

文章编号:1001-9944(2011)07-0001-04

# 智能空气微生物采样机器人的设计与实现

孙向阳<sup>1,2</sup>, 占礼葵<sup>1</sup>, 孙怡宁<sup>1</sup>, 姚志明<sup>1</sup>, 孙振海<sup>3</sup>

(1. 安徽省仿生感知与先进机器人技术重点实验室 中国科学院合肥智能机械研究所, 合肥 230031; 2. 中国科学技术大学 自动化系, 合肥 230027; 3. 中国人民解放军军事医学科学院科技部, 北京 100071)

**摘要:**在恶劣环境下人工采集空气中的微生物存在巨大的安全隐患,急需机器以自主作业方式取代人工方式。为此,该文设计并实现了一种智能空气微生物采样机器人,包括室内远程控制单元、气流控制单元、主机机械手三维运动控制单元、手爪控制单元、刻字控制单元、电源管理单元、GPRS通信模块、安全监控模块、信息存储模块、电磁阀控制组、系统时钟模块、液晶触摸屏模块和轻型车载冰箱等。该机器人能全自动完成空气微生物的采样工作,系统功能全面、安全稳定、环境适应性强,能满足恶劣环境下长时间不间断工作的要求。

**关键词:**空气微生物采样;机器人;手爪控制;三维运动控制;气流控制

**中图分类号:**TP242 **文献标志码:**B

## Design and Implementation of the Intelligent Air Microorganism Sampling Robot

SUN Xiang-yang<sup>1,2</sup>, ZHAN Li-kui<sup>1</sup>, SUN Yi-ning<sup>1</sup>, YAO Zhi-ming<sup>1</sup>, SUN Zhen-hai<sup>3</sup>

(1.Key laboratory of Biomimetic Sensing and Advanced Robot Technology, Institute of Intelligence Machines, Chinese Academy of Science, Hefei 230031, China; 2.Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China; 3.Ministry of Science and Technology of Academy of Military Medical Sciences of PLA, Beijing 100071, China)

**Abstract:** There is a huge risk if we collect air microorganism in the harsh environment artificially, so we need the machine working independently to replace the manual method. Thereby, this paper design and implement a kind of intelligent air microorganism sampling robot. This robot includes indoor remote control unit, airflow control unit, three-dimensional motion control unit, paw control unit, lettering control unit, power management unit, GPRS communication module, security monitoring module, the information storage module, solenoid valve control, the system clock module, LCD touch screen module and light vehicle refrigerators, etc. The robot can work automatically and continuously in the harsh environment.

**Key words:** air microorganism sampling; robot; paw control; three-dimensional motion control; airflow control

空气微生物是指空气中细菌、霉菌和放线菌等有生命的活体,是生态系统重要的生物组成部分<sup>[1]</sup>。空气微生物组成浓度不稳定,种类多样,已知存在空气中的细菌及放线菌有1200种,真菌有4万种<sup>[2]</sup>。近年来,非典型性肺炎、军团菌病、禽流感、甲型H1N1流感等流行传染性疾疾病不断出现,使得空气

中的微生物病毒越来越多,病毒性微生物的扩散将严重影响人们的健康甚至威胁生命,这引起了各国政府和广大公众的高度关注,纷纷采取措施从源头和传播上防治微生物污染。

对于空气中微生物污染的防治,首要任务是对各个可能受污染地区空气中的微生物进行采样,检

收稿日期:2011-03-30;修订日期:2011-05-03

作者简介:孙向阳(1986-),男,在读硕士研究生,研究方向为运动控制、检测技术;占礼葵(1967-),男,工学学士,高级工程师,研究方向为机电一体化;孙怡宁(1963-),男,研究员,博士生导师,主要研究方向为传感器技术、机电一体化、生物生理信息获取及数字体育。

