

基于单片机多场景的智能调光系统设计研究

汪 钰^{1,2} 孙大鹏¹ 吴卫兵¹ 高 鹏¹

(1. 铜陵学院 电气工程学院, 安徽 铜陵 244061;

2. 铜陵学院 光电子应用安徽省工程技术研究中心, 安徽 铜陵 244061)

摘 要: 针对传统道路照明系统能源浪费, 管理效率低下的问题, 文章介绍了一种用单片机控制红外测距传感器和光敏传感器实现照明强度调节的智慧路灯系统。采用 AT89C51 单片机作为控制核心, 利用红外测距传感器对车辆进行检测, 根据人眼视觉暂留效应, 运用 PWM(Pulse Widthmodulation) 技术实现城镇道路的智能调光, 进而推动城市照明系统绿色智能化。对于工作电路, 文章使用 Proteus 和 Keil 软件进行仿真模拟。

关键词: 光敏传感器; PWM 调光; 仿真; 红外测距; 单片机

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1672-0547(2023)04-0097-005

一、引言

随着世界能源危机日益严峻, 节约能源成为我们需要面对的一大问题。而本文主要对智慧路灯系统的组成及工作原理进行概括。智慧路灯主要是通过物联网传输与监测来对环境污染、交通路况、人员分布等问题进行统计, 同时安装有监控摄像头、RFID 技术对周围环境进行实时监控, 搭载了 LPWAN 技术可以满足对物联网低成本完全覆盖。目前国内外较为成熟的技术, 如 LUXICOM 系统、ZigBee 系统等, 仅在路灯调节灯光方面进行改进。但此类系统控制局限于路由协议, 且后期需随时更新, 浪费大量资金, 存在许多不足。本文通过对智慧路灯的研发改进, 将智慧路灯融入智慧城市建设中, 进一步推动智慧城市建设。根据 2015 年 5 月国务院办公厅在《中国制造 2025》(国发[2015]28)号中明确提出, 增强我国对先进节能环保型科技、工艺与设备的研究, 以促进中国工业绿色转型升级^[1]。我们对于智慧城市建设的智慧路灯进行了全方位改进, 智慧路灯通过承载不同的设备使其功能更加丰富。智慧路灯搭载了传感器并运用相关通信技术, 使智慧路灯与网络、云

端连接, 在网络平台中可以轻松了解到各个路段路灯的使用情况, 从而更加方便管理人员对地区管理^[2]。通过单片机作为主控制端, 由 PWM 技术对各路段进行实时灯光明暗调控, 智慧路灯基于周围环境可以实现智能照明。通过红外辐射、红外测距传感器技术及以无线通信技术, 实现了红外线与微波检测、相邻道路灯具之间的无线通信和主副灯具的智能转换^[3]。积极推动城市照明系统绿色智能化, 促进产业可持续发展, 推动国家“绿色照明”工程顺利完成。

二、控制电路设计

(一) 光敏传感器调控灯光

智慧路灯的照明系统主要是由单片机控制, 由光敏传感器通过 AD 转换, 采用 ADC0832 对单片机的信号进行转换, 再经过单片机定时器控制输出 PWM 波形, 从而达到对 LED 路灯灯光明暗程度的控制。工作流程图如图 1 所示。

路灯调节分为自动调节与手动调节两个部分(智慧路灯系统总电路图及相关介绍见附件图 1 所示)。其中手动调节主要用于测试路灯使用情况, 良好程度等检测。自动调节时, 由单片机通过 ADC0832

收稿日期: 2022-02-28

基金项目: 安徽省自然科学基金项目“新能源电动汽车用交流伺服系统控制策略研究”(KJ2020A0692); 铜陵学院校级自然科学一般项目“多能互补供能网络的多尺度优化研究”(2020tlxy02)

作者简介: 汪 钰(1995-), 女, 安徽和县人, 讲师, 研究方向: 自动化智能控制、数字信号处理;

孙大鹏(2001-), 男, 安徽合肥人, 本科生, 研究方向: 电气工程自动化;

吴卫兵(1972-), 男, 安徽广德人, 教授, 研究方向: 电力系统及其自动化、电能质量控制;

