的活动.

## 2 研究目的

### 2.1 研究问题

这项研究的目标包括:

问题 1. 在课程中给予学生即时辅导,其中实验由无线传感器网络执行,培养学生能力的效果可以从实验的输出结果调查得到.

问题 2. 当学生进行了有无线传感器网络的实验后,他们的实验技能在哪些方面得到改善?

问题 3. 当使用了无线传感器网络指导学生实验后,学生的学习倾向.

### 2.2 研究假设

基于前面的研究动机与研究目的,研究制定了以

下假设:

研究假设 1: 在接受投入使用的无线传感器网络的辅导之后, 30% 的低成绩学生提高了他们的实验技能.

研究假设 2: 在接受投入使用的无线传感器网络的辅导之后, 30% 的高成绩学生发现自己的实验技能保持不变.

### 3 系统设计与实现

#### 3.1 系统构成

无线传感网络节点主要由数字处理模块和射频模块组成, 针对基于无线传感网络的层次路由协议、多通道应变数据采集、网络簇头转发和中继节点接收等主要软件模块进行了研究, 主要程序流程如图 2 所示.

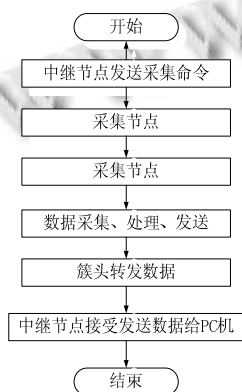


图 2 无线传感网络程序流程

无线传感网络子系统节点软件的设计在新型操作系统 TinyOS 内完成. TinyOS 是一种面向传感器网络的嵌入式操作系统, 是基于组件的架构方式, 支持组件化编程的 nesC 语言, 实现了用最少的硬件支持网络传感器的并发密集操作.

主要在以下 3 处做了相应的改善, 在保证网络正常工作的前提下, 尽量节省能量: ①采集节点接受到中继节点的采集命令才去执行采集实验数据的功能, 否则处于休眠状态节省能量; ②节点发送状态下的能量消耗远大于其他状态下的能量消耗, 所以软件中采集到的实验数据要经过数据处理再发送, 减少通信量而节省能量; ③能量消耗和距离的平方成正比, 网络结构采用层次结构、多跳转发的路由方式, 避免长距离传输, 达到节省能量的目的.

系统硬件结构图如图 3 所示.

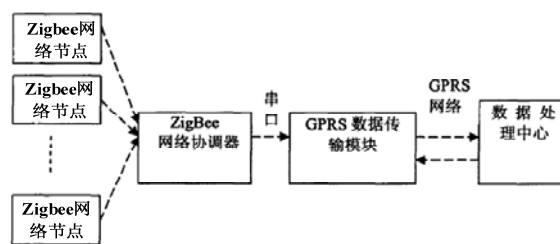


图 3 系统硬件结构图

系统中, 数据传输由两部分构成, 第一部分是数据由从节点传输到主节点, 第二部分是数据由主节点传输到数据中心. 在主节点收集数据的过程中, 系统采用 Zigbee 无线传感器网络技术, 当数据由主节点传输到数据中心时, 因为距离较远, 采用 GPRS 传输技术, 如此, 将 Zigbee、GPRS、无线传感器相结合, 组成了新的无线传感器网络, 整个过程如图 4 所示.

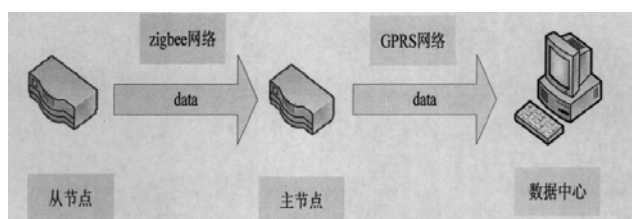


图 4 数据传输过程

#### 3.2 采集仪设计

采集仪的软件设计中, 无线部分采用 TI 公司免费提供的 ZigBee 协议栈. 采集仪启动后, 首先检测是否存在 USB 连接, 如果存在则按 USB 通信链路进行工作; 否则启用并配置为 ZigBee 终端节点. 然后尝试发现网络, 并向协调器发出建立 ZigBee 网络连接请求. 连接建立后, 将依据各工位显示和处理终端的命令, 识别接入的传感器类型, 再根据传感器类型调用不同的数据处理子程序, 如在光电开关传感器的测量中只要取得开关量即可, 而热电偶温度传感器的测量则需要连续取得环境温度. 取得数据后, 再通过 ZigBee 网络或 USB 链路发回对应的工位数据处理终端.