测其中污染物的含量,进而采取措施防治。迄今为止,国内外已研制出原理不同、结构不一的多种空气微生物采样器,如 THK-201 型空气微生物采样器<sup>[3]</sup>、FA-I 型多级撞击式空气微生物采样器、CA2 国产二级安德森空气采样器和 CA6 国产六级安德森空气采样器<sup>[4]</sup>、多功能空气微生物采样箱<sup>[5]</sup>等。这些采样器各有其优点,但仍存在不足的地方,比如有些采样器功能单一、仪器零散,最大缺陷是这些设备基本上都需要由专人操控,不能实现全自动采样,还无法适用于恶劣环境下的安全采样需求。

本文针对空气微生物采样的需求和现存采样器的不足,研制一种智能空气微生物采样机器人。该机器人能全自动完成空气微生物的采样工作,功能全面,安全稳定,环境适应性强,全自动控制,可与工作人员通过 GPRS 网络智能交互,能满足无人值守情况下长时间连续工作的要求,尤其适用于恶劣环境下的空气微生物采样。

### 1 采样机器人设计思路

本机器人的设计采用系统化与模块化相结合的设计思想,即以机器人主控制器为中心,其余部分分为各个单元、模块,实现各自的功能,同时各单元、模块又通过统一或者特定的接口形式与主控制器通信,互相之间构成一个有机整体。各单元、模块具体包括:室内远程控制单元、气流控制单元、主机机械手三维运动控制单元、手爪控制单元、刻字控制单元、电源管理单元、GPRS 通信模块、安全监控模块、信息存储模块、电磁阀控制组、系统时钟模块、触摸液晶屏模块、轻型车载冰箱等等。

图 1 为智能空气微生物采样机器人的结构图,其具体工作过程为:气泵打开冰箱盖,主机机械手运动到冰箱里面的指定地点,张开手爪,抓取 1 个采样平皿盖放到冰箱内指定地点,再抓取采样平皿,从机械手打开 2 级安德森采样器;主机机械手将已经抓取的采样平皿放入到第 1 级安德森采样器中,关闭第 1 级采样器;主机机械手回到冰箱内抓取第 2 个采样平皿盖放到冰箱内指定地点,再抓取采样平皿,主机机械手将已经抓取的采样平皿放入到第 2 级安德森采样器中;系统关闭 2 级安德森采样器,启动气流控制单元,让空气以恒定的流速流过

安德森采样器,一分钟后,采样完成;从机械手打开安德森采样器,主机机械手将 2 个采样完成的采样平皿分别抓取到刻字单元的位置刻上采样时间和采样结果,再送回到冰箱的指定地点,盖上平皿盖,关闭冰箱门,结束一次完整的采样过程。

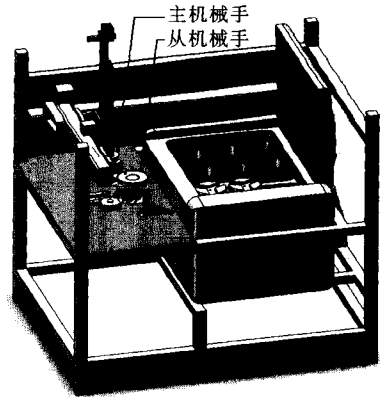


图 1 智能空气微生物采样机器人结构示意图

Fig.1 Structure of intelligent air microorganism sampling robot

### 2 采样机器人的硬件和软件设计

采样机器人结构复杂,功能多,单个处理器不能满足系统设计的要求。因此,本文采用多处理器协同工作的方式,多处理器通过通用异步收发接口(UART)来实现主机和多个从机之间的通信,从机之间的通信以主机中转的方式进行。主机采用具有 ARM 32 位的 Cortex™-M3 内核的 STM32F103VET6 作处理器,该处理器有多达 5 个 UART 接口。从机全部采用 MSP430 作处理器,负责控制各个单元的运行。主机的单个 UART 口和多个从机的 UART 口之间的通信采用地址位多机模式,主机和所有从机之间具体的通信示意图如图 2 所示。

