

基于Linux的车载气调保鲜运输控制系统*

周晓龙 吕恩利 陆华忠 张明帮 岑康华

(华南农业大学工程学院, 广州 510642)

摘要: 以液氮充注气调保鲜运输车为设计平台,开发了以 ARM11 系列 S3C6410 微处理器为核心的控制系统。该系统基于 Linux 操作系统,使用 C 语言和 Qt 界面语言编程,采集厢体内温度、相对湿度、氧气体积分数等保鲜参数,并控制制冷、加湿、气调、换气等执行设备工作。控制系统采用变风量通风系统,建立了果蔬参数数据库,并将运行过程中采集到的数据存储在 NAND Flash 中,实现了运输车厢环境信息的可追溯。试验表明:该系统能够准确地采集到车厢内各保鲜参数的变化,并能根据处理结果实时、精准的控制相应的执行机构。

关键词: 气调保鲜运输车 ARM 控制系统

中图分类号: U469.6⁺6; TP273 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)S2-0155-06

Control System for Fresh-keeping Transportation Truck with Controlled Atmosphere Based on Linux

Zhou Xiaolong Lü Enli Lu Huazhong Zhang Mingbang Cen Kanghua

(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Taking liquid nitrogen filling in fresh-keeping transportation truck with controlled atmosphere for fruits and vegetables as design platform, a kind of control system regarded ARM11 series of S3C6410 microprocessor as the core was developed. In the Linux operating system environment, the system used C language and Qt interface designing language to the temperature, relative humidity, oxygen concentration sensor and actuator signal, such as refrigeration equipment, humidifying equipment, the gas adjustment equipment, ventilation equipment and so on. In the proposed system, a kind of variable air volume ventilation system was designed and a type of fruits and vegetables' fresh-keeping parameters database was established, meanwhile, the collected data in the process of running would be stored in NAND Flash, so that user could read it in real-time and export it after the test. Test showed that the system could correctly collect the fresh-keeping parameters of fruits and vegetables in the truck, and according to the processing results, it could accurately control the corresponding actuators in time. The design and experiment provided a reference for the design of fresh-keeping transportation truck with controlled atmosphere for fruits and vegetables.

Key words: Fresh-keeping transportation truck with controlled atmosphere ARM Control system

引言

果蔬运输过程中,保鲜环境控制系统调控适宜果蔬运输的保鲜参数,能够抑制果蔬呼吸作用,延长

保鲜周期。保鲜环境控制系统的成本、控制精度和智能化成为研究的重点。国内外学者开展了相关研究^[1-11]。嵌入式(32位的单片机)控制系统,具有操作简单、易于控制、自动化程度高、成本较低、交互

收稿日期: 2013-06-26 修回日期: 2013-07-11

*国家自然科学基金资助项目(31101363)、广东省自然科学基金资助项目(S2012010010388)和广东省科技计划资助项目(2012B020313007,2011B020312003)

作者简介: 周晓龙,硕士生,主要从事果蔬冷链物流装备与技术研究,E-mail: wustzxl@163.com

通讯作者: 陆华忠,教授,博士生导师,主要从事农业工程研究,E-mail: huazlu@scau.edu.cn

性强等特点,且体积小,便于安装,较适合于车载^[12~13]。

本文以液氮充注的气调保鲜运输车为平台,开发以 ARM11 系列 S3C6410 微处理器为核心的控制系统,该系统基于 Linux 操作系统,使用 C 语言和 Qt 界面语言编程,采集厢体内温度、相对湿度、氧气体积分数等保鲜参数,控制制冷、加湿、气调、换气等执行设备工作,以期果蔬气调贮运装备控制系统的设计提供依据。

1 系统组成

该控制系统主要由 3 部分组成:控制主机、传感器和执行机构。本系统采用的基于 S3C6410 微处理器的 ARM 开发平台具有双 LCD 接口、30pin GPIO 接口、1 路 ADC 输入,外接 256MB DDR RAM 和 1GB NAND Flash,为系统开发提供了足够的空间。