#### 3.3 协调器设计

协调器仅需要在市场直接采购 ZigBee USB Dongle 模块就可完成配置, 其主要功能是管理整个 ZigBee 网络, 当有节点加入或者退出网络时, 更新相关的信息, 并处理各种 ZigBee 功能, 如创建或修改绑定表、为 ZigBee 节点分配群集(cluster)ID 等.

#### 3.4 终端监控子系统

终端监控子系统是整个系统中的数据接收、处理系统,主要由中继节点与用户应用软件组成,中继节点负责把整个网络的采集数据通过串 Vi 通信交给计算机进行处理.

### 3.5 参与者

80 名大三学生参与了这项研究,学生们都已完成了工程学院安排的大一和大二实验室课程,已经对实验室技能有了一定的熟悉程度.为了监测使用无线传感器网络辅导课程的效果,对前测和后测的结果进行了检查.

表 1 基于学习模式的探究

1 学生参与科学问题、事件或现象的深入讨论,这样的讨论需要与学生们已经掌握知识有关联;老师要能够建立对立的意识/鼓励他们获得更多的知识.
2 学生通过动手实验建立假设、尝试解题技巧并解释得出的结果/分析来学习科学问题.
3 学生结合其他科学知识来源分析和解释收集到的数据,阐述他们的观点.
4 学生扩展新的实现和开发能力,使其用于新环境.
5 学生,跟着老师一起回顾和反思新学到的知识和学习方法.

### 3.6 可靠性和验证分析

对 35 名学生进行了初步测试,并用 SPSS 进行了可靠性试验,QLIS 调查问卷包含二十个问题,克隆巴赫系数值是 0.741,这可以解释为可靠性良好.发现声音有效性;从 80 名学生得到的答案汇总有效性,当他们被要求回答 20 个问题,克隆巴赫  $\alpha$  值为 0.846,对要问学生的 20 个问题进行克隆巴赫值  $\alpha$  灵敏度试验,被要求回答 15 个问题,  $\alpha$  值低于 0.5.此外,已通过测试, KMO 值为 0.872,这足够用于计算因子得分值.

### 3.7 评估方法

为了改良学生的实验技术,进一步评估无线传感器网络应用产生的输出,执行了一些方法.对 30%的高成绩与低成绩人群进行预测试,也就对每个成绩组 24 人编码,在无线传感器辅助实验教学后再进行测试,随访观测这 48 人,找出他们的实验技能和学习倾向.

### 3.8 系统运行与调试

在电脑上运行串口调试程序,设置好波特率等参数后,可看到两个不同地址的 Router 周期性地上报自己采集的数据,说明网络建立成功,界面如图 5 所示.

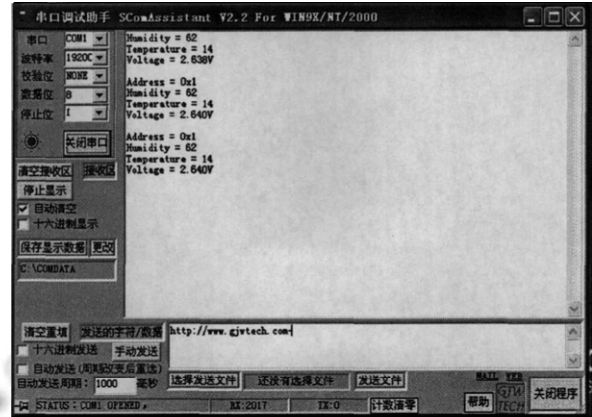


图 5 系统调试界面\

## 4 实验

研究中使用两组数据,对 110 名本科学生使用无线传感器网络实验技术辅导:收集的实验室技能前测/后测结果和学习倾向前测/后测结果.

### 4.1 高、低成绩组间的 t-检验分数

t-检验用来对比高成绩与低成绩组的前测/后测结果差异,以评估学生的实验技能.低成绩组的 33 名学生在“实验程序”和“实验的合作交流”两个方面差异为 0.01,而在“实验调查”、“实验假设假设”和“传输/反馈实验结果”三个方面计算的差异为 0.05(如表 3 所示).

获得了高、低两个成绩组学生关于学习倾向的前测/后测 t-检验分数,低成绩组的 33 名学生在“学习兴趣”和“学习成绩”方面表现出的差异为 0.01,在“学习动机”和“学习态度”方面表现出的差异为 0.05,而当考虑学习目标时没有观察到明显的差异.高成绩组的 33 名学生在“学习兴趣”方面差异为 0.05,在“学习动机”、“学习目标”、“学习成绩”、“学习态度”方面没有观察到差异(见表 4).

