

# 基于物联网的啤酒发酵过程温度控制系统设计

赵富孟, 陈寿元, 杨泽军

(山东师范大学 信息科学与工程学院, 山东 济南 250014)

**摘要:**为解决传统发酵控制系统复杂的现场连线的问题,实现在无线环境下对发酵过程参数的有效监控,文中介绍了一种基于物联网的啤酒发酵控制技术。首先分析物联网技术和啤酒发酵大滞后过程,然后设计基于物联网的啤酒发酵控制方案。具体使用CC2430等芯片,组建基于ZigBee协议的无线通讯网络,实现啤酒发酵的自动检测与控制。研究表明,ZigBee无线网络控制结构简单,通信灵活方便,可以使啤酒发酵生产降低投资,减少人力资本,完成发酵过程的优化创收。对于提高啤酒质量打下良好的基础。

**关键词:**物联网;ZigBee;发酵罐监测控制;CC2430

**中图分类号:**TP273;TP393

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2012)07-0154-04

## Design of Temperature Process Control System of Beer Fermentation Based on Internet of Things

ZHAO Fu-meng, CHEN Shou-yuan, YANG Ze-jun

(College of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

**Abstract:** In order to solve the complexity field wiring problems of traditional fermentation control system and achieve the effective monitoring about fermentation process parameter in the wireless environment, introduced a beer fermentation control technology based on internet of things. First, analyse internet of things technology and a large hysteresis process of beer fermentation, then design the beer fermentation control program based on internet of things. Use CC2430 chip and so on, set up wireless communication network based on ZigBee protocol to achieve automatic detection and control of beer fermentation. Research shows that the wireless network control structure of ZigBee is simple, the communication is flexible and convenient, it can reduce investment in beer fermentation production and human capital to complete revenue and optimization in the fermentation process. It laies a good foundation for improving the quality of beer.

**Key words:** internet of things; ZigBee; fermentation tank monitoring and control; CC2430

## 0 引言

随着生物工程迅速的发展,发酵工业越来越引起科技界、工业界和政府部门的重视,因为生物工程的许多成果,需经过发酵工业而转化为工业产品,成为商品<sup>[1]</sup>。目前,国内啤酒发酵生产的控制水平基本上可以分为四个档次,完全手动操作方式,半自动控制方式(集中手动控制方式),PC机+数据采集插卡方式,分布式控制系统。啤酒工业总的技术特点是向设备大型化、自动化、生产周期短、经济效益高的方向发展。近年来微机应用在啤酒工业中得到广泛应用,技术逐渐成熟,国内外传统的控制方法多数是现场连线的总线式控制。

目前,物联网技术迅速起步并得到较快发展,但物联网技术与传统现有的控制技术的完美结合还有待于深入研究,对于发酵控制工业,国内外使用物联网技术的无线网络进行控制的也是比较少。设计使用基于物联网技术的无线传感器网络控制技术,可以使啤酒发酵生产降低投资,减少人力资本,完成发酵过程的优化创收。

## 1 系统总体结构

基于物联网的发酵过程控制主要是将发酵控制技术和物联网技术相结合,提出适用于发酵的智能化体系。以先进的物联网技术为基础,结合传感器技术和无线通信技术,达到实时准确的监测控制的目的<sup>[2]</sup>。

物联网的经典体系分为感知层、传输层和应用层。感知层即为多个传感器节点对所需要的数据的监测,同时根据应用层的数据比对,进行反馈控制。传输层即为传输网络,这里通过无线网络对传感器采集的信

收稿日期:2011-11-15;修回日期:2012-02-17

基金项目:国家自然科学基金(60802030)

作者简介:赵富孟(1985-),男,山东临沂人,硕士研究生,研究方向为数据通信理论与技术;陈寿元,教授,硕士生导师,研究方向为信息系统、引力通信。

息进行传输。应用层即控制处理数据的工控机或 PC, 对数据进行收集、存储、处理, 并发送数据信息对目标进行控制。系统由多个监测控制节点以及多个路由节点、协调节点, 还有 PC 机构成。每个发酵罐设定上中下三个监控节点, 根据距离设置路由节点。系统采用 PC 机完成对数据的收集、分析、显示及保存, 协调节点连接 PC 机与路由节点, 路由节点连接各个终端的测控节点。如果需要远程监控, 协调节点可以通过 GPRS 模块加入 Internet 与远程控制中心通信。发酵控制系统结构如图 1 所示。