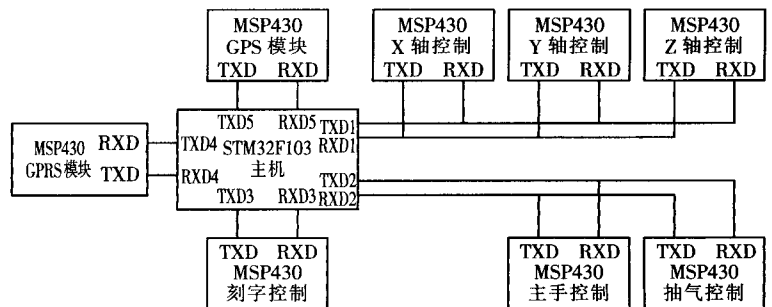


图 2 主机与各从机间通信结构框图

Fig.2 Communication diagram between host MCU and slave MCUs

## 2.1 系统硬件设计

本文设计的采样机器人通过步进电机和气压传动方式控制机械手完成三维运动和抓取等动作来实现自动采样,手爪控制、机械手三维运动控制、刻字单元以及气流控制是自动采样的核心部分,下面详细介绍各个部分。

### 2.1.1 手爪控制单元

抓取平皿的主机械手采用三指式手爪,通过一个混合式直线步进电机控制手指的伸缩。为实现智能抓取,在每个手指上安装了力敏传感器,用于感知手指抓取物体的力度大小,力敏传感器是一个电阻桥,电阻桥输出的压差信号通过 AD623 调理放大后接到微控制器(MCU)的 AD 转换口,见图 3 所示。

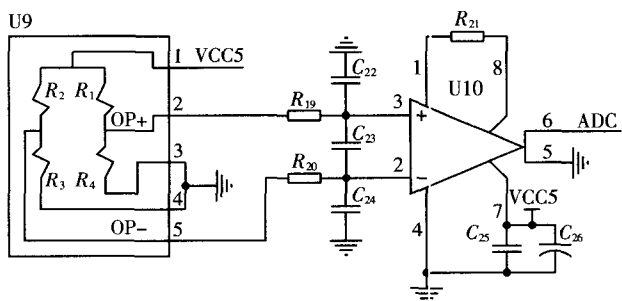


图 3 压差信号放大电路

Fig.3 Differential signal amplification circuit

### 2.1.2 主机械手三维运动控制单元以及刻字单元

主机械手的三维运动控制主要是通过控制三个方向步进电机的转动来实现的。步进电机的 2 相连接到专用步进电机驱动器,MCU 通过三极管给驱动器信号来控制电机运转,控制信号包括方向、脱机以及脉冲,步进电机的速度通过脉冲的频率来控制。

刻字单元控制刚性探头在空间上的三维移动来完成固定面上的刻字工作,因此,其控制电路类似于主机械手三维的运动控制。不同的是,在 Z 方向只需要控制探头的伸缩,用电磁铁就可以实现。所以,刻字单元只需要控制 2 个步进电机的运动,Z 方向用 MOS 管控制电磁铁来控制探头的伸缩。

### 2.1.3 气流控制单元

空气微生物的采样要求空气以 28.3L/min 的恒定流速流过安德森采样器<sup>[3]</sup>,因此需要气流控制单元来控制气体流速。本设计由直流降压斩波电路(见图 4)和气压传感器构成一个闭环控制系统,MCU 通过 PWM 波控制直流降压斩波电路的输出电压,输出电压加在直流电机的 2 端,电压的高低

决定电机的转速,进而影响气流的大小。三个气压传感器分布在通气管的不同位置,气流通过时气压传感器会产生电压信号,信号经过仪表放大器 AD623 调理放大后接到 MCU 的 AD 转换口。MCU 根据反馈值就可获得实际气流大小,然后通过 PWM 波调整电路的输出电压。

