

# 基于多普勒频移原理的紫外线灭菌室智能监控系统

姜涛, 张云伟<sup>\*</sup>, 何芳

(昆明理工大学现代农业工程学院, 昆明 650093)

**摘要:** 为了解决人员误入工作中的灭菌室被紫外线照射的问题, 设计了一种基于多普勒频移原理的紫外线灭菌室智能监控系统。根据生物的生命体行为特征, 提出一种新的生物识别方法, 并建立了多普勒频移数学模型。制作了生物识别模块, 采用 SPCE061A 单片机为控制核心搭建验证平台, 进行了生物识别试验。试验结果表明, 系统最高识别率为 99.58%, 紫外线灭菌室智能监控系统满足工作要求。

**关键词:** 多普勒频移, 超声波, 紫外线灯, 生物识别, 语音识别

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.028

中图分类号: TP23

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0156-05

姜涛, 张云伟, 何芳. 基于多普勒频移原理的紫外线灭菌室智能监控系统[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 156—160.

Jiang Tao, Zhang Yunwei, He Fang. Intelligent monitoring system for ultraviolet sterilization room based on Doppler shift[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 156—160. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

紫外线灭菌灯通过紫外线对微生物的照射, 以改变及破坏微生物的组织结构 (DNA-核酸), 导致核酸结构突变, 生物体丧失复制、繁殖能力, 使细菌发生变异或死亡达到消毒杀菌目的。此外, 紫外线灯还具有分解恶臭气体、净化环境的作用, 可用于消除动物粪便、垃圾产生的恶臭。在植物嫁接过程中, 需要首先使用紫外线灯进行灭菌消毒处理。因此, 作为一种常规有效的杀菌消毒设备, 紫外线灭菌灯已经在社会各领域得到广泛应用。

但是紫外线灭菌灯的使用具有危险性, 如果直接照射人或动物, 容易造成眼睛、皮肤的伤害, 所以紫外灯应在没有人或动物的情况下使用。市场上现有的大多数紫外线灯产品没有自动保护装置, 需要操作人员手动开启和关闭, 其安全依赖于操作人员的严谨和安全意识, 给使用者带来很大的不便及安全上的隐患。近年来, 常有紫外灯使用不当, 对人眼睛、皮肤造成伤害的报道<sup>[1-4]</sup>。造成这类事故的主要原因是使用人员操作疏忽, 开启后忘了关闭, 或是在可能有人进入的工作时段开启紫外灯。

目前紫外线灯针对操作人员的保护装置比较单一, 仅限于对时间与出入人数的控制。例如设定紫外线灯的运行时间, 避免工作时间内开启紫外线灯; 利用红外线传感器在紫外线灭菌室入口进行出入人员数量的统计,

在出入人数相等时才可以开启紫外线灯。以上方法的实时性与动态性较差, 不能完全反映灭菌室内的真实情况。而超声波传感器系统可以利用和目标之间的相对运动所产生的多普勒频移, 来识别物体的运动状态<sup>[5-11]</sup>, 从而可以实时监控灭菌室内的状况。

本文针对紫外线灭菌室消毒使用实际需求, 利用多普勒频移的性质, 建立了完整的多普勒频移识别数学模型, 采用 SPCE061A 单片机制作了验证平台, 用语音识别和声音解码技术构建了友好的互动人机界面, 工作人员只要设定几个简单的参数, 系统就可以实现全程智能监控, 以解决紫外线灭菌室工作人员保护方面的问题。

## 1 生物识别方法

### 1.1 识别分析与方法

生物识别是指通过人类生物特征进行身份认证的一种技术, 生物特征具有唯一的、可以测量或可自动识别、终身不变等特点<sup>[12-13]</sup>。生物识别分为身体特征和行为特征两类。身体特征包括: 指纹、掌型、视网膜、虹膜、人体气味、脸型、DNA 等; 行为特征则包括: 签名、语音、运动位移等。其中指纹、掌型、DNA 等都需要接触人体才可以测量, 测量不方便; 视网膜、虹膜、脸型等受光照强度等因素影响较大, 在光线不足的条件下无法测量; 而位移不需要接触生物体, 受外界影响较少, 容易测量。

