

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2014.01.026

# 基于 WiFi 网络的成套商用冰箱智能控制器研究

董 茂<sup>1</sup>, 王志恒<sup>1</sup>, 张艳杰<sup>2</sup>, 荀 一<sup>1</sup>, 杨庆华<sup>1\*</sup>

(1. 浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室 浙江 杭州 310014;

2. 银都餐饮设备股份有限公司 浙江 杭州 311100)

**摘要:** 针对目前大型酒店及超市在使用商用冰箱过程中,存在的食品保鲜效果差、存储状况糟、调度管理不便等问题,设计提出了一款面向成套商用冰箱,且带条码录入功能的网络变频冰箱控制器。该系统采用了 DsPIC30f5013 芯片作为主控制器,通过自动条码扫描模块获取食品相关信息,并利用串口转 WiFi 模块解决多台冰箱的组网问题。通过对三相端电压进行采样,确定了反电动势过零点,实现了压缩机的准确换相。同时,为提高控制器的性能,软件上还采取了变频模糊控制方法、故障自诊断和提醒功能等设计。研究结果表明该控制系统具备有效性,且具有较大的推广价值。

**关键词:** 商用冰箱; 条形码扫描; WiFi 无线网络; 模糊控制; 故障自诊断

中图分类号: TM925.2; TP273; TN92

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)01-0119-05

## Complete sets of commercial refrigerators control system based on wireless network WiFi

DONG Mao<sup>1</sup>, WANG Zhi-heng<sup>1</sup>, ZHANG Yan-jie<sup>2</sup>, XUN Yi<sup>1</sup>, YANG Qing-hua<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of E&M Ministry of Education & Zhejiang Province, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. Yindu Kitchen Equipment Co., Ltd., Hangzhou 311100, China)

**Abstract:** Aiming at the shortcomings of commercial refrigerators used in large hotels and supermarkets recently, such as poor effect of fresh-keeping, bad food storage condition, dispatching management inconvenience, and so on, a new designed variable-frequency controller with barcode input function was proposed for complete commercial refrigerators. The controller was designed based on the DsPIC30f5013 chip, food information was obtained through an automatic barcode scanning module, a serial port to WiFi module was used for the problem of refrigerators networking. The terminal voltage waveform was analyzed to confirm the zero-crossing point and the accurate commutations were achieved. To improve the controller performance, the frequency conversion method of fuzzy control, fault self-diagnosis and remind function were also presented in the software. The results indicate that the control system is effective and it has a great value of popularization.

**Key words:** commercial refrigerator; bar code scanning; wireless network WiFi; fuzzy control; fault self-diagnosis

## 0 引 言

近年来,随着人们生活水平的提高和环保意识的增强,对冰箱的要求不再仅仅停留在低温冷储藏上,而从冰箱耗电、食品保鲜和智能化管理等角度向厂家提出了更高的要求<sup>[1]</sup>,将传统的冰箱设计成带网络功能

的智能冰箱已成为未来冰箱发展趋势的主流。在国外,网络冰箱早已成为了各大厂家竞相发展的新一代产品,瑞典伊来克斯公司、韩国 LG 电子、三星都各自推出了带食物管理、互联网与娱乐功能的网络家用冰箱<sup>[2-4]</sup>。而在国内,由于网络冰箱的市场应用推广受限,关于网络冰箱的控制研究较少,而针对商业应用领

收稿日期: 2013-09-02

作者简介: 董 茂(1990-),男,浙江温州人,主要从事嵌入式系统开发方面的研究. E-mail: dongmao7708@126.com

通信联系人: 杨庆华,男,教授,博士生导师. E-mail: zjutme@163.com

域的网络商用冰箱的研究更是寥寥无几。郑州轻工业学院的李银华等<sup>[5-6]</sup>于2005年对一种新型带条码录入功能的网络家用变频冰箱控制器进行了研究,其在理论和实际上有一定的新意,可以实现节能和降噪双重效果。而商用冰箱与家用冰箱不同,其主要应用在一些大型的超市、酒店及便利店等餐饮服务行业中,一般采用数台不同功能的商用冰箱联合使用,但每台冰箱之间并没有“联络”,在实际使用过程中主要存在以下典型问题:能耗过高,且保鲜效果差;压缩机频繁启动关闭,使用寿命短;导致卫生状况差;不利于调度管理及应急响应差等。针对这些问题,本研究研制一种基于WiFi网络的成套商用冰箱智能控制器。