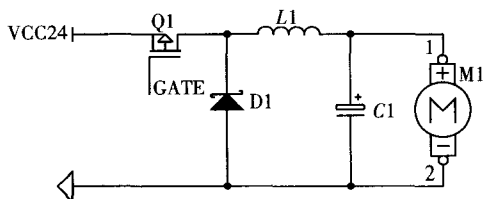


图 4 直流降压斩波电路

Fig.4 DC step-down chopper

### 2.1.4 安全监控模块

为了保障采样机器人在运行过程中不发生震颤、被外界干扰等故障隐患,特别设计了安全监控模块,模块包括振动信号检测、设备姿态监测以及 GPS 定位,实现了安全三保险。

振动信号检测采用压电陶瓷片加弹簧重锤结构来检测振动信号,通过运放 LM358 放大并输出控制信号,具有灵敏度高、工作稳定可靠和振动检测可调节范围大的优点。设备姿态监测主要由三维加速度传感器实现,能够实时监测设备 X、Y、Z 三个方向的倾斜角。GPS 定位采用韩国 Gstar 公司 SIRF 芯片系列的 GS-91 型 GPS 模块,它具有工业级标准,定位快、性能好、体积小、功耗低,稳定性强等特点,连接原理图如图 5 所示,能够在采样机器人发生振动、姿态变化等状况时获取定位信息,通过 GPRS 网络通知远程控制中心。

### 2.1.5 其它辅助模块

为满足长时间无人值守工作的要求,机器人由大容量 24V 蓄电池供电,并通过太阳能电池板对其充电,系统通过光电传感器隔离检测电源电压,并配有 3.7V 锂电池做备用电源,保证撤去 24V 电源时主板仍然能够正常运行。GPRS 通信模块由 SIM-COM 公司的 SIM300 芯片和辅助电路组成,用于和远程控制中心智能交互。信息存储模块包括大容量 SD 卡和 16K E<sup>2</sup>PROM,SD 卡以嵌入文件系统的方式对采样信息进行存储,16K E<sup>2</sup>PROM 用于存储系统设置信息及其修改记录,确保系统重启后能正常运行。系统配置有时钟芯片,保证设备时钟的准确