人或动物在生命活动或走动的过程中会使身体产生位移, 例如走动会使整个身体产生位移; 人在静止时呼吸会使胸围产生变化, 用超声波传感器检测这种位移, 可以检测人的生理活动。通过这种方法, 达到监测紫外线灭菌室中是否存在生物 (人或动物) 的目的。

### 1.2 识别模型

设超声波发生器与运动目标的距离为  $R$ , 则在超声波

收稿时间: 2009-07-09 修订时间: 2009-09-11

基金项目: 云南省应用基础研究基金项目 (2009ZC041M)

作者简介: 姜涛 (1984—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 研究方向: 机器人智能控制与多传感器信息融合技术。昆明 昆明理工大学现代农业工程学院, 650224. Email: jtxyz@126.com

\*通信作者: 张云伟 (1972—), 男, 云南昆明人, 副教授, 博士, 研究方向: 微特机器人与精密测控技术。昆明 昆明理工大学现代农业工程学院, 650224. Email: zhangyunwei72@gmail.com

到达目标并且返回的双程路径中, 波长  $\lambda$  的总数为  $2R/\lambda$ , 每个波长对应  $2\pi$  的相位变化, 双程传播路径的总相位变化为

$$\phi = 2\pi \times \frac{2R}{\lambda} = 4\pi R / \lambda \quad (1)$$

式中:  $\phi$ ——相位变化的角度;  $\lambda$ ——波长;  $R$ ——超声波传感器与被测物体的直线距离。

如果目标相对与超声波传感器运动,  $R$  和相位都会随时间发生变化。求公式 (1) 关于时间的导数, 可得到相位随时间的变化率, 即角频率为

$$\omega_d = \frac{d\phi}{dt} = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{dR}{dt} = \frac{4\pi v_r}{\lambda} = 2\pi f_d \quad (2)$$

式中:  $v_r = dR/dt$ ——径向速度, m/s, 或者距离随时间的变化率。

如图 1 所示, 如果目标的速度矢量与超声波发生器和目标间的视线夹角为  $\theta$ , 那么  $v_r = v \cos \theta$ , 这里  $v$  是速度或者速度矢量的幅度。相位  $\phi$  随时间的变化率是角频率  $\omega_d = 2\pi f_d$ , 这里  $f_d$  是多普勒频移, 从公式 (2) 可得

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda} = \frac{2f_t v_r}{c} \quad (3)$$

式中:  $f_t = c/\lambda$ ——超声波频率;  $c$ ——声速。

目标静止时  $f_d = 0$ , 输出信号为常数。当探测系统工作时, 其测量的数据是固定的, 仅在测量误差范围内波动。有人或动物进入后, 测量数据产生大幅度波动, 即认为有人或动物误入。

为了适应数字化处理, 根据多普勒频移理论可得

$$f_d = f_t - \frac{n}{t} \quad (4)$$

式中:  $n$ ——系统设定接收回波脉冲的个数;  $t$ ——识别模块接收  $n$  个回波脉冲所用时间。

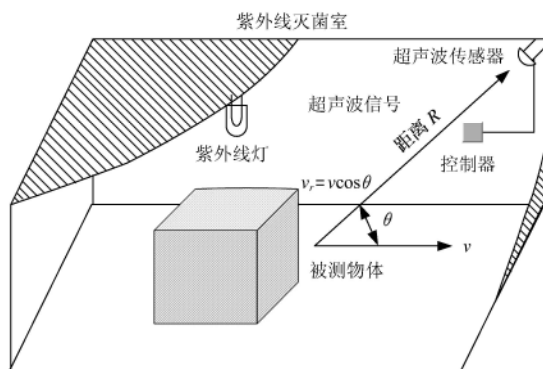


图 1 识别系统原理

Fig.1 Principle of recognition system

## 2 系统结构

根据系统所处的特殊工作环境, 操作人员在工作时可能不使用手来进行操作, 选用可以实现语音识别功能的 SPCE061A 作为系统中央处理器, 并根据系统需求添加应用模块, 其结构如图 2 所示。

