

新型室内照明智能控制系统的研究与实现*

周晓伟^{a b}, 蔡建平^a, 郑增威^a, 应 晶^{a b}
(浙江大学 a 城市学院; b 计算机科学与技术学院, 杭州 310027)

摘 要: 在 ZigBee 传感网技术的基础上提出了一种新型的室内智能照明控制系统, 系统主要由若干约半个手掌大小的集成了 ZigBee 协议栈的网络节点组成。部分节点负责统计进入房间内人员的个数、判断人员在房间内的位置以及当前室内光线强度, 并将这些信息反馈给中心控制节点, 中心控制节点通过综合处理这些信息来自动设置房间的照明模式。首先在传统室内照明控制系统的基础上提出了一种基于无线传感器网络的新型室内照明控制系统的架构体系, 接着分析了系统中各网络节点的硬件组成; 然后从室内人员个数统计、人员位置识别、光线强弱判别以及照明模式判断等方面详解了系统的具体实现过程; 最后对系统进行了测试, 新型室内照明智能控制系统能够有效弥补传统照明系统管理落后、浪费能源、舒适性差及布线复杂等缺陷。

关键词: 室内智能照明控制系统; 无线传感器网络; ZigBee 节能

中图分类号: TP273 文献标志码: A 文章编号: 100123695(2009)0822977205
doi 10.3969/j.issn.100123695.2009.08.052

Research and implementation of novel intelligent indoor light control system

ZHOU Xiaozweif^{a b}, CAI Jianping^a, ZHENG Zengweif, YING Jing^{a b}
(a. Zhejiang University City College b School of Computer Science & Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract On the basis of ZigBee sensor network, the article presented a novel intelligent indoor light control system which was composed of a number of halfpalm sized network nodes with ZigBee protocol stack. Used some network nodes to calculate the number of persons entering the room and their positions in room, others were responsible for sensing the current brightness indoor. All of these nodes sent the information they collected to the dominated node which usually called coordinator or router. The dominated node could then automatically decide and apply one of the predefined lighting modes depending on the information received from its attached nodes. This article mainly gave a detailed analysis of the implementation of the system, including hardware design of network nodes, indoor environmental information gathering and lighting modes selecting based on the star topology structure of wireless sensor network, and finally elaborated the performance of the system, proving that the novel intelligent indoor light control system dramatically outperforms traditional light control system in terms of easy operation, energy saving, serviceability and system installation.

Key words intelligent indoor light control system; wireless sensor network; ZigBee; energy saving

随着世界范围内能源日益紧缺及生活水平的不断提高, 人们对室内照明系统节能、舒适度的追求越来越强烈, 传统照明系统很难再满足人们的需求。人们希望新型室内照明系统安装设计简单、美观, 并且可以根据室内场景的变化, 自动设置相应的照明模式。比如当室内人员数量不断增加或者室内光线变暗时, 自动增强室内照明亮度; 当人员集中在室内某一位置时, 自动增强相应位置的照明亮度, 同时减弱远离该位置的照明灯亮度; 当人们看电视时, 自动关闭相应的照明灯或减弱相应的照明灯亮度等。

人们期望的室内照明系统能够根据室内场景的变化, 自动切换相应的照明模式, 这样不仅满足了人们对室内照明舒适度的要求, 还能实现节能的目标。例如当人员全部离开房间时, 系统自动切换到关闭室内所有照明灯的照明模式, 当有人进入房间时, 再启用相应的照明模式。这样就避免了由于人离开房间而忘记关灯造成的“长明灯”现象^[1]。

总之, 新的室内照明控制系统应实现在消耗最少电能的前提下, 满足人们工作、生活的需求。在上述背景下, 本文应用 ZigBee 传感网技术^[2,3], 设计了一种新型室内智能照明控制系统, 能够有效克服传统照明控制系统存在的缺陷, 满足人们新的需求。

1 传统室内照明控制系统概况

1.1 线路系统

传统照明控制系统在线路系统上多采用单控电路或者双控电路。单控电路系统中控制开关直接接在负载回路中, 只能实现简单的开关功能; 双控电路系统可以用两个单刀双掷开关实现双控, 但开关之间连接照明电缆, 在进行多点控制时开关之间的电缆连线增多, 使线路安装变得非常复杂, 工程施工难度增大^[1]。

