

蔗糖结晶过程控制节点设计与研究

Design and research on control node in sucrose crystallization process

潘泽锴

PAN Ze-kai

(广西职业技术学院, 广西南宁 530226)

(Guangxi Vocational & Technical College, Nanning, Guangxi 530226, China)

摘要:为了使蔗糖自动化生产设备能在环境恶劣、干扰严重的制炼车间可靠运行,解决蔗糖结晶过程过饱和度等参数实时在线检测控制问题,以微波技术为基础,采用嵌入式微处理器和 ZigBee 无线传感器网络,结合嵌入式操作系统设计一套可靠、节能的智能化煮糖在线检测与控制系统,以实现煮糖过程自动化,提高精糖产品质量和产品档次。

关键词:蔗糖;结晶;过程控制;嵌入式;ZigBee

Abstract: Based on microwave technology, a safe, energy-saving and intelligent system is designed to perform online detection and control for sugar crystallization. This online detection and control system, with embedded operating system, is equipped with an embedded microprocessor and ZigBee wireless sensor networks. With the benefit of this system, automatic production machinery of sucrose can work reliably in workshops which are in bad working condition. Furthermore, in sucrose crystallization process, real-time online detection and control for parameters like supersaturation can also be improved. Automation of sugar boiling becomes feasible and quality of refined sugar will be raised to a higher level due to this intelligent system.

Keywords: sucrose; crystallization; process control; embedded; ZigBee

煮糖是蔗糖制炼工艺的关键工序,是为了更好地控制蔗糖溶液的结晶,整个过程伴随着复杂的物理和化学反应^[1]。煮糖过程受诸多因素干扰,多因素干扰势必造成煮糖罐内液体呈多态变化,蔗糖结晶的过程呈现出非线性变化关系,难以用一两个数学模型来描述,生产实践中操作人员通常凭借经验来控制阀门开关度来完成整个煮糖工序,受人为因素影响很大^[2-3]。近年来业内人士从不同角度采用不同技术,如近红外法、超声波、 γ 射线等,以突破煮制罐内过饱和度检测

的瓶颈,虽取得了一些成果,对煮糖蔗糖结晶工艺有促进作用,但未真正实现自动煮糖^[4]。陈佳权等^[5]研究发现微波辅助提取甘蔗糖分的方法节能、省时、高效,为此,本研究拟采用微波技术实现煮糖蔗糖结晶过饱和度检测。

随着芯片制造工艺的不断改善,微处理芯片性能得到极大的提升,嵌入式技术的应用也更加广泛;以微处理芯片为架构的数字信息处理系统呈现集成度高、速度快、功耗低等特点受到人们的青睐;无线通信技术也摆脱了有线空间束缚,获得了空前的发展机遇,而 ZigBee 技术凭借其低功耗、抗干扰能力强等特点越来越多地应用于工业现场环境^[6]。结合工业现场环境和硬件技术发展趋势,本研究用嵌入式微处理器和 ZigBee 无线传感器,结合嵌入式操作系统设计一套节能、节水智能化煮糖在线检测与控制系统。该检测方法属于非接触式的在线检测方法,能有效克服生产线上现在使用的方法存在的不足,在工业现场高温、潮湿、电磁干扰和硫化气体共存的恶劣环境中其优点突出,是可行的煮糖自动控制方法,这对自动化煮糖生产有重要影响。因此,在原有设备实现生产自动化的基础上,建立一种基于 ZigBee 的自动煮糖控制系统具有现实的意义。

1 控制系统总体设计

该系统硬件平台设计主要包括数据采集与控制模块、ZigBee 无线通信模块和嵌入式处理平台。设计的系统总体架构见图 1。

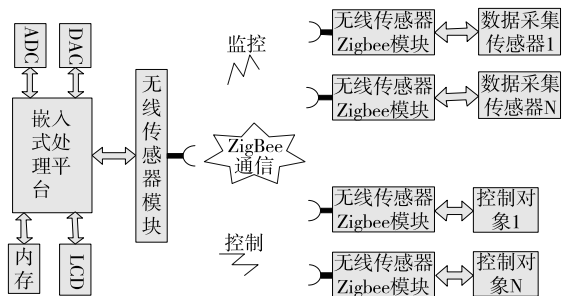


图 1 系统总体架构图

Figure 1 Architecture diagram of overall system

基金项目:广西区教育厅自然科学基金资助项目(编号:YB2014488, KY2015YB384);广西职业技术学院自然科学基金资助项目(编号:121208)

