

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.03.012

基于神经元的PID无菌包装预热控制技术

王 斌, 石秀东, 李 进, 王 彬

(江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要:针对PID控制在无菌砖包设备预热控制系统中控制效果不理想的现状,课题组提出一种将神经网络应用于PID控制器的新策略。该PID控制器基于神经元控制预热温度,让PID控制参数在有监督的 δ 学习规则下进行自调整,从而实现在预热温度变化时能自行调整。最后运用Simulink对无菌砖包设备预热温控系统进行仿真,结果表明神经元PID控制器在预热温控系统中具有良好的控制性能,研究改善了PID控制在解决变参数和非线性问题的短缺方面,达到预热温度变化时自调整的目标。

关 键 词:无菌包装;预热控制;PID控制器;神经元算法;Simulink软件

中图分类号:TP13

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2018)03-0062-05

Preheating Control Technology for PID Aseptic Packaging Based on Neuron

WANG Bin, SHI Xiudong, LI Jin, WANG Bin

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: The control effect of PID control is not ideal in the preheating control system of aseptic brick packaging equipment, this paper presents a new strategy which is based on the combinations of BP neural network and PID controller. The preheating temperature was based on neuron, allowing PID control parameters to be self adjusted under supervised learning rules, so as to realize self adjustment when the preheating temperature changed. Using Simulink of asepsis brick package equipment for simulation of preheating temperature control system, results show that the neuron PID controller in the preheating temperature control system has a good performance. The study improves PID control in the solution variable parameters and nonlinear problems of shortages, reaching self adjusted goals when preheating temperature changes.

Keywords: aseptic packaging; preheating control; PID controller; neuron algorithm; Simulink

在无菌包装设备中,温度控制是针对无菌纸盒封口前的预热温度。温控技术是无菌砖包设备的核心技术,热封前的预热温度是影响生产工艺的重要参数,决定了产品的封口质量。目前市场上无菌包装设备的包装材料大多是塑-塑,纸-塑及塑-铝。这些包装材料质地较硬,直接封口,效果不理想,故需精确控制温度,先将材料加热软化,再进行封口^[1]。课题组研究的无菌包装设备预热控制系统源于食品砖包灌装生产线项目的研发。食品砖包生产线集上料、灌装、封口及排包等

连续性动作对砖包食品进行包装生产,底部热封和顶部热封前都需对包材进行预热。

目前在食品包装过程控制中应用最广泛,采用时间最长的控制方法是PID控制^[2]。但在无菌包装生产现场,受生产条件和环境的限制,且预热温度是随时间变化的,PID控制控制效果很难达到最优。针对PID控制参数不能自调整的缺点,课题组利用神经网络具有在一定条件下逼近非线性的能力,提出了一种基于神经元的预热温度控制系统PID控制器,以包装

收稿日期:2017-08-31;修回日期:2017-10-20

基金项目:国家科技支撑计划项目(2015BAF12B00)。

第一作者简介:王斌(1993),男,江苏泰州人,硕士研究生,主要研究方向为无菌包装设备。通信作者:石秀东(1965),男,安徽全椒人,博士,副教授,主要研究方向为食品加工装备、机械装备动态设计技术。E-mail:shixd5718@163.com

预热温度为控制对象,让 PID 控制参数在有监督的 δ 学习规则下进行自调整,并运用 Simulink 对无菌砖包设备预热温控系统进行数值仿真分析。

1 无菌砖包设备预热系统的总体控制方案

1.1 预热系统的硬件结构

无菌砖包设备预热机构如图 1 所示,分为底部预热和顶部预热两部分。预热系统由触摸屏、PLC、温度模块、热电偶、固态继电器、三相加热管及进气阀组成。系统以 PLC 为控制核心,通过温度模块将热电偶采集的温度信号进行 A/D 转换后送入 PLC 输入端。PLC 将采集到的温度与设定温度进行对比,并给蜂鸣器或固态继电器发出指令。其中:蜂鸣器的警报是运行错误警告;固态继电器控制三相加热管,继电器导通时,加热管运行,进气阀打开将热风吹向包材,继电器断开时,加热管停止运行。