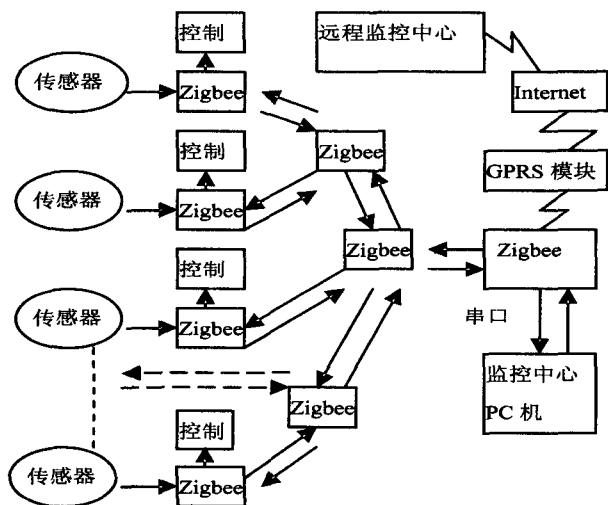


图 1 发酵控制系统结构

## 2 传感器终端监测控制模块

该模块的 ZigBee 是精简功能设备, 由传感器、ZigBee 模块和参数控制模块组成, 通过数字温度传感器 DS18B20 采集温度信息, 送给 ZigBee 模块, ZigBee 模块是带有 8051 微控制器内核的 CC2430, 它支持 2.4GHz IEEE802.15.4/ZigBee 协议。ZigBee 发送采集到的信息, 接收控制中心发送的控制信息, 然后送给控制模块, 对温度等参数进行控制。该模块框图如图 2 所示。

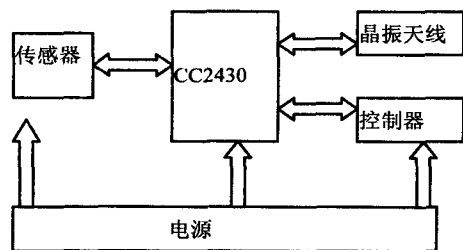


图 2 终端节点框图

数字传感器 DS18B20 接线方便, 封装后可用于电缆沟测温、锅炉测温、农业大棚测温等非极限温度场合。其封装形式多样, 适用各种狭小空间设备数字测温和控制领域<sup>[3]</sup>。分辨率可以从 9 到 12 位选择, 可通过程序设定。精度可以配置成 9、10、11 和 12 位 4 种

状态, 对应的可分辨温度分别为 0.5℃、0.25℃、0.125℃ 和 0.0625℃, 寄存器 R1 和 R0 用来设置分辨率, R1 与 R0 组合了四个转换精度, 00、01、10、11 分别为 9 到 10 位转换精度。

发酵罐体积比较大, 传感器安装深度影响测量控制效果, 安装过深会增加滞后时间, 安装过浅会影响测量效果。根据热量等值交换法来确定传感器的安装深度。发酵罐半径为  $R$ , 传感器安装在  $r_1$  处,  $r_1$  为热量交换平衡点, 在  $R$  到  $r_1$  处接触冷却水降温降的快, 与  $r_1$  以内的发酵液有温度差, 根据  $r_1$  内外所放热量和所系热量相等确定  $r_1$  的位置<sup>[4]</sup>。

$r_1$  半径圆内降温,

$$Q_{放} = \int_0^{r_1} 2\pi h c t_2 \left(1 - \frac{r}{r_1}\right) r dr = \frac{2\pi h c}{6} t_2 r_1^2 \quad (1)$$

式中  $h$  为液体高度,  $t_2$  为  $r_1$  处的温度。C 为液体吸热系数。

在  $r_1$  外, 液体吸热达到平衡,

$$Q_{吸} = \int_{r_1}^R 2\pi h c t_2 \left(1 - \frac{r}{r_1}\right) r dr = 2\pi h c \left(\frac{1}{2} R^2 - \frac{1}{3} \frac{R^3}{r_1} - \frac{1}{6} r_1^2\right) \quad (2)$$