作者简介:潘泽锴(1984—),男,广西职业技术学院讲师,硕士。

E-mail:panzekai@163.com

收稿日期:2015—12—18

系统由数据采集与控制节点模块、无线传输模块、嵌入式处理器和控制对象等组成。数据采集与控制节点模块通过相应的传感器获取蔗汁连续结晶罐的实时数据,并通过无线传感器 ZigBee 模块向外不断地发送采集到的实时数据,由嵌入式系统组成的监控网络不断捕捉发送出来的信号。与嵌入式平台连接的无线传感器模块实时在线接收无线传感器采样节点的过饱和度和锤度、温度、pH 值等控制参数值,并以数据帧格式传送至嵌入式处理平台处理,处理好的数据用 SQLite 数据库方式存储。处理好的控制参数值与原有的经验阈值对比,以此作为控制煮糖过程结晶罐糖浆、热水、原蜜等阀门开度的依据。通过无线传感器模块发送控制命令到对应的 ZigBee 模块,ZigBee 模块与继电器电路连接控制伺服电机转动方向与转动快慢以实现结晶罐热水、糖浆、原蜜等原料入料增减的目的,从而实现整个煮糖过程的自动化。在实际设计中,系统的总体分为控制节点的硬件和软件设计两个主要部分。

2 自动煮糖控制节点硬件设计

煮糖车间环境较为恶劣,现场环境遍布的各种大型设备、输送管道等对信号的反射、散射造成的多径效应,高温和气体对应用电路的腐蚀,以及马达、运行设备震动时产生的电磁噪声,都会干扰系统的正常运行,因此对系统的可靠性有了更高的要求。而自动化煮糖系统控制中要求设备抗干扰能力强、能够自组网且容错率低,如果模块功耗低则更优,对比现有的短距离无线传输技术,选用 ZigBee 模块能够满足此类恶劣环境的工业现场监测控制,所以本节点的设计主要通过 ZigBee 模块来实现。

2.1 数据采集与控制节点模块

数据采集与控制节点模块主要实现对蔗糖连续结晶罐的实时数据采集和控制。控制系统需要实时在线得到结晶罐内糖浆的过饱和度、锤度、温度、pH 值与结晶罐体外进出料阀门开度值等控制参数,控制对象主要是伺服电机^[7]。在该节点的设计中,主要由数据采集模块、数据控制模块和数据传输模块组成,其中采样和控制作为一个整体,其结构见图 2。

系统结构设计中,采样主要通过过饱和度传感器、锤度传感器、温度传感器、pH 值传感器和流量传感器等完成。其中糖浆结晶过程的重要参数过饱和度是根据文献[8]的装置及方法采集,它是利用微波技术实时监控传感器的电压值变化,通过电压值的变化实时换算以获取蔗汁连续结晶罐内过饱和度的变化。控制终端对象是带着 RS232 或 RS485 接口的智能传感器或执行对象,执行对象主要控制伺服电机的转动。本系统使用的无线模块是以整体形式提供的,内部采用控制与射频一体化的集成芯片 CC2530,外部设计成 I²C 接口接入的方式,在数据采集与发送中首先对寄存器做初始化设置,控制 I²C 接口的数据接收和传送,配合固件完成对数据收发处理,向上提供应用管理程序操作和配置无线编程接口。

2.2 数据传输与处理节点设计

在煮糖车间中的恶劣环境对现场有线通信设备铺设难

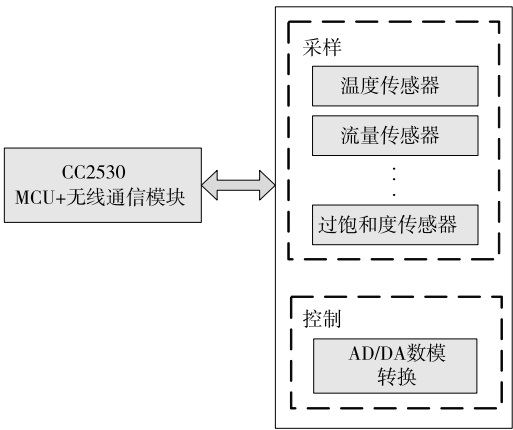


图 2 数据采集与控制节点模块结构图
Figure 2 The modular structure of data acquisition and controlling nodes