系统结构框图如图 1 所示,以 S3C6410 为核心,通过 1 个模拟开关实现时分复用^[14~15],利用 1 路 ADC 通道采集温度、相对湿度、氧气体积分数、二氧化碳体积分分数等传感器的模拟信号。数字化的传感器信号在经过 S3C6410 处理后,经过 1 个功放电路控制相应继电器通断,进而控制制冷机组、加湿设备等执行机构,同时将采集得到的各类传感器数字信号通过触摸屏实时显示。

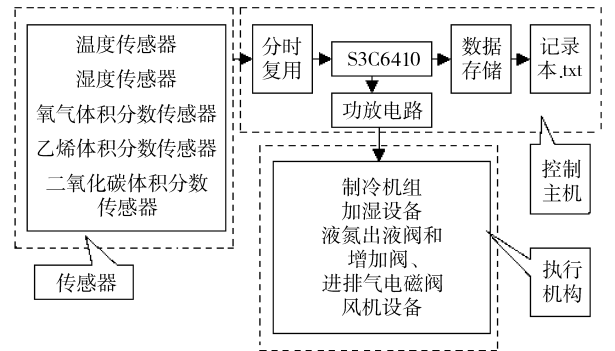


图 1 系统硬件结构框图
Fig. 1 Structure diagram of system hardware

2 原理及实现

2.1 电源电路

该系统的供电电源是在江淮 5045XLCK10 3 型货车上改进的,考虑到车载电源环境的复杂性,电路设计应抑制干扰源、阻断耦合以及提高敏感设备的抗扰阈值。电源选用桑美的 DC/DC 隔离电源模块,此电源模块具有稳定可靠、效率高、故障率低等优点。良好的保护可以减少电源故障对控制系统的损坏。其系统电源电路图如图 2 所示。

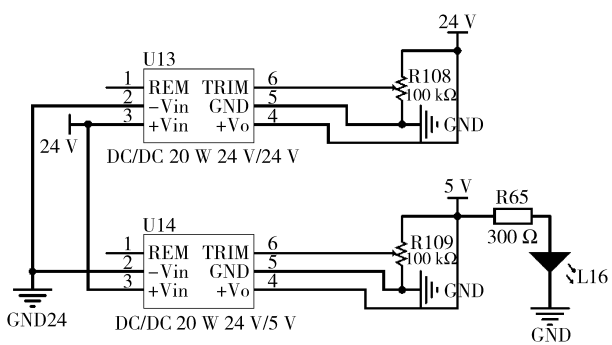


图 2 系统电源电路图
Fig. 2 Diagram of system power supply circuit

2.2 传感器及其信号采集

果蔬保鲜参数主要包括温度、相对湿度、氧气体积分数和二氧化碳体积分分数等,各传感器参数如表 1 所示。

表 1 传感器特性

Tab. 1 Sensor characteristics

传感器名称	传感器特性
温湿度一体化传感器 BMW-RHTA. S	精度:相对湿度 $\pm 3\%$,温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$;供电电源:24 V;输出:4~20 mA;检测范围:温度 $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $0\sim 100\%$
氧气体积分数传感器 MIC-O ₂	供电电源:12~35 V;输出:4~20 mA;检测范围:0~25%
CO ₂ 体积分分数传感器 EC800-CO ₂	供电电源:15~35 V;输出:4~20 mA;检测范围:0~20%
乙烯体积分分数传感器 EC800-C ₂ H ₄	供电电源:24 V;输出:4~20 mA;检测范围:0~50%

传感器信号采集电路如图 3 所示。开发平台中有 1 路 ADC 输出,通过利用时分复用原理^[14~15],将这 1 路 ADC 连接到一个模拟开关 CD4051 上(CD4051 类似于 1 个单刀八掷开关,由输入的 3 位地址码 ABC 来决定某 1 通道的开闭)(图 3 中 Sensor 接口),从而切换不同的采集通道,使得温度、相对湿度、氧气体积分数等数值能够被轮流采集。