达到热平衡是吸放热量相等, 得到  $r_1 = 2/3 R$ 。

温度信息经过单线接口送入 DS18B20 或者从其中送出; DS18B20 的电源可以由数据线本身提供; 其测量范围从 -55℃ ~ +125℃, 可在 1s 内把温度变换成数字<sup>[5]</sup>。在本系统中, 发酵的温度控制是单向的, 只控制制冷量, 升温是靠发酵过程自身产生的热量, 当温度高时, 调节冷却管中冷却水流量来降温, 当温度小时, 关闭冷却水, 利用发酵中生化反应产生的热量使温度上升。

## 3 ZigBee 无线传输网络

通信网络选用的是 ZigBee 网络, 其定义了两种设备: 全功能设备 (FFD) 和精简功能设备 (RFD)。全功能设备作为网络协调器或路由器, 精简功能设备作为终端。

网络拓扑结构如下: 各个 ZigBee 节点, 完成不同的功能。监控终端具有多种检测功能, 针对自身监控的设计进行信息采集, 并完成数据上报功能, 同时接收信息进行控制。路由节点具备报文转发能力, 它在协调器与监控终端之间建立通信转发的通道, 方便报文传送, 拓展网络范围<sup>[6]</sup>。协调器节点是网络部署的中心, 管理、控制、命令下达的主节点, 直接与管理中心相通信, 协调节点还可选择带有 GSM/GPRS 模块, 以便同远距离管理中心联系<sup>[7]</sup>。ZigBee 网络拓扑结构如图 3 所示。

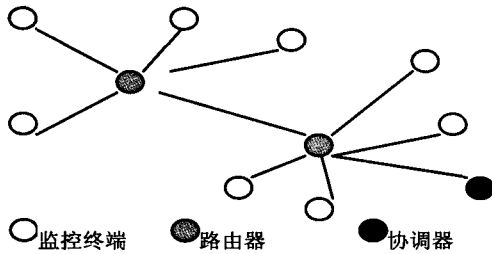


图 3 ZigBee 拓扑结构

路由器和协调器比终端节点模块少了传感器和控制器,只是协调器还需要通过串口与 PC 机通信。CC2430 在单个芯片上整合了 ZigBee 射频前端、内存、微控制器。使用 1 个 8 位 MCU(8051),具有 128KB 可编程闪存和 8KB 的 RAM,还包含模拟数字转换器、定时器、AES128 协同处理器、上电复位电路、掉电检测电路,以及 21 个可编程 I/O 引脚等。集成符合 IEEE 802.15.4 标准的 2.4GHz 的 RF 无线电收发机;硬件支持 CSMA/CA 功能;具有电池监测和温度感测的功能<sup>[5]</sup>。

由于 CC2430 将 8051 内核与无线收发模块集成到一个芯中,因而简化了电路的设计过程,省去了对单片机与无线收发芯片之间接口电路的设计,需要很少的外围部件配合就能实现。

#### 4 上位机监测控制中心模块

ZigBee 的协调节点接收到的数据信息通过串口送给控制中心的计算机。当领域扩大后,无线传感器网络会被划分成多个小的区域,协调节点在每一个小区域中的充当着标识该区域和与下一个区域的协调节点进行通信的作用。协调节点通过无线方式获得的信息,通过串口发送给 PC 机;接收 PC 机的信息指示,并通过无线方式发送给其他节点。

在传输信息的过程中难免会出现随机误差和干扰误差等随机误差,随机误差是由随机干扰引起的,其特点是在相同条件下测量同一量时,其大小和符号会现无规则的变化而无法预测,但多次测量的结果符合统计规律。为克服随机干扰引起的误差,硬件上可采用滤波技术,软件上可采用软件算法实现数字滤波。采用取均值的方法,去掉最大和最小的值。误码错误可采用汉明码纠错和自校正编码技术实现。

通过串口可以方便地实行协调节点与 PC 机之间的通信。PC 机有标准的 RS-232C 串行口,信号电平采用负逻辑,即逻辑“1”为-5~-15V,逻辑“0”为+5~+15V。CC2430 的 P0.2 和 P0.3 分别为串行数据接收端 RxD 和发送端 TxD,接收和发送信号为 TTL 电平。因此和 PC 机串行通信时需利用 MAX3232 进行 RS-232C 电平和 TTL 电平的转换,如图 4 将 MAX3232 的