度大,而且线路和接口容易受到腐蚀而产生通信故障,成本高可靠性低。而使用 ZigBee 技术作为发送与接收模块,采用嵌入式处理平台,以此基础组建无线局域网可以规避有线通信的诸多缺陷^[7]。设计的蔗糖结晶过程数据传输系统如图 3 所示,包括 ZigBee 发送接收模块、嵌入式平台处理模块、存储器和液晶现实模块。

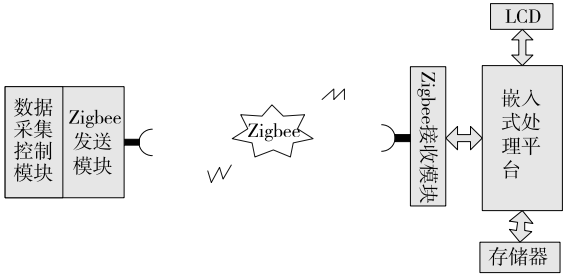


图 3 图像传输与控制示意图
Figure 3 Schematic diagram of the image transmission control

在嵌入式平台的控制下,从 ZigBee 接收模块接收到数据传感器发送过来的数据,以 DMA 方式送内存缓冲区中,通过应用程序开发的方式对数据进行处理,把处理出来的参数与控制阈值做对比后,通过 ZigBee 发送控制命令到执行对象控制伺服电机的转动,通信的形式采用传统的点对点、点对多的接收模式,基于 ZigBee 协议族传输速率最大可以达到 250 bps,完全满足数据的传输要求。在整个系统中,嵌入式系统负责数据接收与处理,是整个系统的中枢,ZigBee 负责数据的采集和控制命令的发送,在这个过程中起到桥梁的作用。

3 自动煮糖控制节点软件设计

3.1 数据采集与控制节点软件实现

数据采集节点软件设计主要完成工作包括过饱和度传感器、锤度传感器、温度传感器、pH 值传感器和流量传感器等控制参数的实时在线采集、监控与存储,随后把采集到的参数通过 ZigBee 无线传感器网络发送出去,其数据采用节

点流程见图 4。

控制节点软件设计主要是通过 ZigBee 模块完成对采样节点的数据接收,并且通过嵌入式系统对数据进行处理,并通过 ZigBee 模块将处理结果发送至控制模块,控制煮糖罐进料阀门的正反转进而调节进料量,控制终端节点流程见图 5。

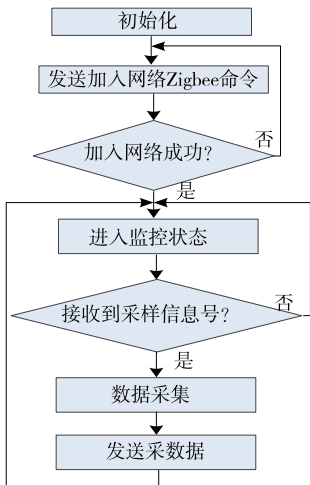


图 4 数据采样节点流程图

Figure 4 Flow diagram of data the sampling nodes

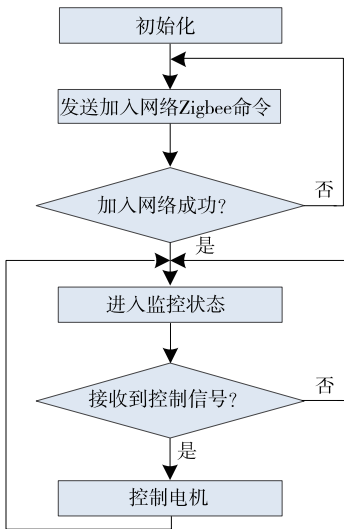


图 5 控制终端节点流程图

Figure 5 Flow diagram of controlling terminal nodes

3.2 数据传输处理模块软件的实现

数据传输处理系统软件设计以流接口驱动方式实现设备驱动层与实时操作系统之间数据流交互,应用层通过内存读取方式获取驱动层传输到实时操作系统的数据。根据嵌入式操作系统特性设计数据传输与处理系统架构见图 6。

