

以无线传感器网络构建的照明节电系统的设计^{*}

陈庆章, 赵小敏, 毛科技, 洪卫丹

(浙江工业大学 计算机科学与技术学院, 浙江 杭州 310023)

摘要:为实现室内照明灯具的节电需求,采用无线传感器网络技术,设计了智能的照明节电系统,提出了一种照明控制算法,能根据感测到的室内光照度、人的位置信息,对用户所在位置附近灯具的调光指数进行计算,从而自动调节灯具亮度。实验结果表明,当用户进入某区域时,该区域附近的灯具能根据自动计算的调光指数调整亮度,以达到节电的目的。

关键词:无线传感网络;照明控制;节电;照明灯具

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)03-0001-05

Design of a lighting system for energy saving based on wireless sensor network

CHEN Qing-zhang, ZHAO Xiao-min, MAO Ke-ji, HONG Wei-dan

(College of Computer, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: For energy saving of indoors lightings, an intelligent lighting system for energy saving using wireless sensor network technology was designed. A lighting control algorithm, which can calculate the dimming factors for the lightings near user's position by indoor light intensity and people position information, was proposed. Using the algorithm, the system can adjust lightings brightness automatically. The test results indicate that the system may fulfill the goal of electricity-saving since the lightings near the region can adjust lamp brightness automatically by the dimming factors of automatic computing when a user enters an region.

Key words: wireless sensor network; lighting control; energy saving; lightings

0 引 言

随着经济的发展,全国用电量增长迅速,2009 年全国用电量为 3.64 万亿千瓦时,其中照明用电约占 10%~15%。虽然我国照明灯具采用了新型光源,发光效率较高,但是照明系统比较落后,总的效率比较低,因而照明灯具具有很大的节能潜力^[1]。目前,智能照明控制技术主要包括有线控制、电力线载波控制和无线射频控制等。有线控制传输可靠,但布线复杂,协议标准多,集成安装不方便;由于电力线对通信产生不规则性、随机干扰等影响,使得电力线载波控制系统的开发存在一定的难度;无线射频控制虽安装方便,但它的传输可靠性不是很稳定。因此当前的智能照明系统大多采用有线控制的方式。要想将原有的照明系统改造为智能节电的系统,往往要破坏原有的照明系统,这

不仅影响美观,同时还要花费大笔的改造成本。

近年来,无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)技术逐渐应用于照明节电系统中。文献[2-10]都是采用 WSN 来对灯光照明进行控制,从而达到节能的效果。文献[2]将灯具分成全局的和局部的,并提出了一种灯光控制算法,该算法综合两种灯光决策策略来获得灯光调节。系统整体架构较复杂,全局灯具服务器通过 RS232 与全局灯具调光器连接,但系统安装也不方便。文献[3-5]都是商业大楼内灯光照明的控制系统,其中文献[5]提出了一种灯光决策算法,针对整个环境下的所有灯具进行决策,如果房间过大,整个计算过程就比较困难。文献[6]设计的是用于家庭的一种照明节电系统,当携带无线装置的用户进入到房间后将该区域内的灯具打开,但没有实现根据周围环境调节灯具亮度,仅有开和关两种状态。

本研究利用无线传感网络来实现一种智能的照明

收稿日期:2009-01-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60872112);浙江省重大科技优先主题资助项目(2007C13064)

作者简介:陈庆章(1955-),男,河南济源人,教授,博士生导师,主要从事计算机应用技术方面的教学与科研工作。E-mail: qzchen@zjut.edu.cn

节电系统,即根据感测到的室内光照度、人的位置信息来自动判断,计算出调光指数,与预先设置好的照明模式进行比较,自动调整灯具的亮度,能够有效克服现有的智能照明方式中的布线复杂、改造成本高等缺陷。

1 照明节电系统设计

本研究采用 ZigBee 协议构建基于无线传感网络的照明节电系统,包括灯具节点、WSN 节点以及两种节点之间的通信协议和运行在节点上的灯光控制算法等。灯具节点上整合一个可以调光的灯具,通过改变调光电路上的控制信号来实现对灯具的调光。无线传感器节点集成红外传感器和光照度传感器,分别实现对人的检测和光照度的检测。