收稿日期: 2008212202; 修回日期: 2009203213 基金项目: 浙江省科技计划资助项目 (2007C31005); 浙江省自然科学基金资助项目 (Y106809); 杭州市科技创新资助项目 (20070231H05)

作者简介: 周晓伟 (19842), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络 (zigbee8@gmail.com); 蔡建平 (19712), 男, 浙江青田人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为嵌入式应用与 VLSI 设计; 郑增威 (19692), 男, 浙江苍南人, 副教授, 博士, 主要研究方向为传感器网络、普适计算、操作系统设计开发; 应晶 (19712), 男, 浙江龙游人, 教授, 博导, 主要研究方向为软件开发方法、软件工程规范。

112 控制方式

传统照明控制采用手动开关,管理方式落后,必须一路一路地开或关,并且控制方式单一,只有开和关两种状态。另外,传统照明控制系统采用直开直关的方式,不能控制电网冲击电压和浪涌电压,使灯丝难免受到热冲击,缩短了灯具寿命。

线路系统和控制方式等的限制,传统室内照明控制系统主要存在管理落后、能源浪费、舒适性差、布线复杂以及灯具寿命短等缺陷,很难满足当代人们对舒适性和节能的需求。因此,随着科技的不断发展,有必要设计一种新的室内照明控制系统来克服传统照明控制方法的不足。

ZigBee传感网技术为设计新的室内照明控制系统,克服传统室内照明控制系统的缺陷提供了重要的理论和方法依据。

2 系统架构

新型室内智能照明控制系统采用与传统照明控制系统完全不同的设计理念,重点应用了基于 ZigBee 协议^[4]的无线传感器网络技术。整个系统由若干独立的约半个手掌大小的网络节点组成,各节点间无须连线,采用 ZigBee 协议进行无线通信。在技术层次上,系统最终实现为由协调器节点或路由节点与若干终端节点组成的星状拓扑结构^[5 6]的无线传感器网络,如图 1 所示。

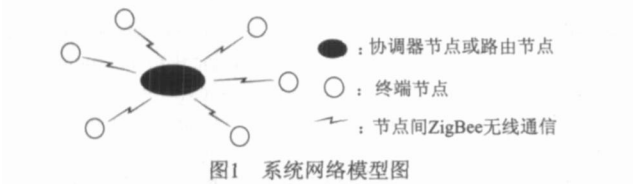


图 1 中协调器节点或路由节点为系统的中心控制节点,通过 ZigBee 协议与各终端节点进行通信。本系统中,终端节点按照不同的功能划分为三类:采集室内光线强弱的终端节点、采集人员位置移动信息的终端节点以及控制照明模式的终端节点。

3 系统硬件设计

由前文可知,在功能层次上,系统共包括四种类型的节点:由协调器节点或路由节点构成的中心控制节点、采集室内光线强弱的终端节点、采集人员位置移动信息的终端节点以及控制照明模式的终端节点。这些节点要实现各自的功能,必须有相应的硬件支持。

对于中心控制节点,一个运行 ZigBee 协议栈的单片机以及无线收发器是必需的。如果需要与 PC 机相连,中心控制节点还需配置相应的接口。例如本系统使用 PIC18F4620 单片机及 CC2420 收发器,并为中心控制节点配置了 RS2232 串行接口。

采集室内光线强弱的终端节点及采集人员位置移动信息的终端节点除需要运行 ZigBee 协议栈的单片机以及无线收发器外,还必须配置相应的传感器。本系统为前者配置了光敏传感器,为后者配置了红外传感器。

最后,控制照明模式的终端节点同样需要基本的单片机及收发器部件,另外还需一个外接可控硅控制电路,如图 2 所示,用于实现对照明灯亮度的调节。

该电路依据交流电过零检测^[7]的思想来设计。图 2 中

所示单片机由交流电间接供电,因此需要一个电感 T1 来实现电路分离。另外,二极管 D1~D4 负责控制波形矫正;电容 C2 实现波纹过滤;C3 尽量与单片机电源引脚靠近,用来抑制高频噪声;齐纳二极管(Z1)通过压缩整流电压来提供期望的调制电压。如果不使用交流电间接为 MCU 供电,则图 2 中左半部可省略,由外接直流电源直接供电即可。图 2 中右半部分两个光耦实现负载与高压控制电路的隔离。单片机 PB6 引脚用来采集交流电正弦周期的每个过零点,PD0 用来控制可挂硅的导通。