数据传输与处理模块软件以嵌入式操作系统为核心进行处理与控制,无线传输传感模块以流接口驱动方式加入到系统中,接口操作函数以动态链接库 ZigBee.dll 封装,在系统启动之初由设备管理器以轮询 Zig 前缀方式识别调用驱动接口函数,通过这些接口函数实现包括设备初始化、IO 接口控制、存储打开关闭、命令读写和电源管理等功能。嵌入式

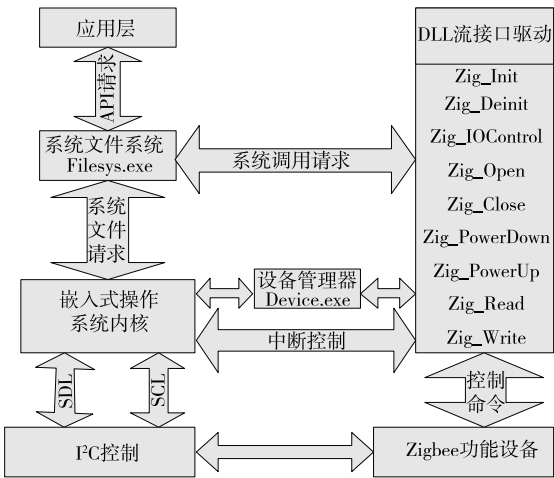


图 6 数据传输与处理系统架构图

Figure 6 System architecture diagram of the data transmission and processing

系统通过 ZigBee 模块不断检测捕获传输在空中的信息,如果检测到 ZigBee 模块传输过来的数据帧,命令设备管理器 Device.exe 调用流接口驱动函数,监测数据帧头判定是否为要接收的数据,是则打开 I²C 控制总线,流接口驱动函数把从 ZigBee 接收模块获取的数据帧通过内存映射的方式存储在操作系统内存空间中,直至关闭设备。而上层应用程序调用文件 API 命令获取该数据,并且通过数据处理后发出命令转化为 ZigBee 功能设备的控制,无线 ZigBee 传感器数据采集与控制功能实现是通过 DLL 流接口函数来完成^[9]。

4 系统测试

在自动煮糖系统控制系统中要监控的节点比较多,对实时性和可靠性都提出了新的要求,在嵌入式系统中采用数据库 SQLite 对系统的批量数据进行存储、管理和维护,以满足煮糖工艺的要求^[10]。在自动煮糖数据采集系统中某一时刻的实时数据采集结果见图 7。

从采样结果来看可以实时监控过饱和度传感器的电压综合监测值、液位高度、真空度等数据,可以以数据导出的方式监测特定时间段内某个控制参数的变化情况,也可以根据



图 7 数据实时采样结果显示

Figure 7 The results show of real-time data sampling

现场变化曲线图表观察数据变化,为自动控制煮糖过程提供依据;这些数据都是进一步转存到嵌入式数据库 SQLite 中的,以便数据的统计和管理,为日后数据的统计分析提供可靠依据,如计算每罐糖的功能效率、单位出糖率、用水用料情况等。另外,系统还提供了数据浏览方式查看监测值的变化过程,为数据的智能处理与智能控制提供数据保障。该系统除了可以对传感器数据实时采集显示以外,还可以实现工业现场的手动和自动的控制,但是具体的阈值要通过多次的实际测试之后方可得到最佳值,系统控制界面见图 8。

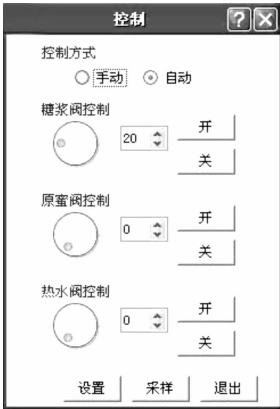


图 8 实时控制系统界面

Figure 8 System interface of real-time controlling

通过现场的多次测试,可以通过设置阈值的方式实现自动控制,也可以和原有的人工煮糖控制的方式对比后进行人为干预。通过测试表明蔗糖结晶过程节点控制系统操作简单,运行稳定可靠,基本可以满足自动煮糖的要求。