1.1 硬件设计

系统的硬件设计主要包括 WSN 节点、传感器和调光控制电路。WSN 节点用来处理传感器采集信号、数据的收发以及计算,然后对调光控制电路进行控制。系统硬件的总体框图如图 1 所示。系统中节点的微处理器和射频芯片均采用 TI 公司的 CC2430 集成芯片,该芯片内部集成了增强型的 8051 芯片及业界的主流射频芯片 CC2420。

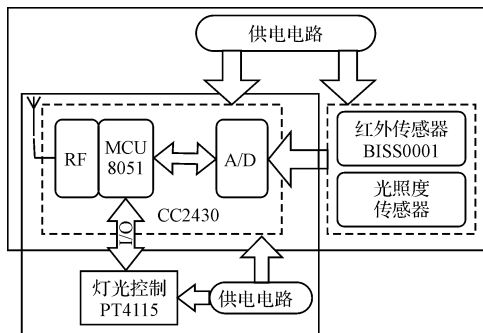


图 1 系统硬件总体框图

WSN 节点包括传感器和 CPU 两部分。在这个节点中,由于光照度传感器输入的是模拟信号,所以要进行 A/D 转换才能将这个信号转换成亮度信号,与预设值进行比较。传感器主要实现以下两点功能:

(1) 人的检测。通过红外传感器来实现,如果检测到房间有人,则将灯打开,否则将灯自动关闭。

(2) 光照度的检测。通过光照度传感器检测房间内部光的照度,将测量值与预先设定的照度值相比较,如实际值与预设值有差异,则自动调节灯光亮度,使之满足房间光照度的要求。

灯具节点包括 CPU 和灯光亮度控制,主要功能是将收到的亮度调节指数通过处理转换成灯光亮度等级,以实现灯具的调光。若是 LED 灯具,则采用

PT4115 芯片对其进行调光驱动,选用 PWM 方式进行调光,通过改变 DC 信号的占空比来实现 LED 点亮时间的变化,从而达到节电目的。系统采用数字电位器 X9241 来实现由调光指数输出控制信号,通过 X9241 电位器来控制 NE555 来实现 PWM 调制,可以实现 0%~100% 之间的 64 级的占空比变化。若是通过电子镇流器来实现调光的情况,如荧光灯、无极灯等灯具,可采用 IR2159、FM2822、KA754-KA7543 和 UBA2014 等芯片实现对调光电子镇流器的制作,调光电压可以是 0~5 V 或者 0~10 V 等。

1.2 系统软件设计

系统软件主要包括运行于节点上的照明控制算法和节点通信协议。照明控制算法是整个系统的核心,实现系统的关灯、开灯和调节灯亮度等控制,从而达到省电的效果。节点的通信采用 TI 公司的 ZigBee 协议,该协议目前广泛应用于低功耗短距离传输应用,尤其是基于无线传感网络的应用。

2 照明控制算法

假设需要照明控制的房间大小为长度 R_l 、宽度 R_w 。将工作面空间划分成 $m \times n$ 个小区块,用 $G_{11}, \dots, G_{1n}, \dots, G_{m1}, \dots, G_{mn}$ 表示;在每个 $G_{ij} (i=1 \dots m, j=1 \dots n)$ 中都有一个无线传感器节点 M_{ij} 。系统装有 k 个灯具,灯具安装高度为 h ,对灯具进行编号 $1, \dots, k$ 。每个灯具上装有 1 个灯光控制节点,用 C_i 表示。这里,需要调光的区域用 Z_{dim} 表示,光照射到一个点上,在该点面元上的光通量 $d\phi$ 除以该面元面积 dA 所得的商,记为照度 E 。为方便分析,将灯具安装的平面与地面整合一起,如图 2 所示。

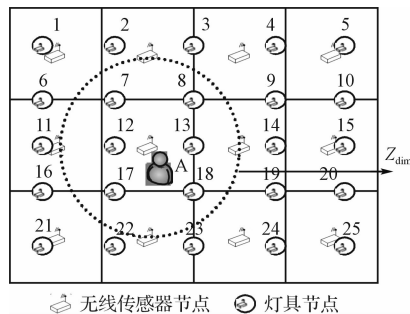


图 2 灯具平面和地面整合示意图

算法主要包括初始化阶段、生成用户需求照度数组 E 、求解光源照度影响数组 A^i 和计算调光指数 d 等部分。算法的基本思路如下:

(1) 无线传感器节点部署后位置是固定的,并存储着自己的位置信息。无线传感器节点检测环境中是

否有人,有人则读取环境中的照度,并与预设的照度值进行比较,看是否需要调光,如果需要调光则触发系统工作;

(2) 该无线传感器节点计算需调光的小区的照度值,组成用户需求照度数组,并将这些小区的位置信息存储到位置信息数组中,然后将该数组广播到需调光的灯具节点;

(3) 灯具节点根据位置信息数组计算出这些小区的照度影响值,依次存到单光源光照度数组中,再将数组发送到无线传感器节点;

(4) 无线传感器节点利用用户需求照度数组和单光源光照度数组计算出调光指数,并将这些调光指数返回到各灯具节点,灯具节点根据调光指数调整灯的亮度。

2.1 初始化阶段

初始化阶段主要的任务是将各个节点的位置信息初始化、预设用户对室内光照度的需求值 E_{sat} 、调光区 Z_{dim} 的区域半径 l_{sat} 和灯具照射的光圈范围 Z_{lamp} 等。节点部署好后位置信息是已知的, E_{sat} 和 l_{sat} 的值是根据建筑照明设计标准以及用户的活动喜好来确定,而 Z_{lamp} 则根据选择的灯具确定。

2.2 生成用户需求照度数组 E

用户需求照度是指灯光的亮度分布情况达到以用户所在位置为中心逐渐向四周变暗的效果。如图3所示,当用户进入房间的 G_{ij} 小区时,用 M_{ij} 中的红外传感器检测到该用户,计算出以用户所在位置为中心的调光区域 Z_{dim} 内的需求照度值,组成用户需求照度数组 E 。这里需计算用户的位置信息数组,记为 L ,数组的长度为 l_{vector} ,同时计算 Z_{dim} 小区坐标信息数组 H ,长度为 $2l_{\text{vector}}$ 。图3中,横向跨度 l_{col} 就是以用户所在位置为中心,向左右跨出的列数, $l_{\text{col}} = m l_{\text{sat}} / R_w$ 取整。纵向跨度是以用户所在位置为中心,向上下跨出的行数, $l_{\text{row}} = n l_{\text{sat}} / R_l$ 取整。

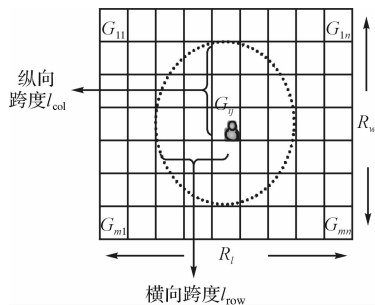


图3 用户进入房间位置示意图

计算 L 时,首先从列方向的第 $i - l_{\text{col}}$ 开始扫描,依

次将各个小区设置1个指数值,并且按顺序存储到 L 中,而 G_y 的信息也按顺序存入到数组 H 中,这样全部扫描结束就可以得到完整的 L 值和 H 值。计算位置信息数组 L 的流程图如图4所示。

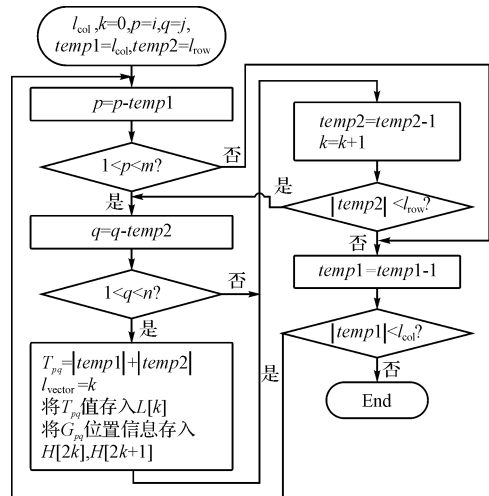


图4 计算位置信息数组 L 的流程图

如果多个用户同时在邻近的小区内活动,可能会出现1个小区被多个调光区域 Z_{dim} 覆盖,这样会导致某些小区特别的亮。具体采用覆盖度的概念来解决这种情况。计算点的小区与用户所在小区的距离为 s , Z_{dim} 的半径 l_{sat} ,覆盖度的计算公式为:

$$D_{\text{cover}} = 1 - \frac{(2l_{\text{sat}} - s)}{\sqrt{(R_w/m)^2 + (R_l/n)^2}} \quad (1)$$