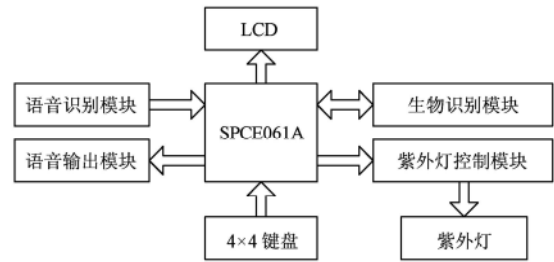


图 2 紫外灯系统结构图

Fig.2 Structure of the ultraviolet lamp system

系统建立了两套输入输出系统,  $4 \times 4$  键盘可以进行系统数据的输入, 并在 JM12864M 液晶显示器上显示, 也可以通过语音输出模块输出语音信号。语音识别模块可以识别工作人员的语音指令, 在不方便使用手工操作时进行语音操作。紫外灯系统启动后, 生物识别模块开始检测紫外消毒室有无生物存在 (人或动物), 如果发现有生物进入, SPCE061A 主控模块通过紫外灯控制模块使紫外灯关闭并进行语音提示报警, 图 3 为硬件实物图。待检测生物离开灭菌室后再开启紫外灯。

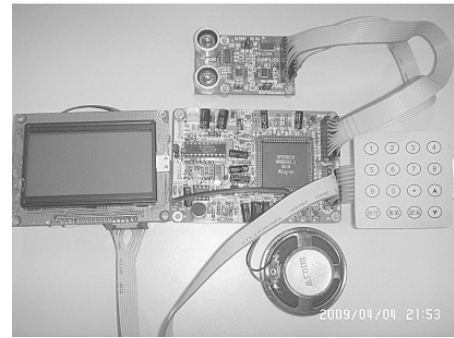


图 3 硬件实物图

Fig.3 Hardware system

## 3 硬件设计

### 3.1 SPCE061A 处理器

为了建立友好的人机交互界面, 实现语音识别的功能, 采用 SPCE061A 处理器作为系统主控制器。SPCE061A 采用 16 位  $\mu'nSP^TM$  微处理器核心, 最高工作频率为 49.152 MHz; 内嵌 32 K 字节 FLASH, 可以存储大量语音数据而不用外扩存储器, 使用 SACM\_S240 音频解码方式, 可以存储 210 s 的语音资料; 省电模式下功耗为  $2 \mu A/3.6 V$ 。系统设计采用模块化方式, 液晶显示器采用 SPI 总线方式连接, 该方式连接方便, 通用互换性好。语音识别模块由主控制器中内置放大器和自动增益控制器组成, 可以和麦克风直接连接。

### 3.2 识别模块

生物识别传感器采用谐振频率为 40 kHz 的发射、接收分立超声波传感器, 最高驱动电压 20 V。

超声波发生部分: 单片机产生 40 kHz 的方波信号经由 CD4049 芯片组成的超声波谐振载波调理电路, 使超声波传感器产生谐振, 发射超声波信号探测生物体。

超声波接收部分: 由于经物体反射回的超声波信号

微弱, 换能后产生的电信号也比较低, 采用高精度运算放大器 ICL7650 组成两级放大前向通道, 放大倍数为 10 000 倍, 对信号进行放大; 用 LM311 对放大后的信号进行调整、限幅和整形等处理, 将反馈信号发送给单片

机。接收的信号为微伏级<sup>[14]</sup>, 信号放大的同时, 噪声信号也被放大, 对单片机的信号处理产生影响, 所以设计了 40 kHz 带通滤波器来消除噪声干扰。图 4 为识别模块电路图。