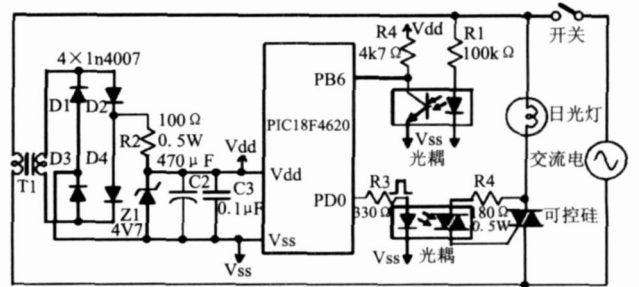


图2 基于PIC18F4620单片机的调光电路

4 系统控制流程

第 2 章指出,系统由中心控制节点、采集室内光线强弱的终端节点、采集人员位置移动信息的终端节点以及控制照明模式的终端节点组成。在系统控制中,负责采集室内环境信息的终端节点将采集到的光线强弱信息、室内人员个数及位置信息发送给中心控制节点,中心控制节点首先对这些信息进行综合处理,判断出当前室内应设置的照明模式,然后把该照明模式发送给控制照明模式的终端节点,控制照明模式的终端节点根据接收到的照明模式信息驱动其外接可控硅电路,最终设置相应照明灯的亮暗状况。当室内环境信息发生变化时,系统能够自动感知这些状况并切换至相应的照明模式。

具体实现过程中,需要解决以下难题:人员进出房间的判断;人员室内位置信息的判断;室内光线强弱的判断;外接可控硅电路驱动方法设计;中心控制节点照明模式判断设计。

下面结合具体实例来讨论上述问题。如图 3 所示为系统各节点在室内布置的一个实例,房间入口处上侧 0 号为中心控制节点;编号为 N、0 的两个节点为终端节点,用于采集进入房间内人员的个数;靠窗的 A、B 两个终端节点用于采集当前房间内的光线强度信息;负责采集人员在房间内位置信息的节点为 5、6、7、8 号终端节点;剩余的 X、Y、Z 三个终端节点用来控制房间照明模式的设置,其中 X 节点控制室顶四盏下照灯, Y 节点控制矩形桌旁的两盏壁灯, Z 节点控制书桌上的台灯。

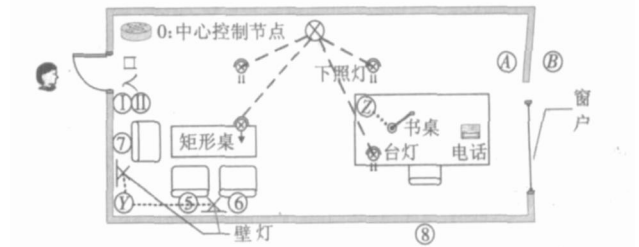


图3 系统节点布置模型图

4.1 人员进出房间的判断方法

人员进出房间的判断由两个载有红外传感器的终端节点来实现,如图 3 中编号为 N、0 的两个节点。具体实现过程中

将与传感器相连的单片机引脚配置为双边沿触发中断。这样只有当 $\tilde{N}$ 、 $\tilde{O}$ 先后产生上升沿中断,接着又先后产生下降沿中断时,才认为有人进入了房间,如图 4 中的进入状态;同样,当有人离开房间时, $\tilde{O}$ 、 $\tilde{N}$ 先后产生上升沿中断,接着又先后产生下降沿中断,如图 4 中的走出状态;对其他中断触发情况,均不认为当前房间内人员个数有变化,如图 4 中的退出与退入状态。