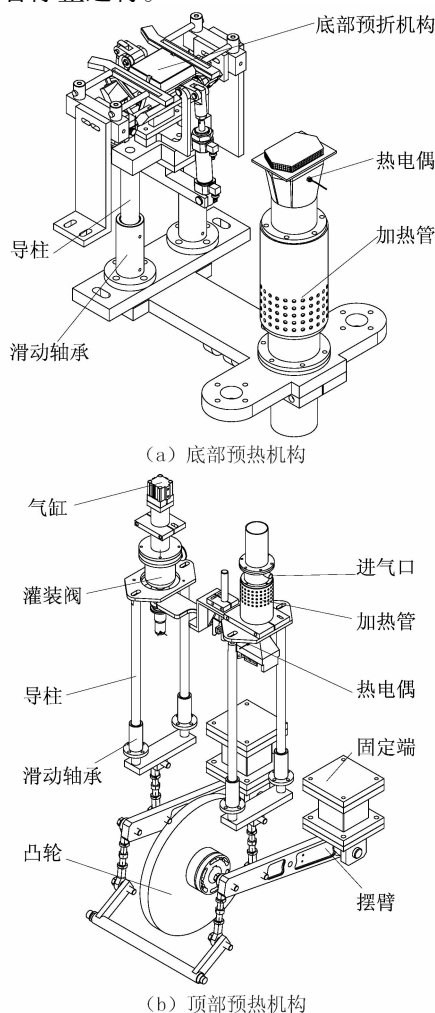


图 1 无菌砖包设备底部和顶部预热机构

Figure 1 Bottom and top preheating mechanism of aseptic brick packing equipment

1.2 硬件系统的控制原理

图 2 所示为无菌砖包设备预热温控系统的流程图。如图所示,当无菌砖包设备开机后,系统运行初始化程序,对无菌砖包设备热封预热处的温度进行实时测量,并将测量的数据显示于触摸屏;检测是否有按键输入操作更改设定温度,若无按键操作,则按照默认的温度设定值,若有按键操作,存储新输入的温度值;将测量的温度值与温度设定值进行比较。若温度设定值在设定温度 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围之内,返回继续采集温度;若测量温度低于设定温度 5°C 以上,则对继电器发出信号,加热管加热;若测量温度高于设定温度 5°C 以上, 15°C 以下,则停止加热,继续采集温度信息;若测量温度高于设定的安全值,蜂鸣器报警,砖包设备停止运行。

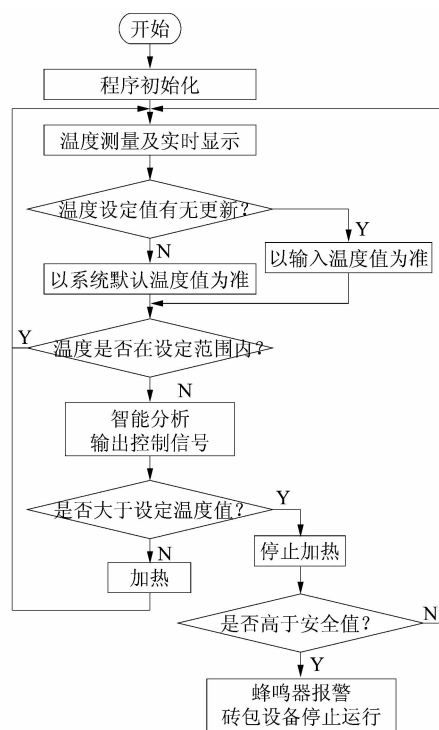


图 2 预热温控系统流程图

Figure 2 Flowchart of preheating temperature control system

2 基于神经元的 PID 预热温度控制系统

2.1 神经元的 PID 控制算法理论

基于神经元的 PID 控制是在 PID 控制的基础上加入了神经网络的学习功能,不仅克服了 PID 控制器参数不能自调整的缺点,并且具有 PID 控制结构简单,可靠性好,适应性强的优点。因此,基于神经元的 PID 控制成为过程控制领域里较为理想的控制策略之一^[3]。PID 控制和神经元结合的方式有 2 种:一种是单神经元结构的 PID 控制器;另一种是利用神经元的学习功