通过循环将 L 转换成 E ,从数组 L 头开始扫描,读出数组 L 的值后进行照度的计算,将计算的值按顺序存入到 E 中, E_i 的计算公式如下:

$$E_i = (0.8)^{l_i} E_{\text{sat}} D_{\text{cover}} \quad (2)$$

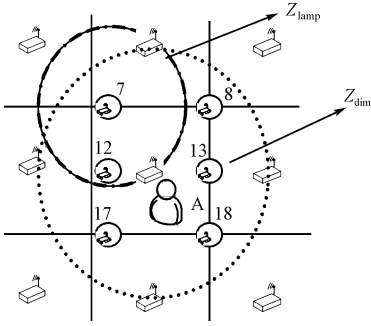
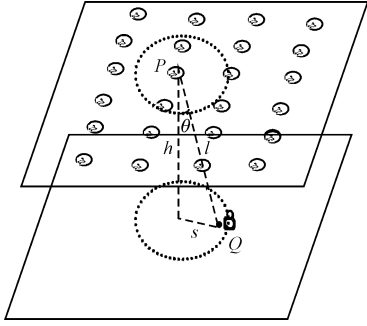
2.3 求解单光源照度数组 A^i

每种光源都有一定的照射范围,为了计算 A^i ,需求出照明灯具对各个小区的照度影响值。如果要计算的点不在照明灯具的照射范围 Z_{lamp} 内,那么这个照度影响值为0,否则为计算出的照度影响值。 Z_{dim} 内的灯具及小区分布图如图5所示。

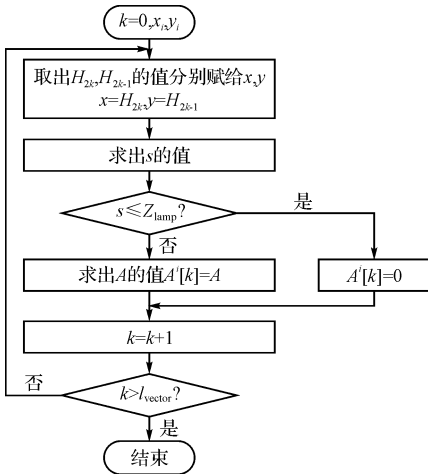
点光源在计算点 Q 的照度计算如图6所示,系统检测到用户所在的位置为 $Q(x, y)$, P 点灯具的坐标为 $P(x_i, y_i)$,灯具的安装高度为 h 。由文献[11]可知,假设 I_θ 为光源在 θ 角方向上的发光强度, H 为光源距离地面的高度,则点光源直射照度:

$$E = I_\theta / L^2 = \frac{I_\theta}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + h^2} \quad (3)$$

灯具节点 C_i 接收到数组 H 后,首先建立循环取出第一个元素,将这个元素作为计算点 $Q(x, y)$,而 C_i 的

图 5 Z_{dim} 内的灯具及小区分布图图 6 点光源在计算点 Q 的照度计算

位置信息是光源点 $P(x_i, y_i)$ 。判断 s 值是否大于 Z_{lamp} ,若是则将 A^i 数组的第一个元素置 0;否则利用式(3)求出照度值,存入 A^i 第一个元素中,以此类推求出数组 A^i 的所有元素,求解流程图如图 7 所示。

图 7 求解 A^i 的流程图

2.4 计算调光指数 d

在 Z_{dim} 范围内灯光节点 C_i 求出单光源照度数组 A^i 后,将 A^i 发送至检测到用户的无线传感器节点 M_{ij} , M_{ij} 节点生成用户照度需求数组 E 。设每个灯具调光指数为 d_i ,在这范围内有 k 盏灯,下面来求解 d_i 。

$$E = \sum_{i=1}^k d_i A^i = \sum_{i=1}^k d_i \{A^i[0], \dots, A^i[l_{\text{vector}}]\} \quad (4)$$