7、8 脚分别接入 PC 机串口的 2、3 脚,9、10 脚接 CC2430 的 P0.2、P0.3,即可以实现 PC 机与单片机的串行通信。

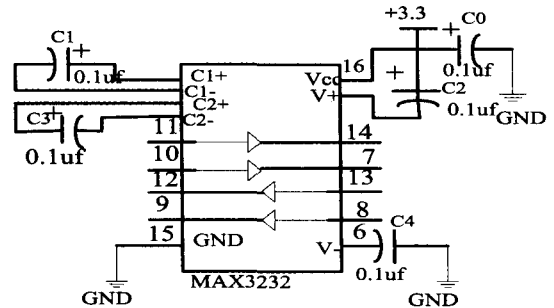


图 4 MAX3232 的应用电路

#### 5 终端控制算法

啤酒发酵过程特点主要有温度对象的大时滞特性,参数之间的强耦合性,发酵模型的不确定性等。这决定了发酵过程控制必须采用特殊的控制算法。由于每个发酵罐都存在个体的差异,对象特性也不尽相同。因此很难找到或建立某一确切的数学模型来进行模拟和预测控制。为节省能源降低成本,并且能够满足控制的要求,发酵罐的温度控制选择了检测发酵罐的上、中、下 3 段的温度,通过上、中、下 3 段冷媒进口的电磁阀来实现发酵罐温度控制。

PID 控制算法原理简单、使用方便、适应性广和鲁棒性强的特点。PID 控制器是一种线性控制器,它根据给定值  $r(t)$  与实际输出值  $y(t)$  构成控制偏差  $e(t) = r(t) - y(t)$ ,PID 控制器的运算规律表达式为

$$\Delta u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3)$$

式(3)传递函数表示为

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i} s + T_d s \right) \quad (4)$$

式(3)中第一项为比例(P)部分,第二项为积分(I)部分,第三项为微分(D)部分。 $K_p$  为控制器的比例增益, $T_i$  为积分时间, $T_d$  为微分时间<sup>[8]</sup>。这三个参数大小可以改变,相应的改变控制作用大小及规律。

在数字控制系统中使用数字 PID 控制器,其特点是采样控制,每个被控制量的测量值与设定值比较一次,按照预定的控制算法得到输出值,通常把它保留到下一采样时刻。它只能根据采样时刻的偏差值  $e(k) = r(k) - y(k)$  计算控制量,所以连续 PID 改为离散 PID,比例规律采样进行,积分规律需要通过数值积分,微分规律需要通过数值微分。离散的 PID 表达式为

$$u(k) = K_p \left\{ e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(j) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\} \quad (5)$$

其离散的控制算法采用增量式

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (6)$$

其中,  $K_p$  为比例系数, 积分系数  $K_i = K_p T / T_i$ , 微分系数  $K_d = K_p T_d / T$ 。上式表示第  $k$  此输出的增量, 等于第  $k$  次, 第  $k-1$  次调节器输出的差值<sup>[9]</sup>。

在发酵过程中根据工艺要求, 通过控制冷却水流量的大小, 实现对发酵罐内部温度的控制。采用热量预估的方法, 当发酵罐温度大于工艺要求值时需要释放热量而降温, 根据冷水入口与出口的温度计算吸收热量, 确定需要流入多少冷水以控制冷水阀门的开量及作用时间, 计算机根据热量平衡做出预估。这样的受控对象具有大时间惯量、大滞后特性, 用常规的 PID 控制难于满足要求。采用等待与常规 PID 相结合的复合控制算法。

这种控制法的原则主要是调节偏差  $e$  不是连续进行的。偏差大到必须要改变控制量时, 才使其发生相应的变化。在调节一次后, 另一次调节不立即进行, 而是等一段时间之后, 不断地检测被控制参数, 视本次调节的效果来决定是否做下一次调节。在实际中, 当被控参数  $y$  与给定值  $r$  的偏差小于允许值  $E$ , 即  $|e| = |y - r| < E$  时, 保持控制系统当前控制量不变。当  $|y - r| = |e| \geq E$  时, 对控制量进行调整控制, 使偏差  $|e|$  趋于最小。此后控制系统进入等待期间  $t_w$ , 在此期间内, 不论  $|e|$  是否小于允许值  $E$ , 对控制量都不作新的调整。等待时间  $t_w$  结束后又将根据  $|e|$  的大小, 决定是否改变控制量, 这一过程不断循环<sup>[10]</sup>。