表 3 高、低成绩组测试前后的组间 t-检验分数

实验分析技能	低成绩组(n = 33)					高成绩组(n = 33)				
	前测		后测		t	前测		后测		t
	M	SD	M	SD		M	SD	M	SD	

实验调查	2.12	1.44	2.75	1.88	1.87*	2.78	2.01	3.03	1.71	0.82
实验假设假设	2.25	1.90	2.96	2.05	2.05*	2.81	1.76	3.11	1.56	1.34
检查实验程序	1.83	1.56	2.82	1.96	3.98*	2.72	1.46	3.64	2.13	2.39*
实验合作	1.78	1.32	3.16	1.72	4.29*	2.33	1.50	3.59	1.72	2.41*
传输/反馈结果	1.96	1.28	2.72	2.12	1.98*	2.95	1.88	3.31	1.80	1.41

\*  $p < .05$ . \*\*  $p < .01$ .

表 4 高、低成绩组学习倾向的测试前后 t-检验分数

学习倾向	低成绩组(n = 33)					高成绩组(n = 33)				
	前测		后测			前测		后测		
	M	SD	M	SD	t	M	SD	M	SD	t
学习兴趣	1.54	1.72	2.73	1.65	3.23**	2.61	0.95	3.12	1.09	1.94*
学习动机	2.15	1.13	2.61	0.98	2.12*	2.77	1.32	3.05	1.25	1.02
学习目标	2.18	0.81	2.44	0.92	1.37*	2.45	1.56	2.94	1.51	0.83
学习成绩	1.47	1.65	3.16	1.09	4.08**	3.13	0.64	3.19	0.88	1.41
学习态度	1.77	1.59	2.57	1.32	2.38*	2.98	0.97	3.13	1.03	0.89

\*  $p < .05$ . \*\*  $p < .01$ .

#### 4.2 高、低成绩组实验室技能的 t-检验分数

表 5 列出了高、低成绩组实验室技能的前测 t-检验分数, 其中“实验假设”、“实验程序”、“传输/反馈结果”表现出的差异为 0.01. “对实验问题采取的举措”和“实验合作交流”差异为 0.05.

表 5 高、低成绩组实验技能的测试前后 t-检验分数

实验分析技能	低成绩组(n = 33)		高成绩组(n = 33)		t
	平均值	标准差	平均值	标准差	
实验调查	2.12	1.44	2.78	2.01	1.95*
实验假设假设	2.25	1.90	2.81	1.76	4.08**
检查实验程序	1.83	1.56	2.72	1.46	3.31**
实验合作	1.78	1.32	2.33	1.50	2.46*
传输/反馈结果	1.96	1.28	2.94	1.88	4.22**

\*  $p < .05$ . \*\*  $p < .01$ .

表 6 显示了接受无线传感器网络实验辅导之后的高、低成绩组学生的 t-检验分数. 如表中所示, 前测中科学学习的五个方面在 p 值存在 0.05 的差异, 而其他三个方面没有差异.

表 6 高、低成绩组实验技能的测试前后 t-检验分数

组	低成绩组(n = 24)		高成绩组(n = 24)		t
	平均值	标准差	平均值	标准差	
实验调查	2.75	1.88	3.03	1.71	0.92
实验假设假设	2.96	2.05	3.11	1.56	0.81
检查实验程序	2.82	1.96	3.64	2.13	2.47*
实验合作	3.16	1.72	3.59	1.72	1.26
传输/反馈结果	2.72	2.12	3.31	1.80	2.35*

\*  $p < .05$ . \*\*  $p < .01$ .

#### 4.3 高低成绩组学生学习倾向的 t 检验分数

表 7 显示了在实施无线传感器网络前后收集的学习倾向的 t-检验分数. 前测阶段, 观察到关于学生学习的兴趣、动机和成绩的差异为 0.01, 学习目标的差异为 0.05. 实施无线传感器实验教学辅导后, 高成绩组学生和低成绩组学生的学习动机、目标和态度的差异为 0.05.

表 7 高、低成绩组学习倾向的测试前后 t-检验分数

前测期间学习倾向	低成绩组(n=33)		高成绩组(n=33)		t
	平均值	标准差	平均值	标准差	
前测期间学习兴趣	1.54	1.72	2.61	0.95	4.53**
前测期间学习动机	2.15	1.13	2.77	1.32	2.71**
前测期间学习目标	2.18	0.81	2.45	1.56	2.12*
前测期间学习成绩	1.47	1.65	3.13	0.64	4.92**
前测期间学习态度	1.77	1.59	2.98	0.97	4.87**
后测期间学习兴趣	2.73	1.65	3.12	5.69	1.12
后测期间学习动机	2.61	0.98	3.05	1.09	1.70*
后测期间学习目标	2.44	0.92	2.94	1.25	1.61*
后测期间学习成绩	3.16	1.09	3.19	1.51	0.89*
后测期间学习态度	2.57	1.32	3.13	0.88	2.11*

\*  $p < .05$ . \*\*  $p < .01$ .