高 鹏(1984-), 男, 安徽铜陵人, 副教授, 研究方向: 先进控制理论及其应用。

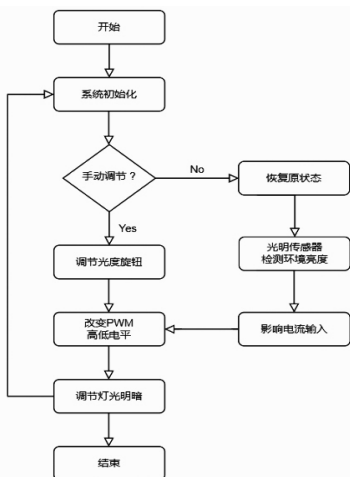


图1 基本流程图

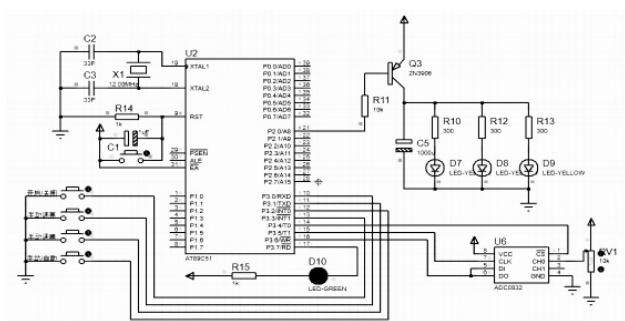


图2 控制LED路灯调节仿真电路图

转换光敏传感器获取的信号,来判断环境明暗程度,从而自动调节路灯亮度。路灯调节原理图如图2所示。

该电路主要采用PWM技术调制脉冲宽度,PWM调光的基本原理是通过驱动器对FET(场效应管)栅极的高电平和低电平调控来控制其接通与断开,并反复变换LED驱动器。通过周期性开启和关闭路灯,控制路灯光照的时间长短,达到路灯的智能调节效果^[4]。例如在实际操作中,可以设置某一短暂时间周期里路灯的固定工作时长。控制3/5的时间开启路灯,2/5的时间关闭路灯,由于人眼具有视觉暂留效应^[5],路灯一直给人眼以3/5亮度亮着的感觉,从而达到调节明暗的效果。

(二)单片机控制红外测距

控制电路主要采用AT89C51单片机,它是由思德瑞猎头公司出品的具备高速、高可靠性、超低功耗、超强抗干扰能力等优势的单片机,是由八千字节的可编程的Flash-ROM和256字节的随机存取存储器所构成,指令代码全面兼容了51系列单片机,对用户应用程序的存储是八千字节数据,单片式微型计算机集成了512字节的随机存取存储器,而且还

包含了中央处理器(CPU)、程序存储器(Flash)、数据存储器(SRAM)、定时/计数器、UART串口、I/O端口、EEPROM、看门狗等模块^[6]。STC89C51系列单片机基本上涵盖了在数据收集与控制过程中所需要全部单元模块,因此可称为一个完整的控制系统。

该红外模块控制系统主要使用AT89C51单片机作为主控制终端,每隔一段时间产生一条红外脉冲信号,并由接收管进行接收,以此计算与目标物体的距离。接收管会受到外部环境因素的干扰,如光照强度、障碍物大小、漫反射强度等,因此也可以采用HPI-6FER2型红外接收管,其具有70~1100nm滤光镜,在10~100000LX光照下仍然输出线性电流,其专门设计的滤波放大电路及单片机滤波算法,能更加有效地降低环境所产生的影响^[7]。红外装置原理图如图3所示。