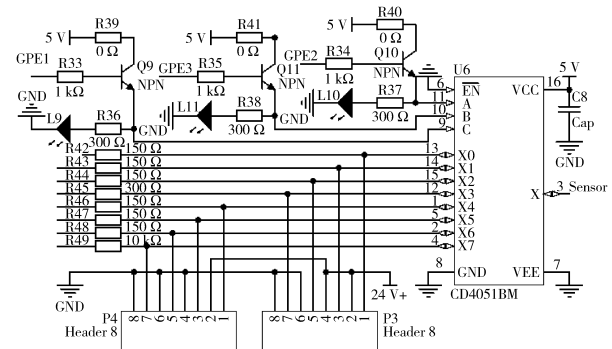
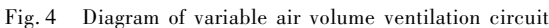


图 3 传感器信号采集电路图
Fig. 3 Diagram of sensor signal acquisition circuit

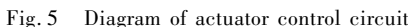
2.3 变风量通风及其实现方法

变风量通风装置主要由调速器(PWM 直流电机

(PWM)波^[18],则对驱动电路的电子元器件的输出电流和散热都有很高的要求。考虑运行的稳定可靠性和开发难度等因数,选择专用的电动机驱动模块,额定电流为 30 A,电位器调整 PWM 波的占空比。为实现自动调速,可通过设定固定的占空比挡位对应固定的风速挡位,通过选用型号为 DM74ALS138M 多路输出选择器的 Y0、Y1、Y2、Y3 4 个输出口设计出带有 3 个挡位的变风量装置。



执行机构的控制电路如图 5 所示。大功率电气设备的数字信号控制应进行隔离以增加系统的安全性,减少电路干扰。采用光电耦合器 TLP521-4(具有 4 个孤立的光耦)实现信号隔离。继电器工作的额定电压为 24 V。所以需要电压的转换来驱动继电器,一般使用三极管来驱动,为了简化电路,增加可靠性,使用集成芯片 ULN2003 进行驱动。



保鲜参数;控制主程序包括自动控制、半自动控制和手动控制 3 部分。自动控制用于商业运输;半自动控制用于设备检修;手动控制用于科研试验,每个控制界面都由果蔬种类显示区、数据显示区、操作区和执行机构工作状态显示区 4 部分构成。果蔬选择界面和自动控制界面如图 6 所示。

系统以液氮充注气调保鲜运输车为试验平台^[3,8],如图7所示。

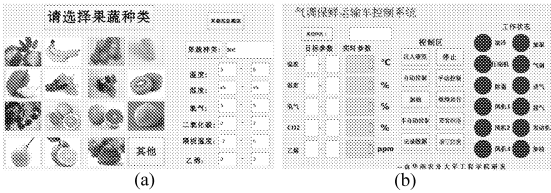


图 6 GUI 界面图
Fig. 6 GUI interface
(a) 果蔬选择界面 (b) 自动控制界面

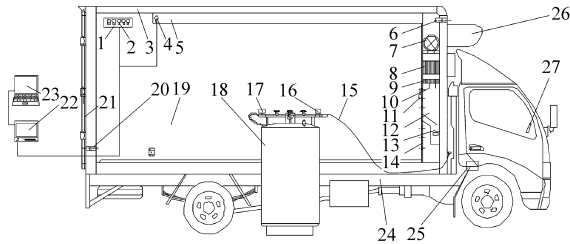


图 7 果蔬液氮充气调保鲜运输车结构示意图
Fig. 7 Fruits and vegetables fresh-keeping transportation with controlled atmosphere by liquid nitrogen injection

1. 传感器盒 2. 氧气体积分数传感器 3. 厢体 4. 温湿度一体化传感器 5. 回风道 6. 进气阀 7. 风机 8. 蒸发器 9. 气化盘管 10. 出气横管 11. 出风口温度传感器 12. 压力室 13. 超声波加湿装置 14. 开孔隔板 15. 连接软管 16. 出液电磁阀 17. 增压电磁阀 18. 液氮罐 19. 保鲜室 20. 排气电磁阀 21. 后门 22. 记录仪 23. 计算机 24. 汽车底盘 25. 车载制冷机组压缩机 26. 冷凝器 27. 控制系统

4.2 传感器准确性验证试验

4.2.1 试验方法

在车厢内,将控制用温湿度一体化传感器(与控制系统连接)和检测用温湿度一体化传感器(与记录仪连接)布置在回风道口位置处(图 7 中位置 4),控制用氧气体积分数传感器与检测用氧气体积分数传感器布置在传感器盒外侧(图 7 中位置 2)。确保以上连接无误后,关上车厢后门,启动发动机(转速为 1 800 r/min),同时打开控制系统和记录仪软件,使其同时记录车厢环境中相应位置的温度、相对湿度和氧气体积分数的变化。