从式(4)分析可以得到:

$$\begin{cases} E[0] = A^1[0]d_1 + A^2[0]d_2 + \dots + A^k[0]d_k \\ E[1] = A^1[1]d_1 + A^2[1]d_2 + \dots + A^k[1]d_k \\ \dots\dots\dots \\ E[l_{\text{vector}}] = A^1[l_{\text{vector}}]d_1 + A^2[l_{\text{vector}}]d_2 + \dots + A^k[l_{\text{vector}}]d_k \end{cases} \quad (5)$$

将 E 看成是列向量, A 为 $l_{\text{vector}} \times k$ 的矩阵,将式(4)写成:

$$E = \begin{bmatrix} A^1[0], A^2[0], \dots, A^k[0] \\ \dots\dots\dots \\ A^1[l_{\text{vector}}], A^2[l_{\text{vector}}], \dots, A^k[l_{\text{vector}}] \end{bmatrix} d = Ad \quad (6)$$

本系统的目标是节电效果,这里调光指数 d 的总和就代表着节电的情况,所以只要将数组 d 的一阶范数 $\|d\|_1 = |d_1| + |d_2| + \dots + |d_k|$ 最小化就是求得的结果值,因而问题就转换成解线性方程了。

$$\begin{cases} E = Ad \\ \min \|d\| \\ 0 < d < 1 \end{cases} \quad (7)$$

式(7)是求解 d 的约束条件,如果在这个条件下没有可行解可将 d 的范围适当放大。解得 d 值后,无线传感器节点 M_i 将 d 值发给 Z_{dim} 范围内灯光节点 C_i , C_i 收到后将 d 转变成调光电路的控制信号来实现对灯光的控制。

如果有多个用户同时处在不同的小区中,如图 8 所示,3 个用户 A 、 B 、 C 同时处在不同的小区中,小区内的无线传感器节点从上面的算法解出 d 值后,将各个灯具的调光指数值发给灯具节点 C_i 。图中的 C_1 将先后收到 3 个调光指数值, C_2 、 C_3 、 C_4 收到 2 个值,这就要去调整一下这个值后输出,可将先后收到的 d 值进行比较,取最大的值,最后对灯具节点进行控制。

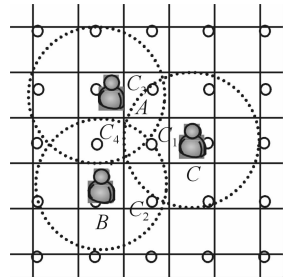


图 8 多用户同时使用的情况

3 系统实验

实验根据房间的大小以及各种因素,利用 DIALux

4.7 照明计算软件中的 Light 插件来对整个房间的灯具进行合理布局,使得空间中的照度能够达到《建筑

照明设计手册》的要求。灯具的布置场景如图 9 所示,灯具布置示意图如图 10 所示。在工作面上布置了 4×4 个无线传感器节点,而实验中布置了 9 个灯具节点和 16 个无线传感器节点。给系统定义一个调光区域 Z_{dim} ,半径 $I_{sat}=0.8\text{ m}$,灯具的照射范围 $Z_{lamp}=0.6$ 。

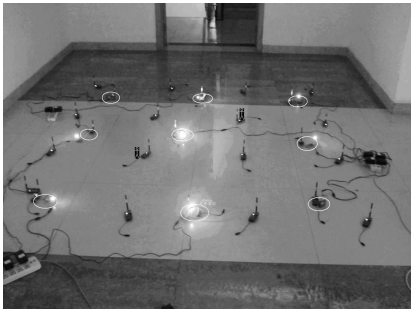


图 9 灯具布置场景

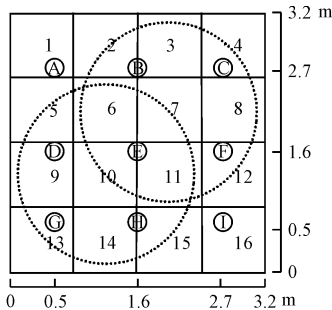


图 10 灯具布置示意图

当多个用户同时进入 7 号和 10 号小区时,计算出 $D、E、G、H$ 在调光区域 Z_{dim} 内, $B、C、E、F$ 在调光区域 Z_{dim}^2 内,各灯具实际的运行情况如图 9 所示。测得灯具节点 E 亮度控制电路的 PWM 占空比情况如图 11 所示,占空比值为 50% 左右,说明灯具节电有比较大的节电潜能。