## 1 系统整体方案设计

根据智能网络冰箱控制系统的实际功能需求,本研究将整个控制系统划分为5个主要功能模块<sup>[7]</sup>,系统模块图如图1所示。

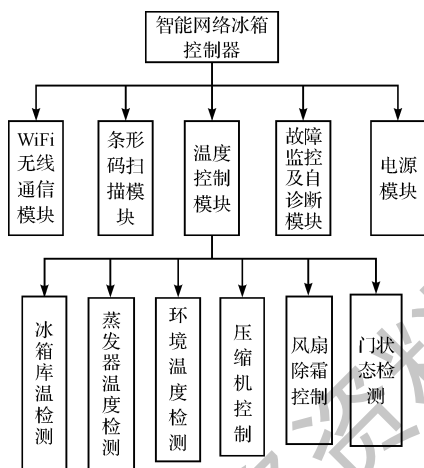


图1 系统模块图

其中,WiFi无线通信模块主要负责上位机与下位机之间的通讯工作;条形码扫描模块负责扫描存入冰箱的食品相关信息,通过串口与CPU连接;温度控制模块主要完成冰箱的温度检测与控制,包括冰箱库温检测、蒸发器温度检测、环境温度检测、压缩机的模糊变频控制、风扇除霜的控制及门状态的检测等几个部分;上位机故障监控及自诊断模块实时监控冰箱的运行状态,当冰箱运行出现故障时,自动对可能产生故障的原因进行预判;电源模块主要负责给各模块供电。

## 2 控制器的硬件结构设计

### 2.1 模糊变频调速模块

#### 2.1.1 变频调速电路

控制器压缩机变频调速模块的电路原理图如图2

所示。变频调速模块电路主要包括3部分:①整流电路;②滤波电路;③IGBT全桥驱动电路。

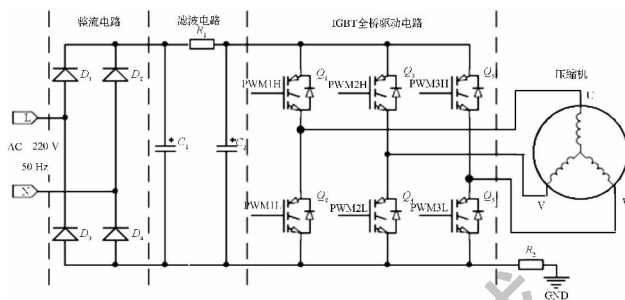


图2 变频调速电路原理图

变频调速电路的工作原理如下:整流电路由4个整流二极管 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ 接成全桥的形式,把220V/50Hz的工频电网电压直接引入,进行全波整流,将交流电变成直流电;再经由 $C_1$ 、 $R_1$ 和 $C_2$ 构成 $\pi$ 型RC滤波电路,滤去整流输出电压中的纹波,尽量使整流输出的电压平滑;由6个IGBT $Q_1 \sim Q_6$ 组成三相直流电机的全桥驱动电路,本研究采用上桥PWM调制,下桥恒通的调制方式。该系统选用Microchip公司生产的DspIC30F5013芯片作为控制器的主控芯片<sup>[8]</sup>,来自DSP的PWM波形(最高5V电压)经过双路光耦HCPL2630驱动芯片IR2103S后输出幅值为15V,上、下桥臂互补的PWM波形,PWM全桥驱动波形如图3所示。

