

# 一种无连接通信的高可靠性光幕保护系统

李东,唐露新,黎杰,林俊彬,熊奇欢

(广东工业大学信息工程学院,广东广州510006)

**摘要:**光幕是一种依靠红外发射接收的高可靠性安全保护装置,文中设计一种无连接的简单通信、快速移位接收的光幕保护系统。光幕由两个单片机分别控制接收端和发射端,由最上端的两对发射和接收管完成接收端和发射端的同步工作,代替原有的通信线连接方式。系统采用一对多的红外发射和接收的方式,红外发射端的红外发射管按照一定的顺序依次发光,红外接收端在接收方式上采用一次性并行存储接收信号,然后串行输出接收信号给单片机,提高了系统速度。系统还具有差错冗余功能,能判断是否为误触发信号,并且若任意不相邻的两个管子被挡住或坏掉后,系统还可以恢复正常工作状态;另外通过电路与结构设计,使系统具有很强的抗干扰能力。通过测试表明该系统响应时间快、可靠性高。

**关键词:**光幕;单片机;冗余;红外发射接收;并行存储

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)12-0211-04

## A High Reliability Light Curtains Protection System of Connectionless Communication

LI Dong, TANG Lu-xin, LI Jie, LIN Jun-bin, XIONG Qi-huan

(College of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** The reliability of light curtain plays a very important role, as light curtain guarantee the safety in the system of elevator. It is trying to design a system with wireless communication. Use two chips on both side of transmitting and receiving part to replace the original one chip. Instead of using the original communication line, two series of emitters and receivers were made to complete the synchronous work. The emitter lightened in an order while the receiver part absorbs signals disposably, named as a mode of "one to many" was adopted. The signals will be stored parallelly and output in a serial, which can improve the storage speed highly. Function of error redundancy is also used in the system, so it can recover to the normal condition when any two nonadjacent tubes were blocked or broken. Besides, designed specific circuit and structure to improve the ability of electromagnetic interference and stray light interference. The test result shows that this system is of high speed and high reliability.

**Key words:** light curtain; MCU; redundancy; infrared emission receiving; parallel receiving

## 0 引言

电梯门保护系统的发展经历了机械触板式和非接触式光幕。原有的机械式触板是依靠碰触来识别是否有人或物,容易对人或者物体造成损伤,也容易磨损、受潮、生锈,近年逐渐被非接触式的红外光幕保护系统取代。红外光幕具有检测距离长、反应灵敏、与物体无接触等特点,系统安全可靠,所以目前广泛应用于各种客梯、货梯中。但是随着电梯速度的越来越快和舒适性的要求越来越高,人们对这种安全设施的可靠

性提出了更高的要求。文中设计一种无连接方式的红外光幕,从硬件、软件、通信和结构等各个方面整体上提高系统的可靠性。首先,系统能一次性接收、存储所有一对多的红外光信号,与传统的逐一接收红外信号的光幕相比不容易受到干扰信号的影响,并且存储速度快;其次,对于光电管的老化或者故障,系统还具有差错冗余功能,在工作过程中任意不相邻的两个管子挡住或坏掉后,系统还可以恢复正常工作状态;两个单片机同步通信采用了无连接方式,与传统的采用通信线连接的光幕相比,排除了干扰信号通过通信线对系统造成影响<sup>[1,2]</sup>,或者由于通信线连接不牢固而造成系统的瘫痪;另外,系统采用一系列的软件程序、电路与结构等设计,使系统具有很强的抗电磁干扰和杂光干扰能力。由于采取了新的光电接收方法和一系列的软硬件措施,系统安全可靠大大提高,这种光幕具有很大的市场前景。

收稿日期:2011-12-22;修回日期:2012-04-03

基金项目:粤港关键领域重点突破项目(20080102-5)

作者简介:李东(1985-),男,硕士研究生,研究方向为嵌入式技术与计算机控制;唐露新,教授,教授级高工,主要研究方向为测控技术与仪器、微机应用、光机电一体化、交变磁场肿瘤感应热疗与中高频磁场检测、图像处理及在检测控制中的应用。

## 1 工作原理

### 1.1 系统组成

光幕保护系统由红外发射端和红外接收端组成,原理如图 1 所示。在系统中含有 21 对红外发光、接收管,采用水平一一对齐排列方式。红外管特性角越大,光幕的光线数量越多,安全性越高,但是光幕成本会增加。系统中红外管间距为 90mm,最远可检测到 7m,最大可形成 135 路光束。