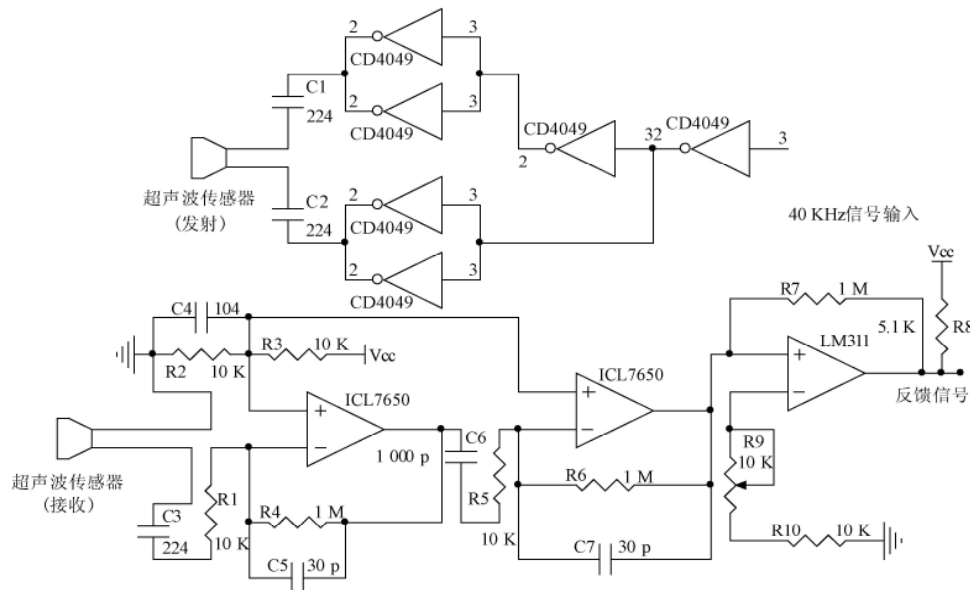


图 4 识别模块电路

Fig.4 Circuit of recognition module

### 3.3 语音输出电路

喇叭由 SPY0030A 芯片驱动, 该芯片工作电压为 2.4~6.8 V, 最大输出功率为 800 mW, 输入电阻为 8 欧姆。图 5 为 SPY0030A 与主控制器连接图, 8 脚、3 脚为电源与地; 1 脚、2 脚为语音输出; 4 脚、5 脚语音信号输入; 6 脚为参考电压; 7 脚为片选。SPY0030A 的 5 脚连接 SPCE061A 单片机的 21 脚, 4 脚连接与单片机的公共地。1 脚、2 脚直接连接 8 欧姆喇叭。在输入的前向通道设计了  $\pi$  型带通滤波器, 20~20 000 Hz 的音频信号可以通过, 其他频率的信号被滤除, 保证了输出的稳定性。在电源与地之间都加有旁路电容, 提高了输出系统的抗干扰性。

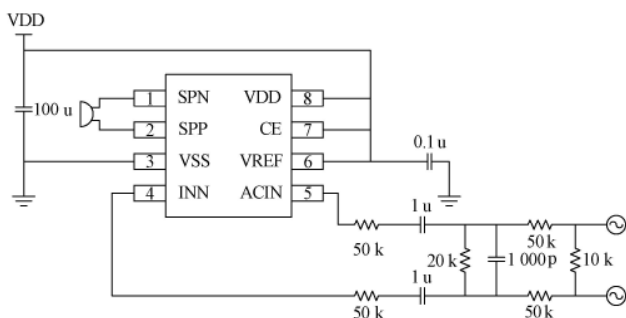


图 5 SPY0030A 电路图

Fig.5 Circuit of SPY0030A

## 4 软件设计

系统软件包括主控系统程序、液晶显示子程序、键盘扫描子程序、识别系统子程序等。系统初始化完毕就进入睡眠节电模式, 当操作人员进行键盘输入, 键盘中断唤醒系统, 系统开始工作。

### 4.1 生物识别

本系统采用脉冲记数法, 由于单个脉冲所得到的多普勒频移量非常小, 单片机系统无法识别, 故采用发送多个脉冲信号, 将其频移量累加后再进行提取, 由 SPCE061A 主控模块系统中断产生精确脉冲信号, 每次测量向识别模块发送脉冲信号。同时打开计数器进行计时; 等计时达到一定值后再开始检测回波信号, 以避免余波信号的干扰。