4.2.2 结果与分析

分别将存储在控制系统 NAND flash 中 auto. txt 文件和记录仪中记录的数据导入计算机中用 Excel 软件进行处理,其控制系统中的温度、相对湿度、氧气体积分数与 40 路记录仪中的温度、相对湿度、氧气体积分数对比曲线如图 8 所示。

由图 8 知,温度、相对湿度、氧气体积分数在控制过程中测得值与记录仪采集到的数据基本一致(其中温度和相对湿度存在一定的偏差是在误差允许的范围之内,具体数据见表 1),表明该系统的传感器数据采样精度符合设计要求。

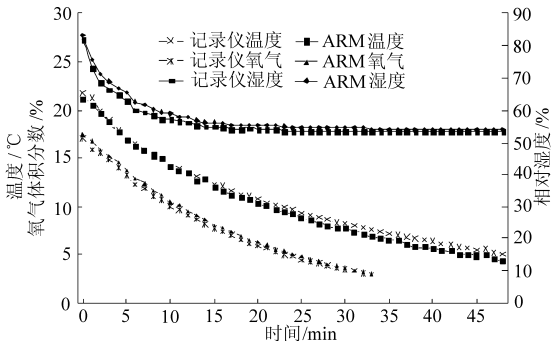


图 8 温度、相对湿度、氧气体积分数对比曲线
Fig. 8 Contrast curves of temperature, relative humidity, oxygen concentration

4.3 自动控制流程验证试验

4.3.1 控制流程

根据相关试验^[3,8,24],设计了自动控制流程,其流程图如图 9 所示。①调节厢体内的氧气体积分数,即进行液氮充气调,风机三挡、排气阀开启(气调模块),当氧气浓度达到目标值的下限时停止。②调节厢体内的温度,即开启制冷机组、风机二挡(首次制冷模块),当温度达到目标值下限时停止。③对厢体内的温度和相对湿度进行微调,当温度和相对湿度不在目标范围内时,对应开启制冷机组(制冷微调模块)和超声波雾化加湿装置(加湿微调模块),风机始终为一挡。此外,设置隔板保护温度和二氧化碳保护体积分数,分别用于防止低温冷害和二氧化碳中毒。

4.3.2 试验方法

为了验证系统控制流程的正确性与系统的稳定性,进行了系统的自动控制流程试验。试验以空载和实载两种方式进行,系统选定马铃薯(保鲜参数范围:温度为 5 ~ 8℃,相对湿度为 85% ~ 90%,氧气体积分数为 5% ~ 8%)为目标果蔬,设置隔板保护温度为 - 3℃,二氧化碳保护体积分数为 5%。实载时,以预冷(初始温度为 4.7℃)后马铃薯为试验物料,均匀装入 360 个塑料筐(长 × 宽 × 高为 45 cm × 35 cm × 15 cm)中,每筐质量约 8.4 kg,实载方式为中间两侧留空^[8]。

外界环境温度为 (33.5 ± 1)℃,相对湿度为 (69 ± 3)%,氧气体积分数为 (20.5 ± 0.5)%。发动机转速均为 1 800 r/min。将预冷后的物料装入车厢,装厢完毕后,关上车厢后门,启动发动机,点击“自动运行”按钮,然后点击“液氮充注”按钮进行液氮充注,记录试验过程中的隔板温度、回风道温度、相对湿度和氧气体积分数的数据,其各自变化曲线如图 10 所示。测试控制系统是否按照设定的控制流程进行。