当控制量需要调整时, 则采用 PID 增量算式进行计算, 并用位置输出的方式, 改变其输出值。采用的 PID 增量算式为上面的算式(6)。增量式 PID 控制算法的流程框图如图5所示。

## 6 节点软件设计

ZigBee 终端节点只负责加入网络收发信息, 路由节点负责转发信息, 协调器节点主要负责组网, 配置网络参数、启动网络并维护网络正常工作。

### 6.1 协调器节点软件设计

协调器组网过程: 首先, 协调节点发送广播进行组网, 向相同信道的节点告知自己为网络协调器, 并且广播网络的 PAN ID (Personal Area Network IDentity), 同时定时侦听有无网络连接的请求; 其次, 如果收到路由节点或终端节点的请求, 则依据请求信息做出判断是否允许加入网络, 若允许, 协调器发送回应告诉节点加入, 给节点分配一个地址作为唯一的身份标识; 最后,

给予节点定时发送相关的控制命令, 对整个网络运行维护。为了保证网络的成功搭建, 监测网络采用唯一的网络 PAN ID, 每个节点包含一个唯一的 IEEE 地址<sup>[11]</sup>。

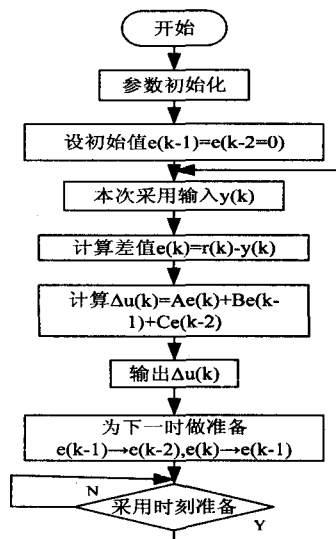


图5 增量式PID控制算法程序框图

### 6.2 传感器节点软件设计

传感器终端节点主要是负责温度信息的采集发送以及接收执行来自协调器的控制命令, 拥有子节点的节点还需要将子节点的数据转发到协调节点。传感器节点启动后, 将扫描有效的网络信道, 发现协调器建立的网络并请求加入<sup>[12]</sup>。设备加入网络后进入轮询式操作, 执行周期性发送数据的任务, 将采集到的信息经过处理以后周期的发送给中央控制单元。

## 7 结束语

对物联网技术和发酵控制的分析, 将物联网与发酵工业的实际相结合, 探讨了发酵过程无线网络控制的可行性, 改变了传统有线监测的方式。文中对发酵过程的温度参数监测控制, 采用基于 ZigBee 的无线网络, 该网络以 CC2430 为核心, 采用 DS18B20 获取数据, 电路结构简单、工作稳定可靠, 具有通信灵活方便等特点, 特别适用于工业现场环境。

### 参考文献:

- [1] 王树青. 发酵过程自动化[J]. 化工自动化及仪表, 1993(5): 1-6.
- [2] 李洋, 张永辉. 基于物联网技术的冷藏车智能监控系统[J]. 通信技术, 2010, 43(11): 59-60.
- [3] DS18B20 [EB/OL]. 2011. <http://baike.baidu.com/view/1341776.htm>.
- [4] 陈寿元, 唐仪省. 微机应用在啤酒发酵工艺中的几个技术问题[J]. 山东教育学院学报, 1997(6): 12-14.

## 5 改进的 HTTP 分发方式

结合上面所述的基于 HTTP 的混合分发方式以及确定的比特率自适应,可进一步改进其分发方式:内容提供商根据一般需求将视频源文件切割成较小的片段,并且分别为每个片段进行不同码率的编码。这样,每个视频源文件拥有几个不同码率的编码文件。在服务器端向客户端分发视频内容时,服务器端根据当时的网络带宽,选择不同码率的文件向客户端进行分发。当然,这样一个分发过程是建立在内容分发网络之上的。

采用这种改进方式进行分发可以获得以下优势:摆脱了专用流媒体服务器的束缚,同时降低了运营成本;HTTP 的普遍性弱化了设备的差异性;HTTP 采用的是可靠传输,可以在一定程度上保证视频质量;结合内容分发网络,可以有效地减少网络拥塞、提高网络利用率。