采用外部中断对回波信号进行检测。接收到回波信号后, 计时器与脉冲计数器分别开始计时和记数, 由于发射的脉冲在转换成超声波并且遇到物体返回的过程中可能丢失个别脉冲, 所以设定接收脉冲个数, 待接收到的脉冲数等于该数值时, 计时器输出时间, 利用公式 (4) 所建立的数学模型对数据进行处理, 从而得到频移量。为减小测量误差, 每测量 4 组数据, 进行一次数据处理得到一个测量值。系统根据生物活动特性设定生物运动速度, 通过公式 (4) 求出的频移量将其带入公式 (3), 进行推导, 可求出物体运动速度, 该速度与所设定生物运动速度进行比对, 并做出相应决策。数据存在一定的误差, 系统设定了 1 个阈值, 来解决测量误差的问题。

### 4.2 语音识别

系统采用非特定发音人识别, 语音样板由不同年龄、不同性别、不同口音的人进行训练, 可以识别不同人的命令。语音识别过程如图 6 所示。

首先调用 `int BSR_DeleteSDGroup(0)` 函数对系统进行初始化, 然后调用 `int BSR_Train(int CommandID, int TraindMode)` 函数进行训练, `CommandID` 命令序号范围从 `0×100` 到 `0×105`。TraindMode 为要求训练的次数, `BSR_TRAIN_ONCE` 要求训练 1 次; `BSR_TRAIN_TWICE`

要求训练两次。训练成功返回 0；没有声音返回-1；训练需要更多的语音数据返回-2；环境噪声太大返回-3；数据库满返回-4；两次语音命令不同返回-5；序号超出范围返回-6。训练成功后调用 void BSR\_InitRecognizer(int AudioSource) 函数进行辨识系统初始化，用 BSR\_GetRuesult()函数进行辨识数据结果获取，无法识别命令时返回 0；识别命令成功返回命令序号，系统得到指令后执行相应操作。

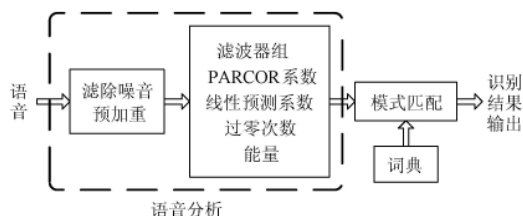


图 6 语音识别

Fig.6 Speech recognition

## 5 试验与分析

根据超声波传感器的工作参数，向识别模块提供 40 kHz 脉冲信号，每个测量周期信号发射时间为 3 ms。信号周期为 25  $\mu$ s，脉冲宽度为  $\tau = 12.5 \mu$ s，波形在空间伸展长度为  $c\tau = 4.14 \text{ mm}$ ，当两个等同的目标相隔距离为该值的一半，即  $c\tau/2$  时，可以被分辨，该识别系统静态分辨率为 2.07 mm。为了准确测量频移量，待测试样本使用长方体并模拟人体体积，其长宽高尺寸为 470 mm  $\times$  235 mm  $\times$  1 500 mm，且表面进行光滑处理以提高超声波反射率。识别模块安装在距地面 3.5 m 高度，设定有效检测范围为距地面 2 m 的空间，开启检测回波端口时间为 4.36 ms。利用示波器对接收传感器进行监测，如图 7 所示，测得超声波信号共有两个波束，第一个波束为余波信号，即超声波接收器在发射器发射信号后，立即接收到的超声波信号。经过一段时间后接收到另一个波束，即为经过被测物表面反射的回波信号。

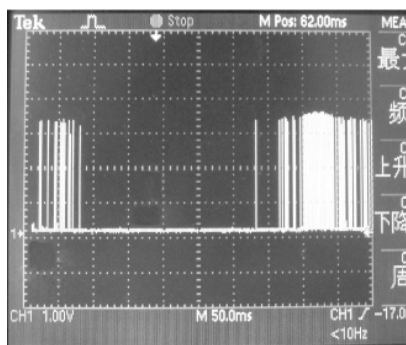


图 7 超声波信号

Fig.7 Ultrasonic signal

声速和温度成线性关系，常利用经验公式<sup>[15]</sup>  $c=331.4+0.607T$  对速度进行修正，从而提高了系统精度，减小了环境对监控系统的影响。