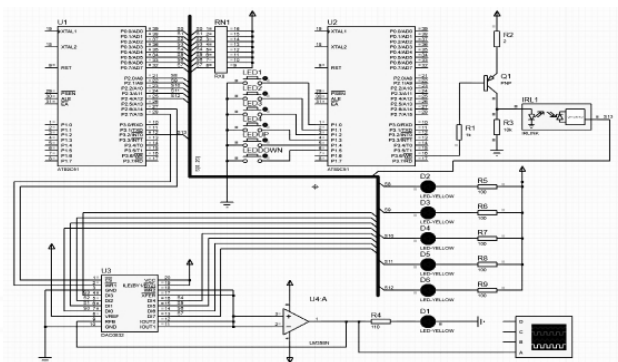


图3 控制红外发射与接收仿真电路图

三、机械设计

产品硬件选取AT89C51单片机系统板、光敏电阻、红外发射接收模块以及基于LoRaWan技术的终端设备零部件,其中部分零部件编号为sx1276、sx1277、sx1278,网关则选取sx1301集成电路与sx1255射频前端芯片等。将传感器模拟信号通过模数信号转换,先传输至LORA模块,再传输至LORA网关,最后到达云端,并且搭建一套信息检测分析系统,将数据以可视化形式向后台人员呈现。路灯不工作时,将自动进入低功耗模式,唤醒模块处于省电状态,定时监听是否有唤醒码。一旦监听到被唤醒,有效数据到达时间大于三个唤醒码时,模块将再次进入睡眠状态,以此达到省电目的。单片机系统板(单片微控制器)具有质量轻、体积小、功耗低、廉价和易开发等特点。在此基础上我们对单片机系统的开发板电路及其他模块进行自主设计组装,使智慧路灯系统具有节能、高效和性价比高等优点。其中,系统的结构及元件如图4所示。

其中光敏电阻运行原理是根据光电效应实现

的,在强光照下,光敏电阻阻值可降至 $1\text{k}\Omega$ 以下;弱光照下,阻值可升至 $1\text{M}\Omega$ 以上。LED 灯即为发光二极管,可直接将电能转换为可见光的半导体器件。LED 灯与白炽灯相比,发光效率提高 90%,与节能灯相比,发光效率提高 75%,为节能减排做出重大贡献。红外发射接收模块又名红外对管模块,由红外线发射管与红外接收管组成。这里指出光谱中波长大于 750nm 小于 1mm 的称为红外线,其频率介于微波与可见光之间。设备工作时,由红外发射管发射红外线到远处,当道路上有车辆或行人来往,红外线经过反射并被红外接收管接收,再由单片机系统对红外接收管的信号进行检测和分析,来判断道路上是否有来往车辆和行人^[8]。

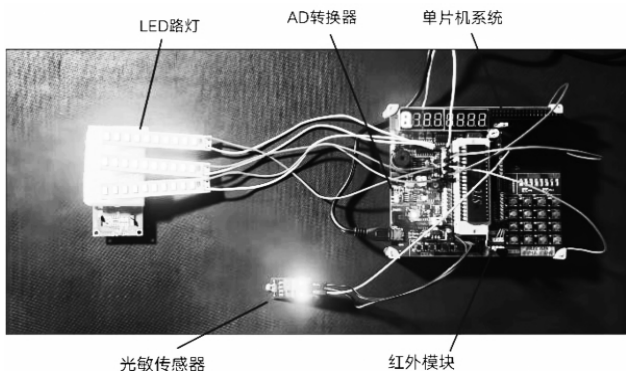


图 4 系统实物图展示

四、系统工作原理

(一)人机交互面板

日常生活中常见路灯的能源供应大多是稳定不变的。在大城市路段中,为满足大量车辆和行人的光照需求,这种路灯使用方式效率较高。而在一些偏远地带或者行人较少的路段,这种路灯的使用方式明显与我国建设节能型城市理念相违背,导致大量能源被浪费。因此,我们给智慧路灯系统添加一种可智能调节路灯亮度的人机交互面板。交互面板及路灯三视图如图 5 所示。

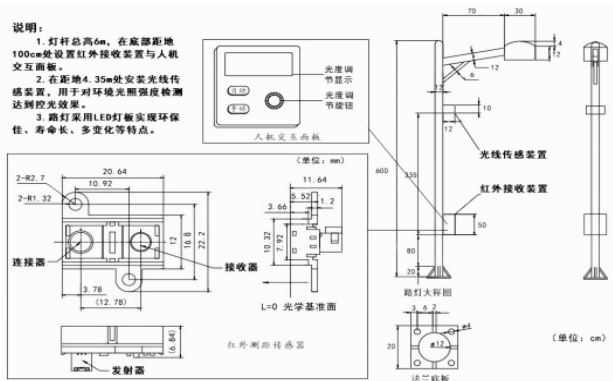


图 5 智慧路灯三视图

1.系统调控

智慧路灯系统使用中,增添了红外发射接收模块以调控路灯能源供应。在实际使用中:可通过智慧路灯的人机交互面板设定初始亮度为 40%,当有来往车辆行驶时,由红外模块发射出的红外线经车辆或行人被反射后,被红外接收模块接收,系统基于返回的信号,可将附近的路灯亮度提高 30%(亮度增幅由程序源码决定,下文时间长度同理)。此时该路灯将会以此亮度工作 2 分钟,之后便恢复至初始设定的亮度。