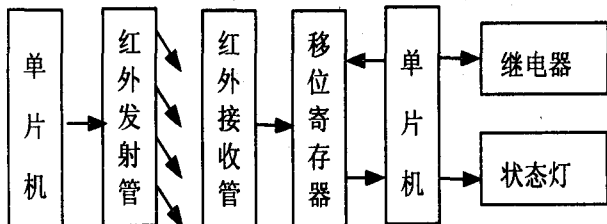


图 1 系统原理框图

红外发射端由单片机和红外发光管组成,单片机寻址发射 38k 的脉冲信号,使发射管依次发光。通过单片机调制红外管发光信号,使其对环境如日光、照明等产生的相似波长的红外线具有很强的抗干扰能力。

红外接收端由红外接收管、移位寄存器、单片机、继电器、状态灯组成。单片机完成与红外发射端的同步工作后,存储寄存器存储每一个发光管发光时所对应的各个接收管输出信号,然后再读取存储寄存器数据,当单片机完成一个周期信号接收后,开始分析所有存储信号,判断光幕是否被挡住,从而输出信号控制状态灯。

普通光幕通过通信线将发射端与接收端连接,完成发射端与接收端的同步工作以及控制发光管发光顺序。本系统采用无连接通信,通过软件分析接收到的数据对发射端和接收端同步操作,使系统可以智能的识别发光管的位置,对系统实现冗余功能起重要作用。

### 1.2 发射模块与接收模块同步

因系统顶端的红外接收管不容易被挡住,所以文中采用以顶端第一个红外接收管作为同步信号的方式,为可靠起见将顶端的第二个红外接收管作为同步信号的备用管。这两个红外接收管还同时作为正常的障碍检测。

系统初始化后,当顶端红外接收管接收到信号,系统将读取各个红外接收管数据并且存储、分析判断是第  $N$  号发光管发射的光,计算下一个周期顶端接收管接收到信号的次数。当  $N$  号发射管再次发光时,红外接收端单片机就会识别并进入同步处理状态,系统经过一定的周期后会自动重复同步操作,以保证系统发射端和接收端良好同步。

顶端第一个接收管被挡或者损坏时,由第二个接

收管代替完成同步校准工作,系统仍能正常工作,从而大大提高了系统同步的可靠性。为了安全起见,如果顶端两个接收管都被挡住或者损坏,系统应输出报警信号。系统一个周期同步波形如图 2 所示。

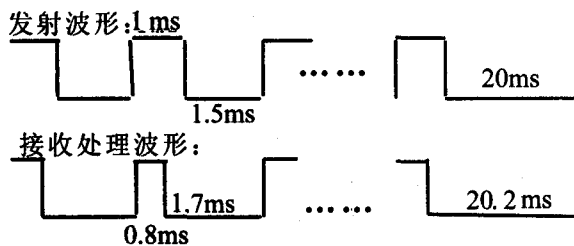


图 2 同步工作波形图

## 2 硬件结构

硬件电路主要由红外发射模块、红外接收模块和输出部分等组成,分别有两个单片机控制。

### 2.1 红外发射模块

红外发光管最为关键,常用的红外发光二极管的波长有 850nm 和 940nm 两种,850nm 的发射管功率大、照射距离远、价格高,主要用于检测远距离的红外检测中,而在光幕中,检测距离一般是 0~6 米,选择波长 940nm、特性角  $15^\circ \sim 45^\circ$  发射管就可满足设计要求。选择合适的光度量参数能够提高系统中发光管、接收管的寿命<sup>[4]</sup>。

发光强度  $I_s$  是指光源在指定方向上的一个很小的立体角元  $d\Omega$  内所包含的光通量  $d\Phi$ , 则  $I_s = \frac{d\Phi}{d\Omega}$ , 在额定工作电流  $I_f$  范围内,若发射管正向压降为  $u$ ,发光效率为  $\eta$ , 则  $I_s = \eta u I_f$ , 设光源  $S$  到面元  $dS$  距离为  $r$ , 并且光源光轴与面元法线夹角  $\theta$ , 则  $d\Omega = \frac{dS \cos \theta}{r^2}$ , 光通量全部投射到  $dS$  的光照度为:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{I_s}{r^2} \cos \theta = \frac{\eta u I_f}{r^2} \cos \theta \quad (1)$$