监控系统在紫外线灭菌室中进行试验，待识别物体的位移距离分别为 1、3、5、10 cm，位移 1 cm 时为模拟

工作人员静止不动其呼吸作用产生的频移量；位移 3 cm 时为模拟工作人员轻微移动产生的频移量；位移 5 cm 时为模拟工作人员进行工作时所产生的频移量；位移 10 cm 时为模拟工作人员走动时所产生的频移量。在最大识别距离上等距选择若干点进行试验，识别模块正对待测物体运动，防止出现死角并排除其他干扰，达到最佳识别效果。为了便于测量，待测物体运动速度均为 2 m/s，利用步进电机控制位移与时间得到相应速度，试验数据如表 1 所示。系统识别率如图 8 所示。系统最高识别率为 99.58%，位移距离为 1 cm 时识别率为 86.47%，平均识别率为 95.55%。

表 1 试验数据

Table 1 Experimental data

位移距离/cm	样本数量	识别数量	未识别数量
1	355	307	48
3	240	239	1
5	150	148	2
10	80	78	2

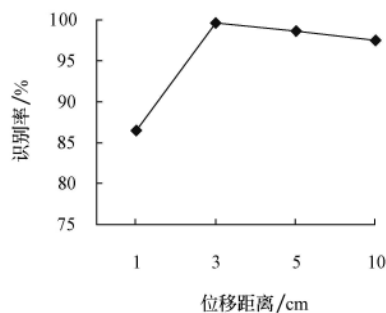


图 8 系统识别率

Fig.8 Recognition probability

在 3、5、10 cm 的位移距离上测量，不识别的点最多为 2 个，这 3 组试验中最高不识别率为 2.5%，可认为是系统在受到随机电磁干扰后，导致系统不稳定使系统不能正确识别，可以增加去耦电容或在布线时增加屏蔽层来增加系统的鲁棒性。1 cm 位移距离上已经接近理论最大识别精度，由于传感器精度、电源不稳定等原因，导致系统识别率下降，选用精度更高的传感器与性能更稳定的芯片，使系统更接近理论识别率。系统平均识别率保持在 95.55%，但是待测物体表面经过光滑处理，其超声波反射率较高，在实际应用中，由于人体的超声波反射率较低，所以会降低系统识别率。待测物体在传感器正前方进行移动，其识别效果良好，但在正下方进行试验，误差较大不能识别，出现了死角，分析其原因为超声波传感器具有方向性，在超声波不能达到的地方无法进行识别，但试验样本模拟的人体反射表面积与系统分辨率之比约为 340 580 : 1，由此可见，在灭菌室中出现死角的面积较小。解决该问题可以根据紫外线灭菌室环境结构，在操作人员工作区域增加超声波传感器个数，利用多传感器信息融合技术，来消除存在的死角。

## 6 结 论

设计了一种紫外线灭菌室智能监控系统供养殖场灭

菌室使用。该系统利用生物识别与多普勒频移原理进行识别灭菌室中是否有人或动物进入,建立了多普勒频移生物识别数学模型,并验证了其可行性。利用语音识别技术构建友好的人机界面,使操作人员在不方便使用手工操作时,进行语音指令操作。试验结果表明,系统最高识别率为 99.58%,位移距离为 1 cm 时识别率为 86.47%,平均识别率为 95.55%,其识别精度满足工作要求。系统在养殖场紫外线灭菌室中应用,防止了工作人员误入灭菌室被紫外线灯照射的情况发生。其方法为相关领域应用提供借鉴。