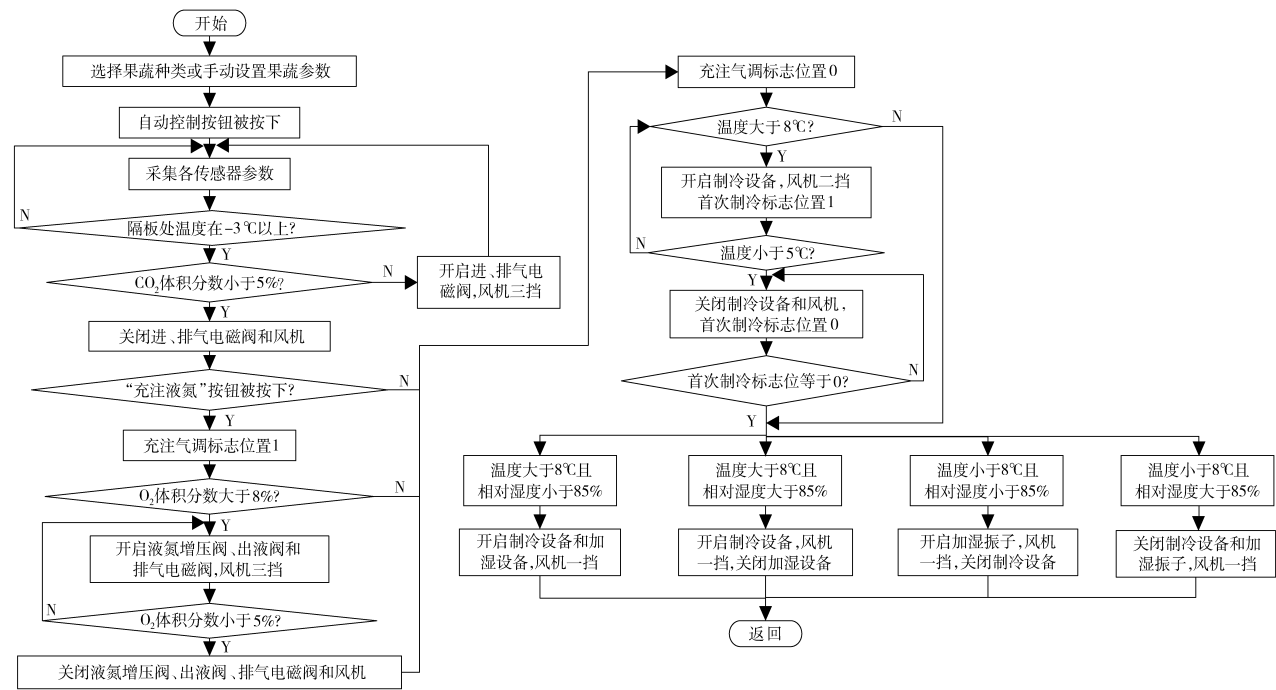


图 9 自动控制流程

Fig. 9 Flow diagram of automatic control

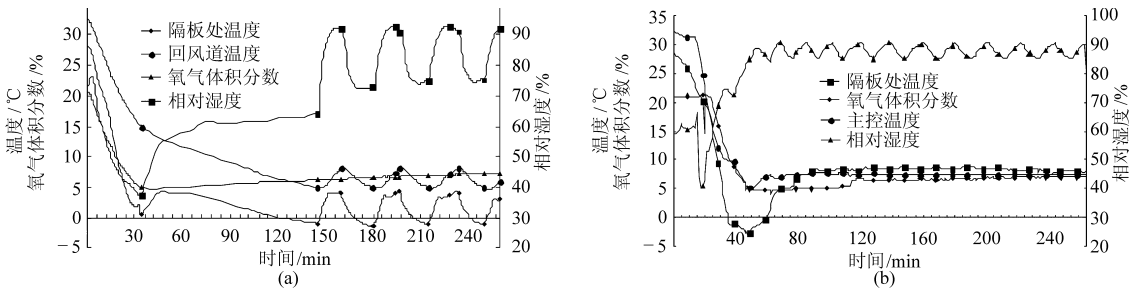


图 10 保鲜参数变化曲线

Fig. 10 Diagram curves of fresh parameter

(a) 空载时车厢环境参数变化 (b) 实载时车厢环境参数变化

4.3.3 试验结果与分析

由图 10a 知,空载时,试验过程为 260 min,液氮充注气调用时 34 min,首次制冷用时 111 min,之后进行制冷微调 and 加湿微调,氧气体积分数 4 h 内能够保持在目标范围 5% ~ 8% 之间,由图 10b 知,实载时,试验过程为 264 min,前 20 min 为物料装入厢体过程中车厢环境参数的变化,液氮充注气调用时 29 min,之后进入制冷微调 and 加湿微调。试验过程中,厢体内氧气浓度上升是由气密性引起的,通过提高厢体气密性,可减缓氧气体积分数上升速度。试验表明:系统按照设定的控制流程执行,实现了风机的多挡位控制,有利于降低能耗和减少果蔬干耗。