5 结论

在原有生产设备基础上,以微波技术为基础,采用嵌入式微处理器和 ZigBee 无线传感器,结合嵌入式操作系统设计一套可靠、节能智能化煮糖在线检测与控制系统。对该系

统的有效性测试,表明采用嵌入式处理器为主控平台,在提高处理速度的同时,可以使系统更趋小型化,节约能耗,降低成本,也更适合工业现场环境;采用 ZigBee 技术可以让蔗糖自动化生产设备能在环境恶劣、干扰严重的制炼车间可靠运行,为数据的传输提供可靠的保障;开发基于嵌入式 ZigBee 节点的自动煮糖控制系统,实现了蔗糖结晶过程的自动控制,降低了成本,增加了糖的产量,提高了糖的质量,可使企业在与国外同行的竞争中处于优势地位。

参考文献

[1] 沈参秋. 甘蔗制糖原理与技术: 第四分册 蔗汁结晶[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 32-87.

[2] MARTINS P M, ROCHA F. New developments on size-dependent growth applied to the crystallization of sucrose[J]. Surface Science, 2007, 601(23): 5 466-5 472.

[3] 叶权胜, 徐宁, 陈骏佳, 等. 双参数自动煮糖控制系统的研制[J]. 甘蔗糖业, 2013(3): 40-45.

[4] 蒙艳玫, 何海平, 卢福宁, 等. 煮糖过程糖液过饱和度在线软测量系统的研究[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2013, 38(2): 241-249.

[5] 陈佳权, 穆星宇, 廖子凤, 等. 微波辅助提取甘蔗糖分的工艺研究[J]. 食品与机械, 2008, 24(5): 57-59.

[6] 姜仲, 刘丹. ZigBee 技术与实训教程: 基于 CC2530 的无线传感网技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014: 87-143.

[7] 王敦锋, 朱名日, 庾志衡. 基于 ARM-Linux 和 ZigBee 的自动煮糖数据采集系统[J]. 仪表技术与传感器, 2011(1): 45-48.

[8] 朱名日, 朱莹, 杜云松. 蔗汁晶化过饱和度微波感应在线检测方法和检测器: 中国, 200710049234.5[P]. 2007-10-24.

[9] 潘泽锴, 朱名日, 张振升. 基于 ARM9 的蔗糖结晶图像采集系统设计[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(7): 15-20.

[10] 覃贵礼, 潘泽锴, 王敦锋. 嵌入式数据库 SQLite 在自动煮糖控制系统中的研究与应用[J]. 柳州师专学报, 2013, 28(1): 115-118.

(上接第 88 页)

表 1 自动炒货机试验参数表

Table 1 Test parameters of the automatic raoasting machine

板栗直 径/mm	炒制时 间/min	耗电量/ (kW · h)	火候	一致性	自动 分离	空气 污染
10~15	21	1.44	合适	均匀	无掺杂	很小
16~20	23	1.61	合适	均匀	无掺杂	很小
21~25	25	1.72	合适	均匀	无掺杂	很小

由表 1 可知,自动炒货机在自动控制、能源损耗、加工时间等指标与文献[7](耗电 2 kW · h, 加工时间 30~40 min)对比,有一定的优势。尤其在智能化方面采用广义预测控制方法,使得温度控制更加有保障,确保了干果炒制火候。

参考文献

[1] 刘义德. 滚筒式炒货机: 中国, 982426380[P]. 2000-02-02.

[2] 王德章. 电加热自动分离式滚筒炒货机: 中国, 2011200894222 [P]. 2011-09-14.

[3] 陈韦纲, 陈香君, 陈香伊, 等. 全自动多功能炒货机: 中国 2012204616358[P]. 2013-06-12.

[4] CANNON M, KOUVARITAKIS B, NG D. Probabilistic tubes in linear stochastic model predictive control[J]. Systems & ControlLetters, 2009, 58(10): 747-753.

[5] PRIMBS J A, SUNG C H. Stochastic receding horizon control of constrained linear systems with state and control multiplicative noise[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2009, 54 (2): 221-230.

[6] 邓丽, 黄炎, 费敏锐, 等. 改进的广义预测控制及其在温度系统中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(5): 1 057-1 064.

[7] 自动炒货机[EB/OL]. [2016-06-08]. http://baike.baidu.com/link?url=gRsU-wrzzgymUyoKu89kCpm_TeKYI4ujEEWnbujohxxsrN-3gAWBqpW-oIwC3Nbm5yN6OXcbgoI6SHS_K7XbD_.