### [参 考 文 献]

- [1] 陈克春. 紫外线灭菌灯致角膜损伤三例[J]. 眼外伤职业眼病杂志, 2005, 27(2): 157.  
Chen Kechun. UV lamps induced corneal injury in 3 cases[J]. Chinese Journal of Ocular Trauma and Occupational Eye Disease, 2005, 27(2): 157. (in Chinese with English abstract)
- [2] 徐上浩. 误用紫外线灭菌灯致眼部损害 29 例[J]. 人民军医, 1992, (11): 55.  
Xu Shanghao. UV lamps to the misuse of 29 cases of eye damage[J]. People's Military Surgeon, 1992, (11): 55. (in Chinese with English abstract)
- [3] 何雪英. 紫外线灭菌灯的消毒管理[J]. 医疗装备, 2008, (9): 59.  
He Xueying. Disinfection and management of UV lamps[J]. Medical Equipment, 2008, (9): 59. (in Chinese with English abstract)
- [4] 汤黎明, 于春华. 新型两用灭菌灯的设计与应用[J]. 北京生物医学工程, 2001, 20(2): 149—150.  
Tang Liming, Yu Chunhua. Design and application of a new Dual-Purpose sterilizing light[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2001, 20(2): 149—150. (in Chinese with English abstract)
- [5] Thayaparan T, Stankovic L, Djurovic I. Micro-Doppler-based target detection and feature extraction in indoor and outdoor environments[J]. Journal of The Franklin Institute, 2008, 345(6): 700—722.
- [6] Hertel D, Munstedt H. Dependence of secondary flow of a low-density polyethylene on processing parameters as investigated by laser-Doppler velocimetry[J]. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 2008, 153(2/3): 73—81.
- [7] Chen Feili, Zhu Jie. Dynamic HMM model with estimated dynamic property in continuous mandarin speech recognition[J]. Chinese Journal of Electronics, 2003, 12(2): 193—196.
- [8] Ding Pei, Cao Zhigang. Robust automatic speech recognition in impulsive noise environment[J]. Chinese Journal of Electronics, 2005, 14(1): 165—168.
- [9] Lv Ping, Yan Yonghong. Rapid adaptation algorithm based on regression analysis for speech recognition[J]. Chinese Journal of Electronics, 2006, 15(1): 69—73.
- [10] Zhao Junhui, Xie Xiang, Kuang Jingming. Data-Driven temporal filtering on teager energy time trajectory for robust speech recognition[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2006, 15(2): 195—200.
- [11] Tian Ye, Wang Zuoying, Lu Dajin. Robust speech detection with heteroscedastic discriminant analysis applied to the Time-Frequency energy vector in noisy environment[J]. Chinese Journal of Electronics, 2003, 12(1): 116—121.
- [12] 陆颖. 指纹自动识别原理与方法综述[J]. 工程数学学报, 2004, 21(6): 1003—1010.  
Lu Ying. A review on the principles and methods of automated fingerprint identification[J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2004, 21(6): 1003—1010. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李素娟, 牛江川. 基于 2D 图象的人耳生物特征识别技术研究综述[J]. 石家庄铁路职业技术学院学报, 2008, 7(4): 75—79.  
Li Sujuan, Niu Jiangchuan. Research of Ear Biometric recognition technology based on 2D image[J]. Journal of Shijiazhang Institute of Railway Technology, 2008, 7(4): 75—79. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨兴明, 贾保柱, 万莉, 等. 一种新的倒车雷达系统的设计[J]. 大气与环境光学学报, 2008, 3(6): 469—474.  
Yang Xingming, Jia Baozhu, Wan Li, et al. A novel design on reverse radar system[J]. Journal of Atmospheric and Environmental Optics, 2008, 3(6): 469—474.
- [15] 王洪青, 褚金奎, 李荣华, 等. 并行超声波测距系统在移动机器人上的应用[J]. 传感器与微系统, 2008, 27(9): 115—117.  
Wang Hongqing, Chu Jinkui, Li Ronghua, et al. Application of parallel ultrasonic distance measurement system in mobile robot[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2008, 27(9): 115—117. (in Chinese with English abstract)

## Intelligent monitoring system for ultraviolet sterilization room based on Doppler shift

Jiang Tao, Zhang Yunwei<sup>\*</sup>, He Fang

(Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** In order to reduce the risk of operators irradiated by the ultraviolet (UV) lamp in sterilization room, an intelligent monitoring system for ultraviolet sterilization room was designed based on Doppler shift. A biological recognition method by feature detection of human body on the move was presented, and the mathematical model of Doppler shift was established. The sample of biological recognition module was produced, and the experimental platform employing SPCE061A microcontroller units (MCU) were developed. The experiments of biological recognition were carried out. The experimental results show that the recognition probability of the intelligent monitoring system can reach 99.58%. This can meet the requirement in actual application.

**Key words:** Doppler shift, ultrasonic, ultraviolet lamps, biological recognition, speech recognition