5 结论

(1) 系统设计了变风量通风系统,可根据不同

执行设备对风速的要求进行调节风量,以节约能源,且降低果蔬干耗。

(2) 该控制系统建立了果蔬保鲜参数数据库,还实现了根据自身的需要来编辑相应的果蔬参数的功能。

(3) 系统具有数据存储功能,可以实时地记录车厢内环境因子的动态变化,实现了车厢环境信息的可溯源。

(4) 系统具有自动控制、半自动控制和手动控制 3 种工作模式,分别用于商业运输、检修和科研试验。

(5) 气调保鲜运输车用控制系统的试验结果表明:该系统能够准确的采集到箱体各气体成分的变化,并且能够根据 ARM 处理器进行比较分析后的结果实时、精准的控制相应的执行机构。

参 考 文 献

- 1 吕恩利,陆华忠,杨洲,等. 果蔬气调保鲜运输技术发展研究[J]. 农机化研究,2010,32(6):225~228.
Lü Enli, Lu Huazhong, Yang Zhou, et al. Research status and prospects in fruits and vegetables fresh-keeping with controlled atmosphere transportation technologies[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(6): 225~228. (in Chinese)
- 2 王世清,张岩,姜文利,等. 气调库的有效快速降氧新模式研究[J]. 农机化研究,2010,32(7):5~7.
Wang Shiqing, Zhang Yan, Jiang Wenli, et al. A new mode on efficiently rapid oxygen-consumed in CA storage[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(7): 5~7. (in Chinese)
- 3 王广海,吕恩利,陆华忠,等. 保鲜运输用液氮充注气调控制系统的设计与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(1):255~259.
Wang Guanghai, Lü Enli, Lu Huazhong, et al. Design and experiment of controlled atmosphere system based on liquid nitrogen injection for fresh-keeping transportation[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 255~259. (in Chinese)
- 4 吕凤杰,闫希美. 气调保鲜库的控制系统设计[J]. 辽东学院学报,2006,13(1):20~22.
Lü Fengjie, Yan Ximei. Control system design of a gas-adjusted fresh-preserved storehouse[J]. Journal of Liaodong University, 2006, 13(1): 20~22. (in Chinese)
- 5 胡红生,石秀东,徐亚栋. 气调保鲜自动控制系统的研究[J]. 测控技术,2004,23(6):37~39.
Hu Hongsheng, Shi Xiudong, Xu Yadong. Automatic controlling system research on controlled atmosphere cold storage[J]. Measurement & Control Technology, 2004, 23(6): 37~39. (in Chinese)
- 6 鲁祥友,张虎,方武,等. 基于 CAN 总线的冷库安全测控系统设计[J]. 自动化与仪表,2008,23(5):24~27.
Lu Xiangyou, Zhang Hu, Fang Wu, et al. Design of measurement and control system of cold store based on CAN bus[J]. Automation & Instrumentation, 2008, 23(5): 24~27. (in Chinese)
- 7 陈羲梅,袁小平,李曙俏,等. 基于单总线的冷库温度监控系统设计[J]. 电子元器件应用,2011,13(7):23~25.
- 8 吕恩利,陆华忠,罗锡文,等. 果蔬气调保鲜运输车的设计与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(19):9~16.
Lü Enli, Lu Huazhong, Luo Xiwen, et al. Design and experiment of fresh-keeping transportation vehicle with controlled atmosphere for fruits and vegetables[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(19): 9~16. (in Chinese)
- 9 周艳玲,盛璞琳. 基于 Modbus 协议的冷库现场总线监控系统[J]. 制冷与空调,2010,10(4):76~79.
Zhou Yanling, Sheng Pulin. Cold storage field-bus supervision and control system based on Modbus agreement[J]. Refrigeration and Air Conditioning, 2010, 10(4): 76~79. (in Chinese)
- 10 杨前明,刘廷瑞,李光元. 气调保鲜集装箱机组在线状态监测与自动控制[C]//山东省暖通空调制冷 2007 年学术年会论文集,2007:578~580.
- 11 毕玉革,麻硕士. 我国现代温室环境控制硬件系统的应用现状及发展[J]. 农机化研究,2009,31(3):226~229.