能来确定 PID 控制器参数^[4]。由于利用神经元的学习功能来确定 PID 的控制器参数需要在 PID 控制器上增加 1 个(或多个)神经网络,控制结构较复杂,收敛慢,实现难度和成本较大,而单神经元结构的 PID 控制器结构简单,易于实现,且单神经元结构的 PID 控制器可以按照某种算法来改变 PID 控制参数对应的连接权值,具有自调整能力,故文中无菌砖包设备预热温度控制系统采用的是单神经元结构的 PID 控制器^[5]。

2.2 被控对象

无菌砖包设备预热温度是一个十分复杂的被控对象,为便于控制策略的研究,考虑到预热系统的大迟滞,将预热温控系统简化为具有纯滞后性的一阶惯性系统^[6],其传递函数为

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\tau s} \quad (1)$$

式中: K 为预热温度的静态增益; T 为预热温度的时间参数; τ 为预热温度的滞后时间参数。

根据预热温度控制系统模型,通过过程控制采集阶跃响应下的实验数据,利用一阶传递函数模型求解,得出预热温度控制系统的传递函数

$$G(s) = \frac{0.5}{50s + 1} e^{-5s} \quad (2)$$

2.3 预热温控系统的单神经元数学模型^[7-11]

图 3 所示为预热温控系统的单神经元控制器的结构模型。系统的输出有

$$u = K \sum_{i=1}^r \omega_i(t) P_i(t) - I。$$

式中: u 为预热温控系统的外部输出; $P_i(t)$ 是当时时间为 t 时,预热温控系统的外部输入信号,即热电偶感测到的温度与设定温度差; $\omega_i(t)$ 是当时时间为 t 时,预热温控系统输入信号 $P_i(t)$ 的权值系数; I 为预热温控系统的阈值函数。

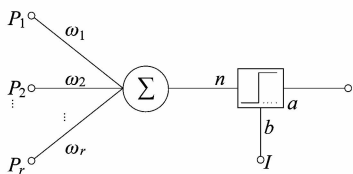


图 3 预热温控系统的单神经元控制器模型

Figure 3 Single neuron controller for preheating temperature control system

2.4 单神经元结构预热温控系统的 PID 控制器^[12-16]

单神经元 PID 控制器的结构框图如图 4 所示。

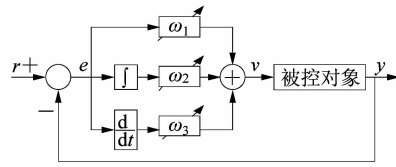


图 4 砖包设备单神经元 PID 温度控制系统结构

Figure 4 Structure of single neuron PID temperature control system for brick packing equipment

取 $r=3$, 阈值

$$I = \sin x = \begin{cases} +1, & x \geq 0, \\ -1, & x < 0. \end{cases}$$

$t, t-1, t-2$ 时刻,热电偶实时测得的温度与设定温度的温度差则是单神经元预热温控系统的外部状态输入,分别

$$P_1(t) = R(t) - y = e(t); \quad (3)$$

$$P_2(t) = e(t) - e(t-1); \quad (4)$$

$$P_3(t) = e(t) - 2e(t-1) + e(t-2)。 \quad (5)$$

单神经元 PID 的状态输出为

$$\Delta u(t) = u(t) - u(t-1) + K \sum_{i=1}^r P_i(t) \omega_i(t) - I。 \quad (6)$$

根据公式(3)~(5)可知公式(7)~(9)具有按偏差的比例、积分和微分输入项,故 $\omega_i(t)$ 是 PID 的比例、积分与微分控制参数的系数:

$$\omega_p(t) = \omega_1(t) - \omega_1(t-1) + \eta_p K' Z(t) P_1(t-1) \sin \frac{\partial P(t)}{\partial u(t-1)}; \quad (7)$$

$$\omega_1(t) = \omega_2(t) - \omega_2(t-1) + \eta_1 K' Z(t) P_2(t-1) \sin \frac{\partial P(t)}{\partial u(t-1)}; \quad (8)$$

$$\omega_d(t) = \omega_3(t) - \omega_3(t-1) + \eta_d K' Z(t) P_3(t-1) \sin \frac{\partial P(t)}{\partial u(t-1)}。 \quad (9)$$