红外发射管的发光效率和正向压降一般都是定值,由(1)式,光照度控制电流大小成正比,而与检测距离的平方成反比,光照度一定时,适当减少检测距离可以大大减少光电流。文中根据电梯的距离,光电接收管能够可靠接收到红外信号时,设计光照度要求大于 100000lux<sup>[5]</sup>,由公式(1),如果尽量保持距离  $r$  在需要的范围,就可以大大减少光电流  $I_f$ , 从而提高光电接收管寿命。电流与红外发光管的寿命关系可由公式(2)表示<sup>[6]</sup>,

$$\mu = \alpha - \beta \ln I \quad (2)$$

式中  $\mu$  表示红外发射管的寿命,  $\alpha$ 、 $\beta$  表示应力寿命加速常数,参考文献[6]、[7]分别为 40 多和 6~7 之间,  $I$  表示电流应力,从中可见,减少电流可以大大

提高红外发射管的寿命。原文的电流较大,但是对于系统中红外管具有类似的寿命加速计算。

发射电路框图如图 3 所示,红外发射模块中单片机通过 PA0 到 PA6 口控制 7 段发射管,每段发射管上有 3 个红外发射管,通过 PB1 第二功能脚输出调制信号使红外发射管发光,PB3、PB6 控制移位寄存器 hef4094 的时钟信号和数据位,使每个发射管依次发光。

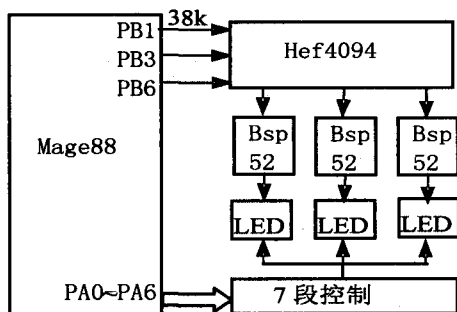


图3 发射电路框图

## 2.2 红外接收模块

红外接收管电路如图 4 所示,顶端红外接收管 L0、L1 是同步管,同时作为红外接收部分。红外接收模块通过单片机控制接收发射管的红外光信号,完成与发射模块的同步工作以及对信号的分析处理。红外接收管接收到的是调制光信号时<sup>[8]</sup>,通过内部的解调功能直接输出低电平,单片机通过控制 74HC165 存储器收到的红外信号,并传递到单片机,单片机对 21 个红外发光管依次发光时所接收的数据整体分析、判断电梯门有无遮挡,从而输出一个开关门信号。当一个红外发光管发光时,能够接收到信号的红外接收管的个数为 1 或 3 或 5 或 7。

系统完成同步以后,发射模块中每个发射管的发

光时间 1ms,休眠 1.5ms,并且按照一定的顺序依次发光。芯片 74HC165 读取红外信号的时间为 0.8ms,这个时间要保证各个接收管脚电平信号能够并行写入寄存器中,芯片 74HC165 会在 1.7ms 时间里将接收到信号串行输出给单片机。最后一个发射管发光后,接收端单片机开始对接收到的数据分析处理,判断出是否有人或物体挡住门,并且输出一个控制开关门的信号,然后在对发射端进行下一个周期的 L0 管进行同样的同步操作,进行下一周期的红外接收。

### 2.3 输出部分

红外光幕输出方式有常开 NPN、常闭 PNP 型晶体管。NPN 型控制输出在系统触发时,信号输出线 OUT 和电源线 VCC 连接,相当于输出高电平;PNP 型控制输出在系统触发时信号输出线 OUT 和 0v 线连接,相当于输出低电平 0v。在常开方式下,输出晶体管在光幕未触发时闭合,触发时打开;而常闭方式则相反,故使用 PNP 型常闭方式系统断电时是安全的<sup>[9]</sup>。

### 3 系统软件设计

如图 5 所示为光幕软件系统框图。其中发射单片机中的发射模块在虚线框中,包括发射端初始化、发射管发光。接收单片机中同步操作模块、接收模块分别在两个虚线框中,同步操作模块包括同步操作、准备接收一次、是否同步,接收模块包括接收红外数据、一个周期、是否遮挡、容错处理、开关门信号、报警等。

发射端单片机初始化后,发射管依次发光,接收端单片机首先进行同步操作,然后接收一个周期的红外信号,最后完成冗错处理,其中冗错处理包括是否挡住的是冗余位、是否要进行冗余操作、是否有两个相邻的红外接收管被挡住等,进一步分析判断是否有物体挡