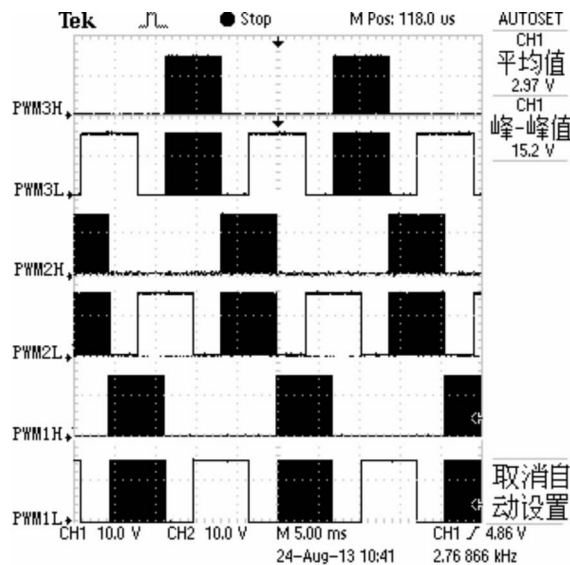


图3 PWM全桥驱动波形

#### 2.1.2 过零点检测及换向控制策略

转子旋转 $360^\circ$ 电角度存在6次换相,其顺序为 $Q_3Q_6$ 、 $Q_1Q_6$ 、 $Q_1Q_4$ 、 $Q_5Q_4$ 、 $Q_5Q_2$ 和 $Q_3Q_2$ 。笔者通过分压电阻对端电压和直流侧电压进行同比例分压来获得反电动势过零点位置,而各相导通的时间和顺序取决于转子的位置,理想的反电动势如图4所示。

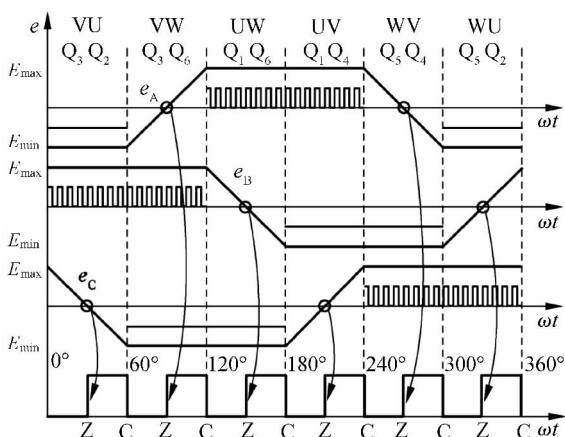


图 4 理想的反电动势和过零点检测波形

由基于“端电压法”的反电动势检测原理可知,三相直流电机不导通相的反电动势只与端电压有关<sup>[9]</sup>,其反电动势计算方程为:

$$\begin{aligned} E_a &= U_a - \frac{1}{2}(U_b + U_c) \\ E_b &= U_b - \frac{1}{2}(U_a + U_c) \\ E_c &= U_c - \frac{1}{2}(U_a + U_b) \end{aligned} \quad (1)$$

因此通过计算相电压的差值,就可以得到三相直流电机反电动势的过零点 Z 点,然后再延迟 30° 电角度,就是该相桥臂 IGBT 的导通时刻 C 点。

### 2.1.3 模糊控制原理

在变频冰箱温度模糊控制器的控制过程中,为了减少软件系统的计算量,模糊控制算法采用查表法。模糊控制器由两个模糊控制规则构成,控制规则 I 采用目标温度接近度  $e$  和偏差变化率  $ec$  作为输入,以 PWM 占空比  $c$  作为输出变量<sup>[10]</sup>,制定出模糊控制表 I;而推理规则 II 的输入量包括蒸发器温度、箱门状态及环境温度等信号,输出量为占空比  $c$  的影响因子  $t$ ,模糊控制器的结构框图如图 5 所示。

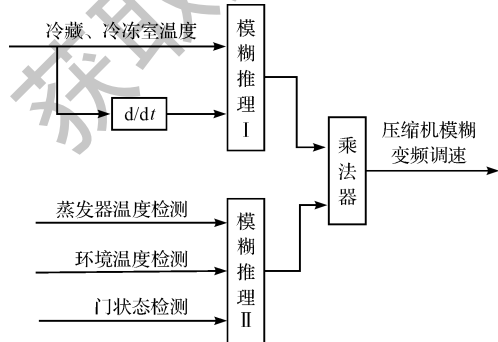


图 5 模糊控制器的结构框图

下面以模糊控制规则 I 为例求取模糊控制表的过程。对冰箱室温的目标接近度  $e$  和偏差变化率  $ec$  的

模糊划分一致取负大(NB)、负小(NS)、零(Z)、正小(PS)、正大(PB) 5 个模糊集,对应离散论域取  $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$  这 5 个元素。变频压缩机转速控制占空比  $c$  取零(Z)、低(L)、中(M)、大(B)、极大(VB) 5 个模糊集,对应的离散论域取  $\{0, 1, 2, 3, 4\}$ 。