为了更好地说明在参加无线路由器网络实验课程前后高、低成绩组学生的改进, 对学生在实验技能和学习倾向上的数据进行了收集和平均, 信息如图 6 所

示,与高成绩组学生相比较,低成绩组学生在采取措施提高实验调查、参与合作、反馈实验结果和评价实验程序方面有了大幅提高。

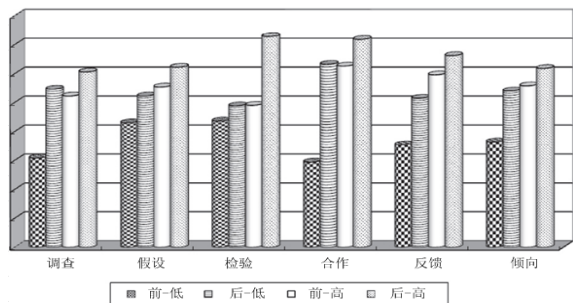


图6 低成绩组和高成绩组在实验技能和学习倾向方面前后测试数据对比

## 5 结语

观察高、低成绩组学生在实验技能和学习倾向两方面测试前后组间  $t$ -检验分数,无线传感器网络的投入使用,不仅在所调查的方面改善了学生表现,也培养了学生们在学习倾向方面积极进取的态度。对于高成绩组学生,在“实验程序”和“实验的合作交流”方面有明显改善,而低成绩组学生,在所有五个方面都有明显的提高。借助无线传感器网络配对辅导后,两组学生都减少了差异。

在学习倾向上,利用无线传感器网络实现实验教学能促进低成绩组学生的学习兴趣和动机的提高,也能改善高成绩组学生的“学习兴趣”。虽然在教学中使用无线传感器网络后反应在低成绩和高成绩组学生上的差异减少了,但是在学习动机、目标和态度方面仍然存在 0.05 的差异。这表明,网络有助于促进学生产生积极的学习倾向。

虽然现行的无线传感器网络有助于科学学习,但低成绩组和高成绩组学生执行实验时出现了分叉点;应该注意到在实验技能、实验程序评估,以及反思得出结论上的差异。此外,与高成绩组学生相比,低成绩组学生明显的很被动对待他们的学习动机、目标和态度,这正符合了事实,应用无线传感器网络,当它涉及到采取措施进行科学探索时是无效的。

## 参考文献

1 张进宝,黄荣怀,张连刚.智慧教育云服务:教育信息化服务

新模式.开放教育研究,2012,18(3):20-26.

2 Foundations of Intelligent Tutoring Systems. Psychology Press, 2013.

3 丁竹卉,贾积有,陈宇溟,等.中学英语教学中应用智能教学系统的效果评估——以“希赛可”为例.现代教育技术,2012,22(4):68-72.

4 程萌萌,林茂松,王中飞.应用表情识别与视线跟踪的智能教学系统研究.中国远程教育,2013,32(3):59-64.

5 Wang VCX, Cranton P. Promoting and implementing self-directed learning (SDL): An effective adult education model. International Journal of Adult Vocational Education and Technology (IJAVET), 2012, 3(3): 16-25.

6 王甲海,印鉴,凌应标.创新型人工智能教学改革与实践.计算机教育,2010,30(15):136-138.

7 张伟峰.本科高年级人工智能教学的几点思考.计算机教育,2009,32(11):139-141.

8 Fu Y, Zhang J, Wan L. Application of the energy balance method to a nonlinear oscillator arising in the micro-electromechanical system (MEMS). Current Applied Physics, 2011, 11(3): 482-485.

9 刘建明,赵峰,张月霞,等. 3G 和 4G 无线通信技术在 ICT 网络模式中的应用.电力系统通信,2009,30(21):1-4.

10 任剑洪,肖南峰.基于 Web 的网络智能教学系统设计与实现[学位论文].广州:华南理工大学,2011.

11 郭富强.智能教学系统中动态学生模型的研究与设计.中国电化教育,2011,20(1):119-123.

12 Alejos AV, Sanchez MG, Fernandez JAG, et al. Platform for teaching of location technologies based on Zigbee Wireless Sensor Networks by learning-through-play theory. Education Engineering (EDUCON), 2010 IEEE. 2010. 1299-1305.

13 朱剑锋,熊志斌,尹成国.ZigBee 无线传感网络与 IP 网络的网关设计.软件,2011,32(9):53-55.

14 陶为戈,陈兴瑞,贾中宁,等.一种 ZigBee 无线传感网络教学实验平台的构建.实验室研究与探索,2012,32(12): 231-234.

15 胡四泉,王志良.“无线传感器网络”课程实验教学探讨.中国电力教育:上,2010,24(11):110-111.

16 冯刚.基于 MEMS 技术的高密度视网膜假体柔性微电极阵列的研制[学位论文].上海:上海交通大学,2013.