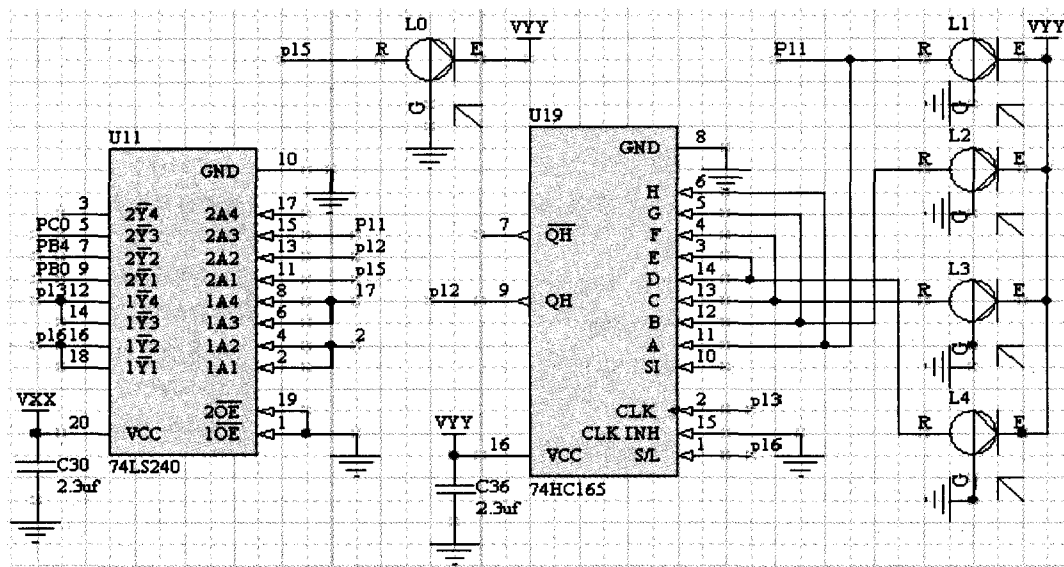


图4 接收管电路连接图

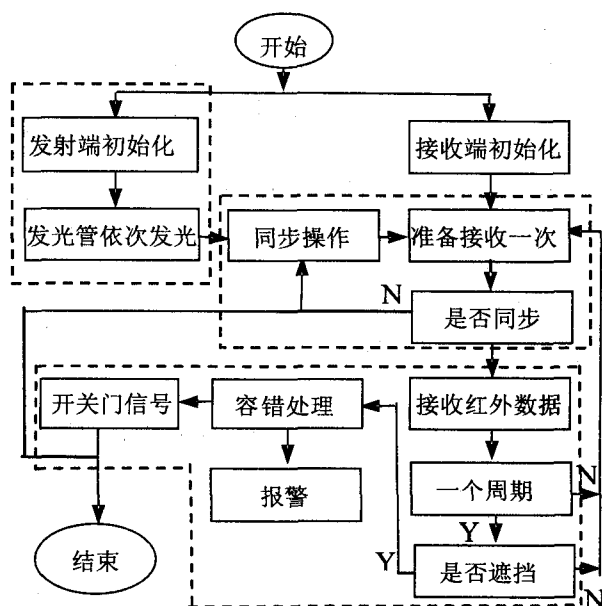


图 5 系统软件框图

住门,从而输出一个控制门的信号。

软件系统设计要响应时间快、在同步过程中要能实现软件冗余,增加看门狗,防止进入死循环状态。

#### 4 抗干扰与可靠性设计

系统所处环境比较特殊,灰尘、电磁干扰、电源、变频器、红外管衰弱等都可能影响系统工作,因此光幕系统要求具有很高的可靠性。系统针对同步过程、软件、硬件和结构等方面采取了一系列措施,以保证系统的安全可靠。

同步处理过程中,采用一个备用的红外接收管作为同步管,以保证第一个红外接收管坏掉或者被挡住的情况下,系统可以恢复正常工作状态,并且系统经过几个周期后会重复操作同步过程,这样减少了发射端和接收端的同步时间误差。

在软件系统中,如果有任意不相邻的红外接收管或发射管发生故障,并且持续了 60 秒,软件将管子旁路,光幕系统恢复正常工作状态,这样提高了系统的可靠性,当相邻的两个管子发生故障,如果旁路去两个管子,那么有一个很大区域会成为盲区,从而使光幕系统变的不安全,此时系统应当有一个报警信号。