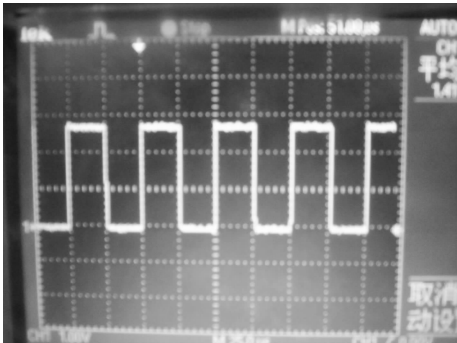


图 11 多用户同时进入到 7 号 10 号小区情况灯具节点 E 的波形图

4 结束语

针对无线传感网络在照明节电系统中的应用,本研究设计了照明节电系统,提出了一种智能的照明灯

光控制算法,用灯具的调光指数来衡量节省用电的程度。各个灯具的调光指数的总和越低,说明节省的电量越多;反之,则耗电量越高。实验结果表明,当用户进入某区域时,该区域附近的灯具能根据自动计算的调光指数调整亮度,达到节电的目的。系统虽未考虑不同建筑物结构、墙面、地面等参数,也未考虑不同灯具的光照强度,有待进一步改进,但在实际的照明节电应用中有一定的指导意义。

参考文献 (References) :

[1] 蒋卫,鲁明璐. 照明系统的节能潜力分析[J]. 节能, 2005(12):40-42.

[2] PAN Meng-shiuan, YEH Lun-wu, CHEN Yen-ann, et al. A WSN-based intelligent light control system considering user activities and profiles[J]. **Sensors Journal**,2008,8(10): 1710-1721.

[3] WEN Yao-jung, GRANDERSON, et al. Towards embedded wireless-networked intelligent daylighting systems for commercial buildings[J]. **Sensor Networks, Ubiquitous and Trustworthy Computing**,2006(1):326-331.

[4] REILLY F O, BUCKLEY J. Use of Wireless Sensor Networks for Fluorescent Lighting Control with Daylight Substitution[C]//Proceedings of Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks(REANWSN), Sweden: [s. n.],2005.

[5] SANDHU J S, AGOGINO A M, AGOGINO A K, et al. Wireless Sensor Networks for Commercial Lighting Control: Decision Making with Multi-agent Systems[C]//Proceedings of the AAAI-04 Workshop on Sensor Networks, San Jose, CA: [s. n.],2004:131-140.

[6] PARK H, BURKE J, SRIVASTAVA M B, et al. Design and Implementation of a Wireless Sensor Network for Intelligent Light Control[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Information Processing in Sensor Networks, Cambridge, Massachusetts, USA: ACM Press,2007:370-379.

[7] BONNELL J T. Wireless Lighting Systems Integration for Significant Energy Savings[D]. Berkeley: University of California,2008.

[8] WEN Yao-jung, AGOGINO A M. Wireless Networked Lighting Systems for Optimizing Energy Savings and User Satisfaction[C]//Wireless Hive Networks Conference, Austin, TX: IEEE Press,2008:1-7.

[9] SINGHVI V, KRAUSE A, GUESTIN C, et al. Intelligent Light Control using Sensor Networks[C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, San Diego, California, USA: ACM Press,2007: 218-219.

[10] 李展宏. 基于 ZigBee 无线感测之智慧型照明环境设计与实作[D]. 台南:国立成功大学电脑与通信工程研究所,2007.

[11] PHILIPS D. Lighting Modern Buildings[M]. Beijing: Architectural Press, 2000.

[编辑:柴福莉]