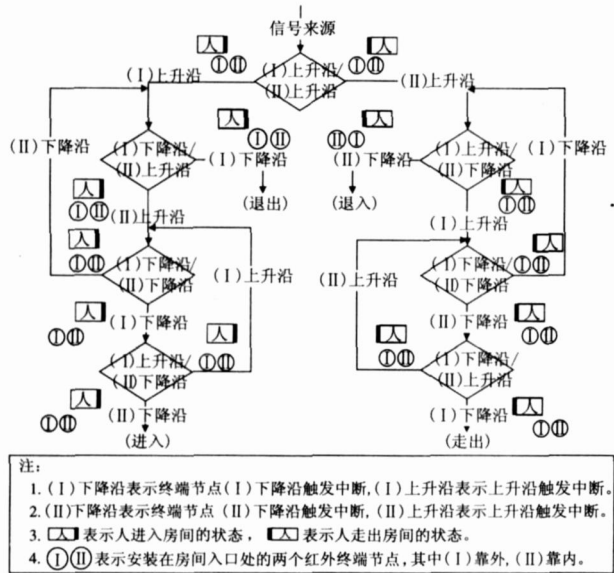


图4 判断人进出房间的控制流程图

本实例采用两个终端节点来判断人员进出房间的状况,这样做的好处是可以将两个传感器探头最接近放置,从而避免由于两个传感器放置距离较远,造成的 $\tilde{N}$ 上升沿中断, $\tilde{N}$ 下降沿中断, $\tilde{O}$ 再上升沿中断,即人已经经过了传感器 $\tilde{N}$,但还未触发到传感器 $\tilde{O}$ 的结果。这种方法的缺点是加重了中心控制节点的计算负担,因为两个终端节点都需要将感测到的中断信号发送给中心控制节点,而不作任何处理。

另一种方法是使用一个终端节点来完成人员进出房间的判断控制,要求两个红外传感器接在该终端节点单片机上能产生双边沿中断的引脚上。该方法的好处是判断人员进出房间的计算过程由终端节点自身来完成,减轻了中心控制节点的运算负担;缺点是两个红外传感器探头不能太接近,否则容易产生一个中断处理过程中,另一个中断到来的情况,影响判断结果的准确性。

412 人员室内位置信息的判断

室内人员位置信息的判别由载有红外传感的终端节点来实现。根据红外传感器的探测距离及室内空间的大小,可以合理安排红外终端节点的个数及具体位置。如图 3 所示,编号为 5~8 的节点为用于室内定位的红外终端节点。具体实现方法较为简单,不再赘述。

413 室内光线强度的判断

室内光线强度判断由载有光敏传感器的终端节点来实现。本系统使用两个载有光敏传感器的终端节点,对应图 3 中靠窗的 A、B 节点。考虑到光敏传感器自身的特性与人们的具体需求,将两个载有光敏传感器的终端节点一个置于室外,一个置于室内当人们拉上窗帘可以遮挡住的地方。

将一个节点置于室外,主要原因是光敏传感器能感测到室内照明灯自身的亮度。因此,如果将光敏传感器都安装在室内

能感测到照明灯光线的地方,当照明灯亮时,光敏传感器就会得到光线强度较亮的结果,从而引起路由节点关闭照明灯,接着又会感测到黑暗的结果,再次设置照明灯亮起,从而造成室内照明模式在亮暗间循环设置。

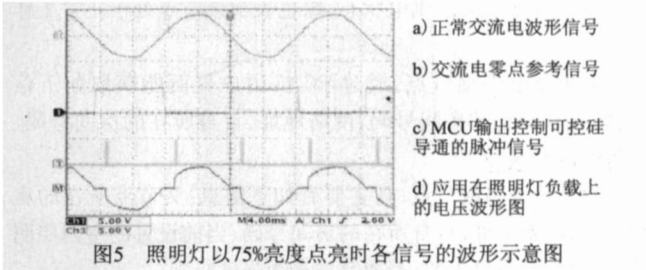
将一个载有光敏传感器的终端节点置于室内窗帘可以遮挡住的地方,主要是为了最大限度地满足人们的需求。例如白天室内人员拉上窗帘时,室内光敏传感器感测到阴暗的结果,进而触发设置照明灯点亮的照明模式,避免白天拉上窗帘时室内漆黑的结果。

最后,对两个光敏传感器感测到的结果,总是选择较大(漆黑)的值作为有效值。

414 外接可控硅电路驱动方法设计

几年前,控制照明灯亮度主要是通过一种叫可变电阻器的设备来实现。为了控制流经照明灯的能量,可变电阻必须将额外的电能转换为热能释放掉。例如,一个 100 W 的灯泡要以 50% 亮度点亮,就需要大约 20 W 的电能被可变电阻器转换为热能。