2.辅助调控

我们在智慧路灯系统上还增添了 PWM 自控调光技术用以辅助调控,使路灯节能效果更加明显。通过路灯外置光敏电阻感应外界环境亮度,经过数据采集与分析后来调控路灯能源供应,以此减少不必要的能源浪费。通过人机交互面板、系统调控与 PWM 自控技术,可以让智慧路灯成为名副其实的低碳节能型路灯。

(二)软件及其原理

产品软件部分包括:pulse width modulation 模拟控制技术、拟控单片机系统的 C 语言代码等。对于 pulse width modulation 模拟控制技术,通过控制其周期性开启和关闭背光的时间长短,并以频闪的方式控制亮度百分比,达到调节 LED 灯显示亮度的效果。比如:当来往车辆较少时,通过单片机系统与 pulse width modulation 模拟。

控制技术的结合,使 LED 显示亮度为 40%。调控的过程为:控制 3/5 的时间开启路灯,2/5 的时间关闭路灯,由于人眼视觉暂留效应,LED 呈现给人眼的视觉效果仍然以 3/5 的亮度存在,而实则 LED 只有 3/5 的时间以 100%的亮度呈现。实际上就是让 LED 灯以一个固定的频率工作,以此实现节能效果。对于红外模块,从红外线发出到被反射物反射,再被红外接收器接收,接收的信号经过带通滤波器,通过积分电路与解调电路进入到比较器,最后还原出发射端的信号波形。该段距离(红外发射器到车辆或行人的距离)为一变量,当有车辆驶来,该距离值将被改变,并将信号反馈至单片机系统,由单片机系统检测并作出相关反馈^[9]。由红外模块与 pulse width modulation 模拟控制反馈至单片机系统的数据,将通过 Lo-RaWan 技术将路灯相关数据传输至基站,再由基站将相关数据传输至后台,实现对路灯使用情况、受损情况、车流量等相关数据的检测与维护,以此实现物联网与智慧路灯的建设。其中,智慧路灯运行图如图 6 所示。

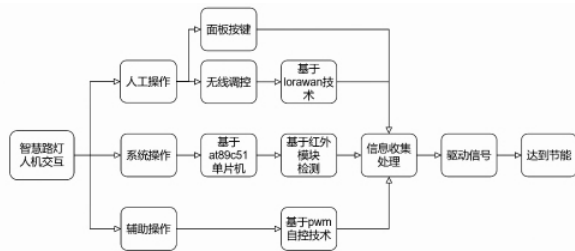


图6 智慧路灯运行图

(三)设备运行能耗分析

模拟智慧路灯系统在各种场景下的工作情况。假设路灯每天工作时长为12小时(晚上18:30开启,早上6:30关闭)。对比不同时间段周围环境的亮度,道路中车辆、行人的通过情况等因素,根据环境亮度、道路交通繁忙情况等综合指标,将路灯工作时间划分为若干个时间段,并将光照强度与不同时间段一一对应。如表1所示。

表1 各时间段光照强度

时间	18:30~19:00	19:00~19:30	19:30~21:10	21:10~21:40	21:40~22:40
光照强度	80%	100%	70%	80%	70%
时间	22:40~00:10	00:10~00:40	00:40~05:00	5:00~6:00	6:00~6:30
光照强度	60%	40%	20%	60%	40%

时间段一(18:30~19:30)处于城市道路交通繁忙期,道路上的车辆、行人多,但在18:30~19:00时间段,实际环境中仍然存在亮度,相应降低路灯光强至全功率运行的80%,而在19:00~19:30时间段,路灯全功率运行。时间段二(19:30~22:40)道路繁忙情况明显降低,但在21:10~21:40再次出现小高峰期,道路上车辆、行人增多,故将此时间段内的光强设置为全功率运行的80%,而将时间段二内的其他时间段光强设置为全功率运行的70%。时间段三(22:40~5:00),道路繁忙程度分时段逐渐降低,因此根据不同时间段依次降低光强至全功率运行的60%、40%和20%。时间段四(5:00~6:30)道路繁忙情况回升,但清晨道路交通存在行人多、车辆少的特点,而在6:00~6:30时间段实际环境又存在亮度,因此设置此时间段光强为全功率运行的40%,设置5:00~6:00时间段光强为全功率运行的60%。