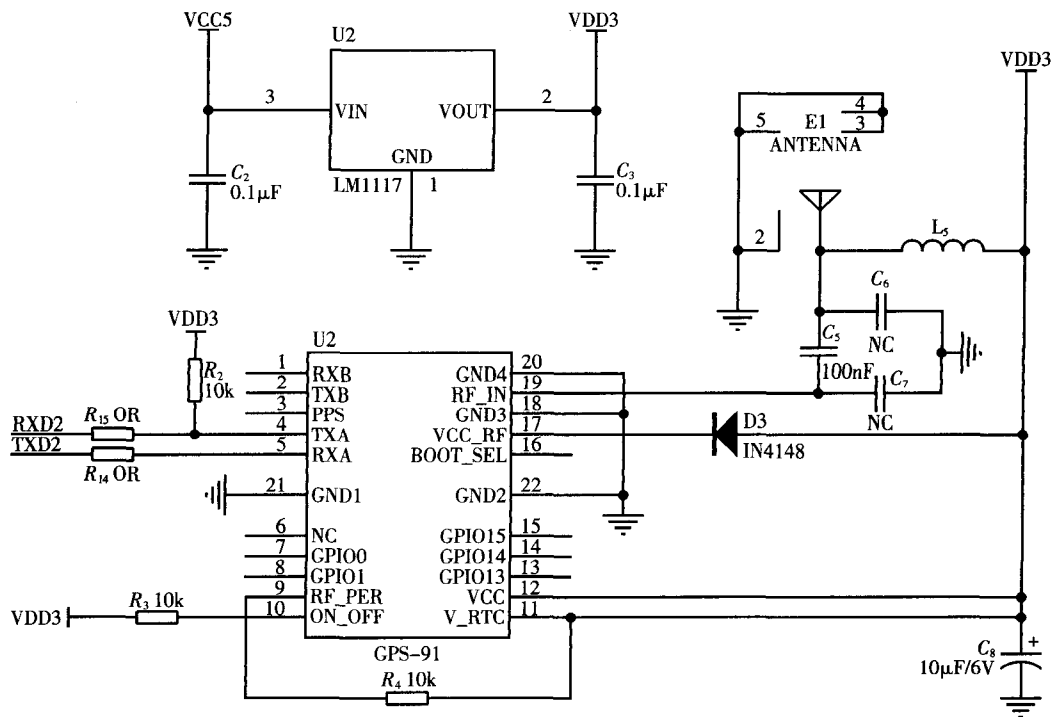


图 5 GPS 模块电路图

Fig.5 GPS module circuit

性。另外,系统还支持通过 GPS 自动授时和通过触摸屏手动授时 2 种授时方式。此外,本系统选用 5.7 寸触摸屏来搭建友好的人机交互界面,便于技术人员随时维护设备。

## 2.2 系统软件设计

系统软件设计包括下位机嵌入式软件 and 上位机操作软件,下位机嵌入式软件用于保证采样机器人硬件系统的正确运行,上位机操作软件用于工作人员远程控制、维护机器人并获取机器人的工况信息。

### 2.2.1 下位机软件设计

下位机软件以主板处理器 STM32F103VET6 的嵌入式软件为核心,对各个单元、模块总体管理。整个下位机软件包括系统程序、外围驱动程序、GPRS 和 GPS 的通信程序、存储管理程序、系统 I/O 程序、多机通讯管理程序等,软件的开发主要采用 C 语言,图 6 为下位机软件的总体流程图。

### 2.2.2 上位机软件设计

上位机软件作为机器人的辅助操控软件,目的是为了便于工作人员对机器人的运行参数进行设置,并且能对机器人的运行状况、姿态状况、电源状况以及定位状况等进行远程实时监控。上位机软件主要由 C++ 语言编写,利用 MSComm 控件实现串口

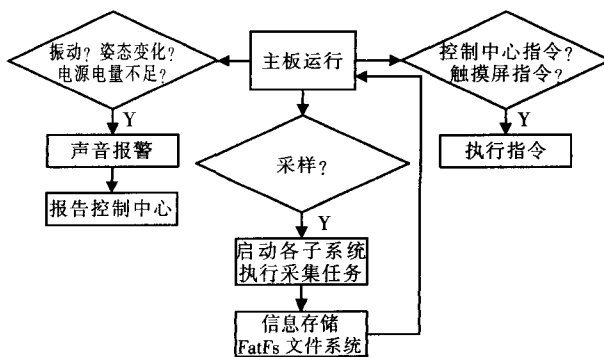


图 6 下位机软件的总体流程图

Fig.6 Overall flow chart of the MCUs' software

通讯,与下位机软件协同工作。

## 3 采样机器人功能测试

研制成功的智能空气微生物采样机器人由大容量蓄电池供电,并可以利用太阳能充电,可在-10~+65℃的环境下工作,能够自动完成采样皿的放置、恒流抽气、刻录采样时间、回收采样皿、记录采样信息等一系列功能,并能够通过 5.7 寸触摸屏随时进行人工干预,还能通过 GPRS 模块与室内远程控制中心进行智能交互。安全监控模块能够实时监控系统的振动和姿态,如发生振动或倾斜, (下转第 76 页)

小时、分、秒等时间变量。利用 5min 定时中断,分别控制广告宣传画翻转、扬声器语音播报和温湿度显示时间间隔。为防止温湿度显示数值波动,温湿度每 10s 采样一次,连续采样 5min,采用平均值更新显示。

主程序包括:键盘扫描、接近开关信号判断、步进电机控制、照明灯管控制等功能模块。主程序中的时间延时,如键盘消除抖动延时,接近开关动作延时,步进电机转速控制脉冲,全部利用 PIC16F73 单片机产生的 1ms 定时为基准,采用软件变量记录中断次数实现不同的时间延时,这种方法提高了主程序的扫描速度。