现在的照明灯调光设计采用完全不同的方法,在交流电的每半个周期,采用可挂硅来控制流过照明灯的电流。可控硅开始处于关断状态,通过微小的信号(如单片机引脚输出高电平)将其导通后,电流即可流经照明灯,直到交流电半个正弦周期结束,即又回到零点状态。在交流电每半个周期内,从可控硅导通到该半个周期结束这段时间称为导通角 (conduction angle),剩余的部分称为延迟角 (delay angle)。通过控制导通角即可实现照明灯的不同亮度。图 5 是照明灯以 75% 亮度点亮时的各波形示意图。



在具体实施中,单片机在每个交流电零点捕获中断,然后根据所需导通角,输出相应宽度的脉冲信号,导通可挂硅,以相应亮度点亮负载。

415 中心控制节点照明模式判断设计

照明模式的判断是由中心控制节点在综合处理当前室内人员个数、光线强度以及室内人员位置信息的基础上实现的。

中心控制节点首先判断房间内有没有人,若没人,则设置关闭室内所有照明灯(若干照明模式之一);若有人,再判断室内人员的个数,然后根据不同的人员个数进入相应的判别模式。接着判断室内光线强度级别,如果光线较亮,仍设置关闭所有照明灯,否则再根据室内人员的位置信息来确定相应的照明模式。针对图 3 所示的节点布置模型,设计具体控制流程,如图 6 所示。

5 PC 机用户界面设计

PC机用户界面主要用于中心控制节点与整个系统进行信息交互。根据系统需要,它一方面要能够动态显示各节点的状态信息及拓扑结构图,另一方面还要求能够让用户根据自身需

图 10(c)所示,照明模式为 36(/ 60的 ASCII码);当人离开书桌前时,系统自动切换至照明模式 5,即以 80%亮度开启四盏下照灯,如图 10(d)所示,照明模式为 35(/ 50的 ASCII码);当人在图 3所示矩形桌前坐定时,系统将自动设置为照明模式 4,两壁灯亮 80%,靠门的两盏下照灯亮 60%,如图 10(e)所示;最后,当人员离开房间后,系统自动恢复到照明模式 Q 关闭室内所有灯,如图 10(f)所示,照明模式为 30(/ 00的 ASCII码),房间内人员个数为 0。

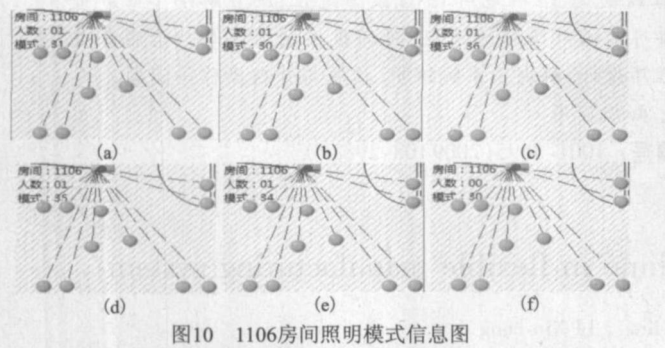


图10 1106房间照明模式信息图

最后, PC机用户界面可以显示网络中节点的故障信息。如图 11显示了一个光敏节点 (图中颜色较淡的节点)处于欠压状态,指示更换电源,以及一个室内定位节点 (图中颜色较深的节点)出现故障,与路由节点通信阻塞。用鼠标点击这些节点,即可在图 7所示网络地址项显示出该节点的网络地址,以便于进行故障排除工作。

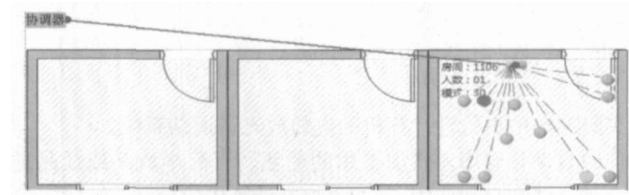


图11 显示系统节点欠压、故障示意图

经过测试,基于 ZigBee传感网技术的新型室内智能照明控制系统能够有效克服传统照明控制方法存在的不足之处,主要展现以下效果及优点:

- a)减少人为能源浪费。现代多数办公大楼中,人为造成照明能源浪费的现象仍然非常严重,无论房间是否有人,经常灯火通明。本系统利用红外探测功能可以自动关闭无人房间的照明灯,减少人为能量浪费,达到节能目的。
- b)自动调光,充分利用自然光。本系统中的光敏传感器通过测定工作环境的照度,与设定值比较来控制灯具亮度调节开关。当室外光较强时,室内照度自动调暗,室外光较弱时,室内照度则自动调亮,使室内的照度始终保持在恒定值附近,从而能够充分利用自然光实现节能的目的,也可提供一个不受季节与外部气候环境影响的相对稳定的视觉环境。
- c)自动调光,保持照度的一致性。一般照明设计师对新建的建筑物进行设计时,均会考虑到随着时间的推移,灯具的效率和房间墙面反射率会不断衰减。因此,其初始照度均设置得较高,这种设计不仅造成建筑物使用期的照度不一致,而且由于照度偏高设计造成不必要的能源浪费。采用本系统后,可以智能调光,系统将会按照预先设置的标准亮度使照明区域保持恒定的照度,而不受灯具效率降低和墙面反射率衰减的影响,这也是将会按照预先设置的标准亮度使照明区域保持恒定的可节约能源原因之一。

- d)创造舒适环境,提高工作效率。按照预先设置的标准亮度使照明区域保持恒定,可以根据不同场景需要,自动调整室内多种灯光强度,使环境光线更为舒适,有利于提高生活品质和改善工作效率。
- e)延长灯具寿命。灯具损坏的致命原因是电网过电压,只要能控制过电压就可以延长灯具的寿命。本系统采用软启动的方式,能控制电网冲击电压和浪涌电压,使灯丝免受热冲击,灯具寿命得到延长。本系统通常能使灯具寿命延长 2~ 4 倍,不仅节省大量灯具,而且大大减少更换灯具的工作量,有效地降低了照明系统的运行费用,对于大量使用灯具和安装困难的区域具有特殊的意义。
- f)提高管理水平,减少维护费用。本系统将普通照明人为的开与关转换成了智能化管理。如果应用到大楼的管理,既能在降低运行费用中得到经济回报,还能省去常规照明所需的大部分配电控制设备,大大简化和节省穿管布线工作量,大大减少大楼的运行维护费用。

7 结束语

本文介绍了一种基于 ZigBee传感网技术的新型室内智能照明控制系统,重点分析了室内人员个数统计方法、人员位置判别方法、光线强弱判断方法以及照明模式的设计与控制方法。本系统具有很强的扩展性,可以应用在楼宇中的每个房间,通过每个房间内的路由节点使整个楼宇的照明控制系统集成为一个传感器网络。该网络由惟一的协调器节点来控制,每个房间内的路由节点除了能与本房间的子节点进行通信,还能通过多跳的方式与协调器节点进行信息交互。另外,协调器节点可以与一台 PC机相连,通过图 7所示的 PC机用户界面控制每个房间的照明控制子系统,并显示整个网络的节点工作状态。与传统照明控制系统相比,本系统带来的好处主要表现在:照明控制智能化,确保照度一致性,场景变换灵活,产生可观的节能效果,延长灯具寿命,提高管理水平,减少维护费用,改善环境舒适度,有利于提高工作效率等。因此,新型室内智能照明控制系统具备良好的发展前景,将产生巨大的社会价值和经济价值,不仅可以大大降低能耗,减少人为能源浪费,实现更加节能舒适的室内环境,而且也将为建设节约型社会作出重要贡献。

参考文献:

[1] 沈瑞珠. 智能照明系统在智能建筑中的应用 [J]. 低压电器, 2002 (5): 202 22

[2] 夏益民,梅顺良,江亿. 基于 ZigBee的无线传感器网络 [J]. 微计算机信息, 2007, 23 (4): 1292130

[3] 王殊,阎毓杰,胡富平,等. 无线传感器网络的理论及应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007

[4] ZigBee Alliance ZigBee specification 2006 [EB / OL]. [2008 2 10]. [http // www. zigbee. org](http://www.zigbee.org)

[5] AKY LD Z I F, SU W, SANKARASUBRAMAN IAN Y, et al A su2 vey on sensor networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40 (8): 1022114

[6] CALLAWAY E H. Wireless sensor networks architecture and protocols [M]. [S I]: CRC Press, 2004

[7] De SOLDERA JD B, BOAS A L V, OLMOS A, et al Implementing a lamp dimmer with an HC908Q family MCU [EB / OL]. [2008 2 10]. [http // www. freescale. com](http://www.freescale.com)