假定冰箱室温的目标接近度  $e$  的论域为  $[-x, x]$ ,隶属度函数为等腰三角形,为把它变换为离散论域  $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$ ,则有量化因子  $q_e = [2 - (-2)] / [x - (-x)] = 2/x$ ,因此目标接近度  $e$  在离散论域中的模糊量如图 6(a) 所示。同理,可以得到偏差变化率  $ec$  和输出占空比  $c$  对应离散论域中的模糊量。不过占空比  $c$  所对应的模糊量为单点,这是因为在实际的变频冰箱控制中,压缩机的转速不是连续调节的,而是离散调节的<sup>[11]</sup>,其离散论域中的模糊量如图 6(b) 所示。

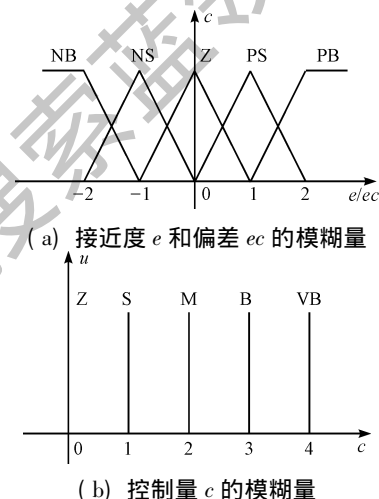


图 6 接近度  $e$ 、偏差  $ec$  和控制量  $c$  的模糊量

根据模糊控制规则 I 生成冰箱模糊控制规则表如表 1 所示。

表 1 模糊控制规则 I 表

$e \backslash ec$	NB	NS	Z	PS	PB
NB	VB	VB	M	M	S
NS	VB	B	M	S	Z
Z	VB	B	M	Z	Z
PS	B	M	S	Z	Z
PB	B	M	S	Z	Z

当控制量  $c$  取 0 时,压缩机不运行;控制量  $c$  取 1、2 时压缩机低速运行;控制量  $c$  取 3 时,压缩机中速运行;控制量  $c$  取 4 时,压缩机高速运行。

### 2.2 无线 WiFi 模块

结合商用冰箱在实际使用过程中分布较散的特点,成套商用冰箱设备应选择方便且易扩展的 WiFi 无线通讯模式,基于网络成套商用冰箱设备原型如图 7

所示,整套设备原型包括 1 台控制计算机、1 个基站(接入点 AP)及若干个不同功能的商用冰箱,其中每个商用冰箱相当于一个移动站,与基站通过无线连接,基站与控制计算机通过有线方式连接,同时计算机通过门桥接入因特网。

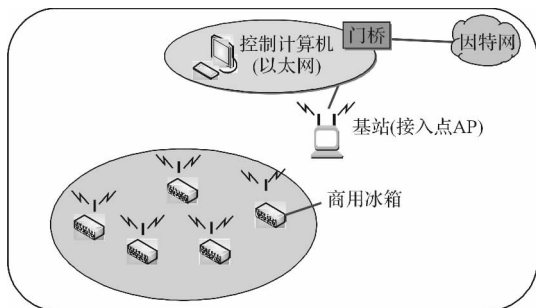


图 7 基于网络成套商用冰箱设备原型

该研究采用美国 RN 公司生产的 RN-471 串口转 WiFi 模块,控制器正常工作时,UART-WiFi 模块将下位机采集到的冰箱温度、冰箱入库食品条形码信息、压缩机及风扇工作情况、控制器电参数数据、冰箱故障信息等通过无线传输到上位机,同时接收上位机控制指令,并通过串口传输至下位机。

### 2.3 条形码扫描模块

该系统采用漫反射的光电开关与条码扫描引擎配合使用,当被扫描对象接近扫描引擎时,光电开关触发 CPU 发送扫描触发命令至扫描引擎,完成一次扫描,反之扫描引擎不工作。另外,因为标准串口使用的是 RS232 电平,而 CPU 主控单元使用的是 TTL 电平,两者之间需要进行电平转换。因此,扫描器工作电路需要增加 MAX232 芯片来实现,增加有效的通信距离。扫描引擎的具体工作情况示意图如图 8 所示。