## 6 结束语

目前移动富媒体正准备不断扩张,但是缺乏平台的统一和协议的趋同,而这两项却是支持一致的用户体验所必须的。

终端用户、开发商以及运营商都将从生态系统的统一以及对于融合了的视频分发解决方案的共同理解中受益。内容提供商希望分发高质量的视频以保证它们的品牌完整性。基于不可靠协议的流媒体协议,如基于 UDP 的 RTP 协议,不能提供确定的质量保证。另外,多数运营商不愿意开放它们网络的动态端口,而这些端口正是 RTP 协议所需要的。所以,针对这些问题提出了利用 HTTP 协议作为内容分发协议。基于 TCP 的可靠分发,结合确定的比特率自适应,能够提供确定的质量保证。同时 HTTP 的普遍性使其容易穿过防火墙并且能够利用优化了的内容分发网络缓存基础设施。虽然 HTTP 不是为实时应用而设计的并且对于视频分发可能不是最佳选择,但是它利用广泛支持的协议提供了理想的功能。

## 参考文献:

- [1] Shen B, Tan W, Huve F. Dynamic Video Transcoding in Mobile Environments[J]. IEEE Multimedia Mag., 2008, 15(1): 45-51.
- [2] 黄一鸣,董永强. RTSP 流媒体代理 IPv4/IPv6 组播互通的研究[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(6): 183-190.
- [3] Guo L, Chen S Q, Xiao Z, et al. Analysis of Multimedia Workloads with Implications for Internet Streaming[C]//Proceedings of the 14th International Conference on World Wide Web (WWW 2005). [s. l.]: [s. n.], 2005.
- [4] 张林,王芙蓉. RTSP 协议研究及其在一种 VOD 中的实现[J]. 中国有线电视, 2004(22): 9-12.
- [5] 李必云,石俊萍. 移动流媒体技术在视频传输中的应用[J]. 计算机时代, 2010(5): 28-29.
- [6] Li Y, Markopoulou A, Apostolopoulos J, et al. Content-aware Payout and Packet Scheduling for Video Streaming over Wireless Links[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2008, 10(5): 885-895.
- [7] 李继玲,于凡. RTP/RTSP/HTTP 流化技术比较分析[J]. 科技创新导报, 2010(28): 23-23.
- [8] Guo Lei, Tan Enhua, Chen Songqing, et al. Delving into Internet Streaming Media Delivery: A Quality and Resource Utilization Perspectiv [C]//Proceedings of the 2006 ACM SIGCOMM Internet Measurement Conference (IMC 2006). [s. l.]: [s. n.], 2006: 217-230.
- [9] Liang Y J, Apostolopoulos J, Girod B. Analysis of Packet Loss for Compressed Video: Effect of Burst Losses and Correlation between Error Frames[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(7): 861-874.
- [10] Liang Y J, Gerod B. Network-adaptive Low-latency over Best-effort Networks[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(1): 72-81.
- [11] Wang Bing, Wei Wei, Guo Zheng, et al. Multipath Live Streaming via TCP: Scheme, Performance and Benefits[J]. ACM Transactions on Multimedia Computing Communications and Applications, 2009, 5(3): 1-23.
- [12] Chakareski J, Frossard P. Distributed Collaboration for Enhanced Sender-driven Video Streaming[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2008, 10(5): 858-870.

(上接第 157 页)

- [5] 陈得民. CC2430 与 DS18B20 的粮库温度传感器网络设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2009(12): 60-62.
- [6] Wang Wei, Fan Zebin. Design of Wireless Temperature Detect Based on CC2430[J]. Electronic Engineer, 2007, 33(8): 78-80.
- [7] 郭渊博,杨奎武,赵俭,等. ZigBee 技术与应用: CC2430 设计、开发与实践[M]. 北京:国防工业出版社, 2010.
- [8] 俞金寿,孙自强. 过程自动化及仪表[M]. 北京:化学工业出版社, 2007: 103-104.
- [9] 顾德英,张健,马淑华,等. 计算机控制技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2005.
- [10] 侯宪伦,孙兆荣,丁陵,等. 啤酒发酵罐微机控制系统及其控制算法[J]. 工业控制计算机, 1991(5): 28-29.
- [11] 庞娜,程德福. 基于 ZigBee 无线传感器网络的温室监测系统[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2010, 28(1): 55-60.
- [12] 周岭松,余春喧. 基于 ZigBee 技术的温湿度控制系统[J]. 电子测量技术, 2011, 34(6): 47-50.