Bi Yuge, Ma Shuoshi. Research on current situation and development of environment control system modes in greenhouse in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(3): 226~229. (in Chinese)
- 12 蔡明征,汪海生,徐小龙,等. 嵌入式微处理器在工程机械控制系统中的应用[J]. 筑路机械与施工机械化,2006,23(9):60~62.
Cai Mingzheng, Wang Haisheng, Xu Xiaolong, et al. Research on embedded microprocessor in construction machine control system[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2006, 23(9): 60~62. (in Chinese)
- 13 赵定远. 嵌入式技术发展及产业链结构[J]. 成都大学学报:自然科学版,2009,28(1):37~40.
Zhao Dingyuan. Development of embedded technology and the structure of industry chain[J]. Journal of Chengdu University: Natural Science Edition, 2009, 28(1): 37~40. (in Chinese)
- 14 宛克敬,薛晨阳,廉德钦,等. 基于水下超声成像分时复用数据采集系统的设计[J]. 仪表技术与传感器,2012(2):40~42.
Yuan Kejing, Xue Chenyang, Lian Deqin, et al. Design of time division data acquisition system based on underwater acoustic imaging[J]. Instrument Technique and Sensor, 2012(2): 40~42. (in Chinese)
- 15 Vladimir Vysotsky, Lester Ludwig, Redwood Shores, et al. Multiple-channel codec and transcoder environment for gateway, MCU, broadcast and video storage applications; USA, 20060168637 AL[P]. 2006-07-27.
- 16 陆华忠,刘妍华,吕恩利,等. 一种新型果蔬运输箱体、智能变量通风系统及其实现方法:中国, 101968049 A[P]. 2011-02-09.
- 17 闫国琦,杨洲,马征. 龙眼压差通风预冷装置风速控制与能耗分析[J]. 农业机械学报,2009,40(3):125~129.
Yan Guoqi, Yang Zhou, Ma Zheng. Air velocity control and energy analysis in forced-air pre-cooling device of longan[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 125~129. (in Chinese)
- 18 丁珠玉,陈建,李云武,等. 基于模糊 PID 的花椒烘房温度自动控制系统[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊 1):32~36.
Ding Zhuyu, Chen Jian, Li Yunwu, et al. Automatic temperature control system of zanthoxylum drying room based on fuzzy-PID[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(Suppl. 1): 32~36. (in Chinese)
- 19 吕恩利,韩小腾,陆华忠,等. 一种果蔬保鲜运输用超声波加湿装置及其实现方法:中国, 102556511 A[P]. 2012-07-11.
- 20 吕恩利,陆华忠,王广海,等. 一种果蔬保鲜运输用气调系统及其实现方法:中国, 101941561 A[P]. 2011-01-12.
- 21 A Keith Thompson. Controlled atmosphere storage of fruits & vegetables[M]. UK:MPG Books Group, 2010:46~59.
- 22 Karen De Reuck, Dharini Sivakumar, Lise Korsten. Effect of passive and active modified atmosphere packaging on quality retention of two cultivars of litchi[J]. Journal of Food Quality, 2010, 33(3):337~351.
- 23 Kader A A. Modified and controlled atmosphere storage of tropical fruits[C]//Proceedings of International Conference on Postharvest Handling of Tropical Fruits, 1993:239~249.
- 24 吕恩利,陆华忠,韩小腾,等. 气调保鲜运输车变频通风系统调控与能耗分析[J]. 农业工程学报,2012,28(16):248~253.
Lü Enli, Lu Huazhong, Han Xiaoteng, et al. Regulation and energy consumption analysis on frequency ventilation system of fresh-keeping truck with controlled atmosphere[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(16): 248~253. (in Chinese)