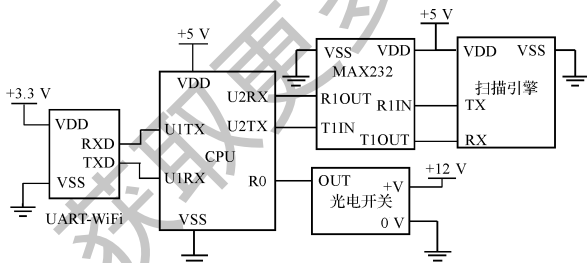


图 8 条形码扫描模块工作原理图

## 3 控制器软件设计

### 3.1 下位机控制软件设计

成套网络商用冰箱系统的下位机软件设计主要由主程序、中断服务程序和各子程序组成。软件全部采用了程序模块化设计,各子程序主要包括:①初始化子

程序:串口初始化、定时器初始化及各子程序初始化等;②中断子程序:定时器中断、串口中断子程序;③温度检测与控制子程序;④故障自诊断子程序等。下位机软件主程序设计流程图如图 9 所示。

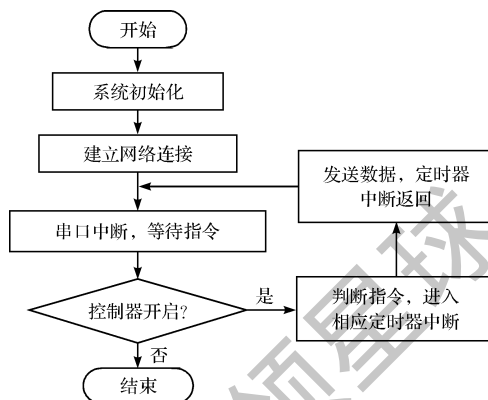


图 9 软件主程序设计流程图

为了保证无线 WiFi 通讯过程中传输数据的准确性,需要拟定一定的通讯协议。该系统采用的通讯协议其一般格式如下所示:

数据头	数据信息	数据尾
2 Bytes	0 ~ 20 Bytes	2 Bytes

其中,通讯协议的的数据头和数据尾统一占用 2 Bytes 空间,不同控制指令的数据头不尽相同,而数据尾则统一为 0x6E、0x77;而控制指令的数据信息长度则因指令功能不同而不同,以设定压缩机工作模式指令为例,其控制指令协议设置如表 2 所示。

表 2 压缩机工作模式指令协议(十六进制)

第 1、2 位	第 3 位	第 4 位	第 8、9 位
0x81 0x85	0x01	0x01	0x6E、0x77
数据头,其值不变	01→PWM 调压 模式 00→方波 调频模式	01→模糊变频 方式 00→机械 温控方式	数据尾,其值不变

### 3.2 上位机软件设计

成套网络商用冰箱系统上位机软件采用 Microsoft Visual C++ 6.0 软件编译,其界面效果如图 10 所示。该网络冰箱控制与管理系统的功能包括用户管理、系统设置、节点管理、数据分析等。控制软件具有以下功能:①按照存储食物的要求在线调整每个冰箱的存储温度;②在线显示每个冰箱中食物的存储量,合理优化各个冰箱食物存储量;③在线显示食物的存储时间,并通过报警提示,避免食物过期;④故障自诊断,根据下位机的故障信息实时显示报警功能。

故障自诊断设计思路主要由故障信息采集和故障信息录入两部分组成<sup>[12]</sup>。由管理员将维修人员收集



图 10 网络冰箱控制与管理系统的界面

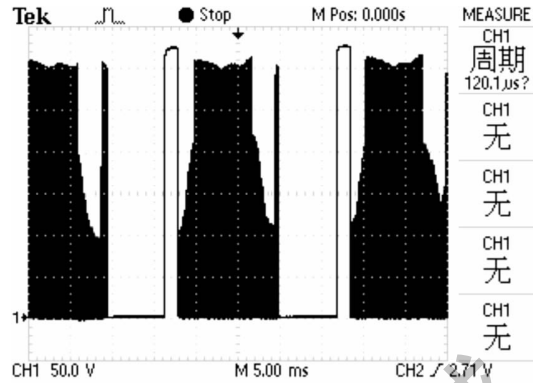


图 12 压缩机一相端电压波形图

的信息录入数据库,建立一个专家库系统。当设备出现故障时,系统将冰箱控制器相关温度及电参数与冰箱正常运行时控制电路的状态参数进行对比,查出可能的故障原因,提高检修效率;同时,对某些不准确的信息修改后重新收集并录入专家库系统,可见,系统故障自诊断设计是一个长期累积的过程。