模拟路灯在实际工作时,不同时间段下所消耗功率大小,并将具有相同功率大小的时间段求和。如表2所示(假定路灯以全功率运行时功率为180W)。

表2 某路灯一天的功率消耗

照明功率(W)	36	72	108	126	144	180
所占时间(h)	13/3	1	5/2	8/3	1	1/2

普通路灯每日所用能量:

$$w_0 = p_0 t = 180 \times 12 = 2160 w \cdot h \quad (1)$$

智能路灯每日所用能量:

$$W = \sum P_i t_i = P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + P_4 t_4 + P_5 t_5 + P_6 t_6 = 1068 w \cdot h \quad (2)$$

节能效率:

$$\eta = \frac{W_0 - W}{W} \times 100\% \approx 50.5\% \quad (3)$$

通过以上计算可知:本路灯系统相较于传统路灯而言可以节省一半的能量,能有效降低城市路灯能耗。

五、节能效益分析

(一)环境效益

智慧路灯取代了传统路灯后,通过使用智慧系统控制下的LED路灯,相较于耗电多的高压钠电池,在确保对行驶车辆照明没有影响下,能够将功耗一定程度的降低。标准煤的火力发电为依据,测算节能减排效益,通过数值计算:当我们每年节省1kw·h电量,就相应节省了0.4kgce,对应标准煤0.3619kg,可以降低污染物排放量为:0.3619*4.84*10kg烟气、0.9590kg二氧化碳(CO₂)、0.3619*17.79*10g二氧化硫(SO₂)、0.3619*8.77*10g氮氧化物等。由此可知:我们的系统每年可以有效减少国家能耗和污染物排放量,可有效地节约国家能源。

(二)经济效益

我们通过设备能耗分析,如表1所示。对路灯的运营和维护进行经济效益计算,得到:高压钠灯泡使用寿命低于2年,而由智慧系统控制的LED路灯使用寿命在5年左右。以十年为一个计算周期,高压钠灯加人工费用约为900元,智慧路灯系统控制的LED路灯及人工费约为280元。以电费0.83元/度,设每日路灯工作10小时,智慧路灯系统控制的LED路灯有一大半时间的用电不如原来的一半。有:

$$M = (2.079 \times 0.83 \times 365 - 0.7128 \times 0.83 \times 182.5 - 0.3564 \times 0.83 \times 182.5) \times 10 + (400 + 500 - 80 - 200) \div 10 = 529.87598 \text{ 元} \quad (4)$$

据安徽省统计数据为例,共有1054202盏路灯在道路使用。计算:

$$P = 1054202 \times 529.87598 = 558596317.868 \text{ 元} \quad (5)$$

式中:M代表每年一个路灯相较于原来高压钠灯给安徽省带来的经济效益。

P代表每年安装智慧路灯系统后带给安徽省的经济效益。

故可以看出,智慧路灯系统每年可以为安徽省

带来约 5.59 亿元的经济效益, 存在很好的环境效益和经济效益。

六、总结

本智慧路灯系统除采取时控和集中控制方式之外, 还能按照时间与环境的变化动态地实现远程控制, 从而达到智能管理。系统通过感应装置自动检测周围环境亮度状况可以合理调节路面的照明亮度, 根据不同地段情况可以选择不同灯光策略, 并根据光照强度和各处电路的供电状况采用 PWM 技术自主调节灯光电压, 从而实现节电节能。每年可以为安徽省带来约为 5.59 亿元的经济效益, 同时大大地降低了国家污染排放量。智慧路灯系统总电路图如图 7 所示。控制电路主要采用 AT89C51 单片机, 使用编程软件下载程序至单片微控制器, 总电路中采用光敏传感器与红外发射、接收装置共同执行以调节路灯明暗程度。给系统增加由 C1、C2、C3、X1、R14 组成的单片机复位电路与晶振电路, 使设备在上电时能够恢复至最初状态并使各部分电路保持同步, 能够按照时间顺序进行工作。再通过 ADC0832 模块设计, 将 DO、DI(DO、DI 合并连接)、CS、CLK 引脚与单片机相连接, 利用其模数转换功能, 将 RV1(光敏传感器)接收到的光强信号转换为数字量, 并最终传送至单片微控制器。人机交互面板上的按键, 由开关、手动调亮、手动调暗、手自动调节四个部分组成, 由 D10 和 R15 组成的手自动指示灯进行判断。人机交互面板上的红外装置部分, 主要由 DAC0832 模块通过接收数字信号, 输出对应模拟量, 再由 RX8 电阻块作为单片机外部上拉电阻, 以提高驱动力。通过将红外发射接收电路连接在两个单片机之间, 并配合按键模组实现红外发射与接收操作, 最终利用单片机操作程序可实现路灯明暗调节。