在硬件电路中采用了隔离技术、屏蔽技术、接地技术和去耦电路、输出信号隔离等多种抗干扰措施<sup>[10]</sup>。对于电源干扰,可经过直流、交流双重稳压,多重低通滤波,双重直流滤波稳压等措施排除电源干扰<sup>[11,12]</sup>。

在电磁、结构方面进一步采取措施,以增强系统的抗干扰能力。电磁干扰是电磁波通过光幕周围环境进入系统的,对此将光幕板与外壳接触部分连接电阻、电容后接地以达到抗干扰目的。结构抗干扰就是减少接收管的受光范围,在制作接收端 PCB 时,制定合适宽

度的透光槽,增加抗干扰能力。

另外,通过软件、硬件结合的方式增强抗干扰,在接收端电路中,由图 3 可以看出,每个红外接收管存储信号占 2 位,单片机通过软件分析数据时就可以判断是否是干扰信号,从而大大提高了可靠性。

#### 5 结束语

表 1 是光幕系统性能在模拟电梯抖动、电磁干扰等环境下几个重要的测试数据:

表 1 光幕系统性能测试表

测试项目	设计要求	测试结果
水平允差	$\pm 8\text{mm}$ 、 $7^\circ$	$\pm 10\text{mm}$ 、 $10.4^\circ$
垂直允差	$\pm 15\text{mm}$ 、 $7^\circ$	$\pm 17\text{mm}$ 、 $8.5^\circ$
响应时间	$<100\text{ms}$	$<70\text{ms}$
运行功耗	4w	3.2w
冗余功能	屏蔽不相邻的触发 LED	不相邻 LED 在触发 60s 后屏蔽

以上数据是 15 次测量的平均值,由表 1 中的值可以看出各项测试都达到或超过设计的要求,降低了系统功耗。在响应时间上,由于系统采用一对多的扫描方式,接收管同时打开接收红外信号,再串行地将数据传送给单片机,由图 2 可知,这种方式在最坏情况下最快的响应时间是 70ms,在与传统的逐一扫描方式的光幕相比快了 70ms 左右,具有反应速度快的特点,另外水平误差和垂直误差的实验数据比设计要求提高了,可以防止电梯在抖动过程时,光幕发生误判,电梯光幕的可靠性大大的提高了。

#### 参考文献:

- [1] 洪伟,刘永国. 电梯门光幕保护装置浅析[J]. 中国电梯, 2008,19(7):43-48.
- [2] 胡绪东. 光幕与电梯发展三十年[J]. 中国电梯,2009(16): 102-102.
- [3] 张若军. 电梯光幕保护装置及选用[J]. 中国电梯,2004,15(3):5-10.
- [4] Anon. Light curtain protects machinists[J]. Institution of Mechanical Engineers,2006,14(6):48-49.
- [5] 熊家新,陈平. 红外光幕系统研究[J]. 长春光学精密机械学院学报,2000,23(3):9-12.
- [6] 周跃平. GaN 基于发光二极管寿命测试机失效分析[J]. 半导体光电,2007,28(3):346-347.
- [7] 张建平. 对数正态分布下基于 MLE 的红外 LED 的寿命预测[J]. 液晶与显示,2011,26(1):68-72.
- [8] Karotki A, Kruk M, Drobizhev M, et al. Efficient singlet oxygen generation upon two-photon excitation of new porphyrin with enhanced nonlinear absorption[J]. IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron,2001(7):971-975.
- [9] Miller C C, Zong Yuqiu, Ohno Y. LED photometric calibrations

(下转第 218 页)

准进行,每个子载波调制方式均用 QPSK, Turbo 编码采用删余码。其它仿真参数参见文献[2]。

图 5 给出了两种编码参数下的仿真对比图。图中对传统的 Turbo 译码方法和基于相关性的 Turbo 译码方法进行了对比。在时变 OFDM 环境下,同传统方法相比,基于相关性条件的流水线 Turbo 译码方案所给出的误比特率(BER)要低,尤其是当 SNR 趋向典型工作环境(20dB)时,后者的 BER 很低,接近  $10^{-4}$ ,可见,系统性能有较大的改进。