### 4 实验结果

该控制系统采用三星 MKV19G-L2J 型号的压缩机,其具体参数如下:电机极对数为 2 额定转速 4 000 r/min,两相绕组间相电阻为 12 Ω,母线电压 310 V 额定工作电流为 3 A。控制器的实际控制效果图如图 11 所示。

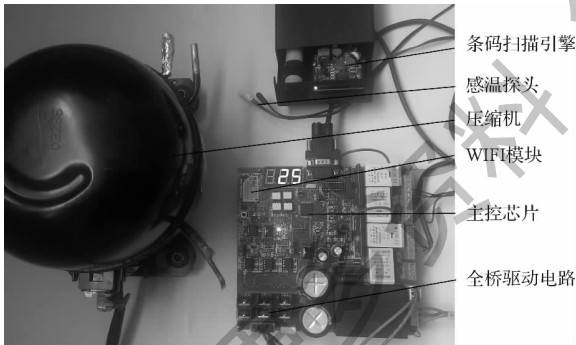


图 11 控制器实际控制效果图

由于压缩机在静止时反电动势为零,无法通过反电动势法启动压缩机,该系统采用定时切换的定子绕组通电顺序的方法让压缩机从静止加速运转到一定的稳定速度,再切换至反电动势法运转。压缩机压缩机转速达 1 450 r/min 时,压缩机一相的端电压波形如图 12 所示。

### 5 结束语

该成套网络商用冰箱智能控制器是集食品信息采

集分析、温度远程调节与监控、冰箱模糊变频控制、冰箱故障自诊断功能于一体、全方位全过程数据监控的成套设备调度控制管理系统。实验结果证明,该控制器控制时,压缩机运转平稳,具有安全可靠、管理方便、能耗低、保鲜效果好、健康卫生等优点,在高档酒店、大型超市等诸多需要数量较多的商用冰箱的场所中具有很好的应用前景。

### 参考文献(References):

- [1] 乔洪涛,卢智利. CFD 在冰箱结构优化中的应用现状[J]. 低温工程 2003(4): 43-48.
- [2] 张丽芳. 欧美网络冰箱产品调研[J]. 经济关注 2001(1): 121-121.
- [3] 邹利. 新世纪家电网络化[J]. 生活科技 2001(11): 57-57.
- [4] 朱超,杨荣. 新型多功能冷热联供复合系统在家庭节能领域的应用研究[J]. 流体机械 2012 40(7): 65-69 86.
- [5] 李银华,何晓霞,黄布毅. 带条码录入功能的网络变频冰箱控制器的研究[J]. 机床与液压 2005(17): 146-148.
- [6] 何万国,何之栩. 真空隔热板对冰箱运行特性影响的数值分析[J]. 流体机械 2012 40(7): 64-66.
- [7] 邵克政. 电冰箱模糊控制器[J]. 北方工业大学学报, 1994 6(1): 78-87.
- [8] Microchip Technology Inc.. dsPIC30F5011/5013 datasheet [Z]. Chandler: Microchip Technology Inc. 2007.
- [9] 赵奇. 反电动势过零点检测法的研究[J]. 机械工程与自动化 2012(1): 165-166.
- [10] 洪在地,朱军山,潘坚,等. 变频冰箱模糊控制及仿真研究[J]. 家电科技 2006(2): 46-50.
- [11] 吴晓杰. 变频冰箱系统动态特性及控制策略研究[D]. 杭州:浙江工业大学机械学院 2012.
- [12] 陈侃松,刘洪波,熊攀. 基于 MFC 的故障维修专家系统设计与实现[J]. 微型机与应用 2012 31(22): 13-16.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

董 茂,王志恒,张艳杰,等. 基于 WiFi 网络的成套商用冰箱智能控制器研究[J]. 机电工程 2014 31(1): 119-123.

DONG Mao, WANG Zhi-heng, ZHANG Yan-jie, et al. Complete sets of commercial refrigerators control system based on wireless network WiFi[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014 31(1): 119-123.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>