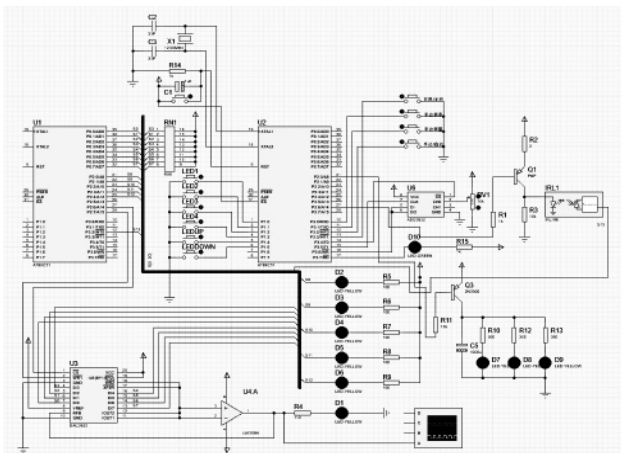


图 7 智慧路灯系统总电路图

参考文献:

- [1] 佚名. 国务院关于印发《中国制造 2025》的通知(摘要)[J]. 中国农机工业协会风能设备分会风能产业, 2015(8): 44-56, 86.
- [2] 谭云月. 一种基于物联网技术的智慧路灯系统设计[J]. 物联网技术, 2020, 10(3): 112-113, 117.
- [3] 刘赏. 路灯智能控制算法研究与系统模拟[D]. 西安: 西安石油大学, 2011.
- [4] 张波, 曹丰文, 汪义旺. LED 路灯驱动及智能调光系统的研究与设计[J]. 照明工程学报, 2011, 22(4): 71-74, 78.
- [5] KIM J, GREGORY F. Retinal spatiotemporal dynamics on emergence of visual persistence and afterimages[J]. Psychological Review, 2019, 126(3): 34-37.
- [6] 邓宇. 基于单片机的智能台灯设计[J]. 电子制作, 2018(12): 9-10, 18.
- [7] 秦庆磊. 一种超低功耗红外障碍物检测模块设计[J]. 电子制作, 2017(7): 15-16.
- [8] 古智锋. 基于红外感应的随行路灯系统设计[J]. 智库时代, 2019(7): 203-204.
- [9] 胡铭. 浅析单片机的红外测控系统[J]. 电子制作, 2018(24): 7-9, 49.

Design of Multi-Scenario Intelligent Dimming System Based on Singlechip

WANG Yu^{1,2}, SUN Da-peng¹, GAO Peng¹, WU Wei-bing¹

(1.School of Electrical Engineering, Tongling University, Tongling Anhui 244061, China; 2. Engineering Technology Research Center of Optoelectronic Appliance, Tongling University, Tongling Anhui 244061, China)

Abstract: Aiming at the problems of energy waste and low management efficiency of traditional road illumination system, this paper introduces a kind of intelligent street lamp system, which uses single-chip microcomputer to control infrared distance measuring sensor and photosensitive sensor to realize lighting intensity adjustment. The AT89C51 single-chip microcomputer is used as the control core, and the infrared distance measuring sensor is used to detect the vehicle. According to the temporary effect of human vision, PWM (Pulse width modulation) technology is used to realize the intelligent dimming of urban roads, so as to promote the green intelligence of urban lighting system. For the working circuit, in this paper, Proteus and keil software are used for simulation.

Key words: photosensitive sensor; pwm dimming; simulation; infrared distance measurement; singlechip