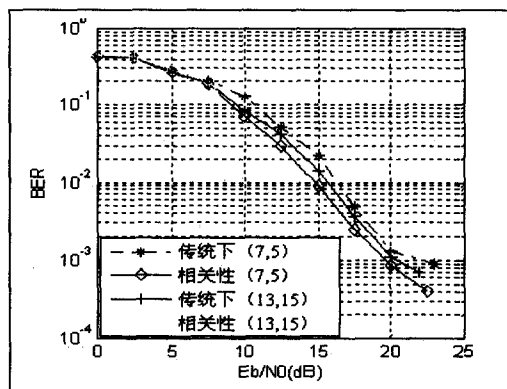


图 5 不同 SNR 下的误比特率

表 1 给出了相关的仿真运算时间,从译码时间角度来看,考虑相关性后,译码时间有若干增长,但出现突发错误的帧比较少,增加的时间并不是太长,但从图 5 可以看出,误比特率有很大的下降。因此,考虑相关性的方案,虽然译码时长有增加,但换来整个 OFDM 系统性能上的优化,符合大多数通信业务质量上的要求。

表 1 仿真平均运算时间

方案	译码时间(second)
相关性下方案	386.475022
传统方案	257.246114

另外需要指出的是,随着多核 DSP 的出现,MAP 算法和 LOG-MAP 算法在硬件上可以并行执行,MAP 算法虽然执行时间长,但考虑到出现较多错误的数据帧的概率很低,从统计意义而言,二者时间其实差不多,这非常有利于高速数据流的实时处理。故该方案具有很好的理论指导意义和实用价值。

#### 4 结束语

文中推导分析了 OFDM 相邻子信道间频率响应

的相关性,推导出了相关方式,在此基础上,基于一种新的统计策略,提出了一种新的 Turbo 译码方案。利用 MATLAB 语言,对 Turbo-COFDM-WLAN 系统进行了仿真,通过绘制的性能曲线给出了误码率和性噪比之间的关系,对比分析后可以得出结论,考虑相关性条件下的 Turbo 译码效率更高。

#### 参考文献:

- [1] Tsai Y C, Deng S K. Turbo Coded OFDM for Reducing PAPR and Error Rates[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008(1): 84-89.
- [2] 方承志,都思丹,倪梁方.基于半定松弛方法的时变 OFDM 系统盲信道估计[J].电子与信息学报,2008(8): 1801-1805.
- [3] 刘次华. Turbo 码原理与应用技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [4] Sabbaghian M, Kwak Y, Smida B, et al. Near Shannon Limit and Low Peak to Average Power Ratio Turbo Block Coded OFDM[J]. IEEE Transactions on Communications, 2011(8): 2042-2045.
- [5] Zhao Ming, Shi Zhenning, Reed M. Iterative Turbo Channel Estimation for OFDM System over Rapid Dispersive Fading Channel[J]. IEEE Transactions on Communications, 2008(8): 3174-3184.
- [6] Choi K. Pilot overhead reduction in turbo coded OFDM systems employing an iterative channel estimation under low signal-to-noise ratio environments[J]. IET Communications, 2010(3): 312-321.
- [7] Ylioinas J. Iterative Joint Detection, Decoding, and Channel Estimation in Turbo-Coded MIMO-OFDM[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009(4): 1784-1796.
- [8] 陈秀萍,刘彩虹,纪金水.基于仿真的 OFDM 系统频域相关性研究[J]. 计算机工程学报,2010,9(7): 114-116.
- [9] Necker M C, Stuber G L. Totally blind channel estimation for OFDM on fast varying mobile radio channels[J]. IEEE Trans. on Wireless Communication, 2004(5): 1514-1525.
- [10] Cui Tao, Tellambura C. Joint data detection and channel estimation for OFDM systems[J]. IEEE Trans. on Communications, 2006(4): 670-679.
- [11] 汪裕民. OFDM 关键技术与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [12] 赵光玲,吴乐南. Turbo 码的高效调制方案[J]. 东南大学学报,2001(5): 1-6.

(上接第 214 页)

at the National Institute of Standards and Technology and future measurement needs of LEDs[J]. Proc. of SPIE, 2004, 5530: 69-79.

- [10] 闫冬. 单片机系统硬件抗干扰常用方法[J]. 集成电路通讯, 2006, 24(4): 20-22.

- [11] 张丽,樊文生. 单片机应用系统的软件抗干扰策略[J]. 通信技术, 2008(1): 124-126.
- [12] 李杰. 水质快速检测及工业循环冷却水阻垢系统的研究[D]. 重庆:重庆大学, 2007.