#### 4 结语

以上介绍了以 PIC16F73 单片机为核心控制器的广告窗控制系统的开发,包括硬件电路和软件设计,对开发过程中碰到的问题进行了分析。在传

统站台广告窗的结构基础上,实现了时钟、温湿度测量、语音播报、LED 点阵屏显示、动态广告画、自动照明等功能,从而使广告窗更加人性化和智能化,使人们候车时获取信息更加方便。经过试制,该装置成本低廉,试运行半年来稳定可靠,具有推广应用价值。也适用于各大城市对类似结构的广告窗进行改造,也可用于小区、公园、广场、大学校园等场合。

#### 参考文献

- [1] 刘浏.一种用于球场的图案可变的广告牌的设计[J].机床与液压,2003(1):30-31.
- [2] 肖林京,李鹏,李全.基于单片机的三面翻广告牌控制系统[J].制造业自动化,2009,31(12):93-95.
- [3] 蒋卫,全书海.基于 GSM 网络的智能广告牌系统设计[J].工业控制计算机,2009,22(4):43-44.
- [4] 孙江峰,王福源,江红锋.基于 TMS320F2812 的电子广告牌设计[J].微计算机信息,2009,25(23):120-121. ■

(上接第 4 页)会立即输出报警信号,GPS 模块将同时获取位置信息,通知远程控制中心。根据设定,系统每 1min 进行一次采样,每次的采样量为 2 个平皿,采样时间共 5 分 36 秒,其中恒流抽气 1min,两个平皿的刻录时间共 1 分 06 秒,开关冰箱盖 13s,收放平皿盖和平皿的时间是 3 分 17 秒。系统的整个工作过程完全自动化,可以无人值守连续不断的工作。

#### 4 结语

本文设计的机器人由多处理器构成的各单元协同工作,实现了三维运动控制、柔性手爪控制、刻字控制、气流控制、振动检测、三维姿态监测、GPS 定位、SD 卡存储、电源管理、触摸屏以及基于 GPRS 的远程控制等功能,为恶劣环境下的微生物自动采样奠定了技术基础。实际功能测试结果表明:系统性能稳定、安全可靠、可远程控制、环境适应性强、完全自动化,实现了在恶劣环境中空气微生物的安全采样。

#### 参考文献:

- [1] 孙平勇,刘雄伦,刘金灵,等.空气微生物的研究进展[J].中国农

- 学通报,2010,26(11):336-340.
- [2] Song L H, Song W M, Shi W, et al. Health effects of atmosphere microbiological pollution on respiratory system among children in Shanghai [J]. Journal of Environment and Health, 2000, 17(3): 135-138.
- [3] 胡庆轩,鹿建春,刘敏霞,等.空气微生物采样方法的比较[J].中国环境科学,1994,14(2):152-155.
- [4] 高晖,蒋黎娜,张冬莹,等.LWC-I 型、CA6 和 CA2 三种空气微生物采样器在公共场所中应用的对比试验[J].卫生研究,2000,29(3):145-147.
- [5] 李娜,鹿建春,李劲松,等.一种多功能空气微生物采样箱的研制[J].医疗卫生装备,2010,31(9):22-24.
- [6] 李港,朱大奇,颜明重.基于 ARM 的水下机器人通信与控制器研制[J].自动化与仪表,2010,25(3):4-6.
- [7] Sahu A, Grimberg S J, Holsen T M. A static water surface sampler to measure bioaerosol deposition and characterize microbial community diversity [J]. Journal of Aerosol Science, 2005, 36: 639-650.
- [8] 徐庆鹤,宗光华,孙明磊,等.便携式恒流空气采样泵的设计与实现[J].液压与气动,2009(1):68-71.
- [9] 野莹莹,刘新,沈烈银.新型便携式大气采样器的设计[J].装备制造技术,2008(5):65-66.
- [10] 杨文慧,温占波,于龙,等.应用气溶胶发生法评价空气微生物采样器采样效率[J].中国消毒学杂志,2009,26(3):245-248. ■