式中: K' 是单神经元预热温控系统的比例系数,决定了系统的反应速度, K' 取值过大会使温控系统不稳定,导致超调量增大, K' 取值过小会导致温控系统的反应变慢; $Z(t)$ 为温控系统的性能指标或递推信号,且有 $Z(t) = e(t)$; η_p 是温控系统比例学习速率; η_1 是温控系统积分学习速率; η_d 是温控系统微分学习速率。

2.5 单神经元预热温控系统的参数整定^[17-18]

预热温控系统学习速率的整定:可以先选取较小的值,若温控系统从超调状态进入稳定状态的调整时间较长,应适当增大比例和微分学习速率 η_p, η_d ;反之应适当减小 η_p 与 η_d 。若温控系统响应快,温度上升

时间短,超调量偏大,则应该适当减小 η_p ;反之应适当增大 η_p 。对于温控系统权值系数 $\omega_i(t)$ 的整定,采用有监督的 Hebb 学习规则来实现,该学习规则的算法流程如下:

- 1) 选定权值系数;
- 2) 根据公式(3)~(5)求得 $P_i(t)$;
- 3) 根据公式(6)求得预热温控系统的状态输出

$$\Delta u(t) = K \sum_{i=1}^3 P_i(t) \omega_i(0)。$$

- 4) 计算得到 y ;

- 5) 调整 $\omega_i(t)$,若预热温控系统的输出温度与系统设定值相符,则 $\omega_i(t)$ 保持不变;否则继续返回步骤 2),直至输出温度到达系统设定值。

有监督的 Hebb 学习算法如下:

$$u(t) = u(t-1) + K \sum_{i=1}^3 \bar{\omega}_i(t) P_i(t);$$

$$\bar{\omega}_i(t) = \frac{\omega_i(t)}{\sum_{i=1}^3 |\omega_i(t)|};$$

$$\omega_i(t) = \omega_i(t-1) + \eta_i e(t) P_i(t)。$$

3 系统仿真与结果分析

3.1 无菌包装预热温控系统仿真框图

为验证单神经元结构的 PID 控制器在预热温控系统的控制效果,课题组以预热温度控制系统的一阶惯性模型公式(2)为控制对象进行数值仿真分析。单神经元 PID 预热温控系统的仿真模型如图 5 所示,图中被控对象是预热温度控制系统模型,而神经元控制器模块是用来计算神经网络权值系数独立封装的子系统,其输入是温控系统的偏差和状态输出 $e(k)$, $u(k)$, 输出是温控系统的 3 个权值 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 。

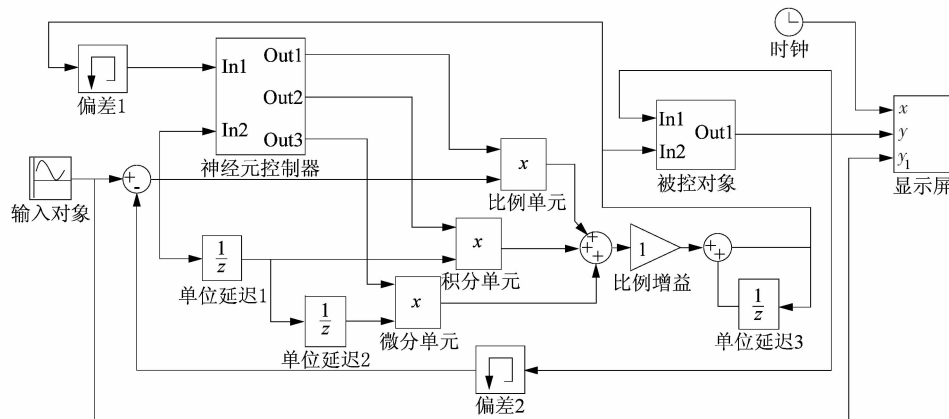


图 5 预热温控系统的仿真模型

Figure 5 Simulation model of preheating temperature control system

3.2 无菌包装预热温度控制系统仿真结果分析

为更好的展现单神经元结构的 PID 控制器在预热温控系统的控制效果,文中辅以 PID 算法的控制作为比较。2 种算法的仿真输出曲线如图 6 所示,其控制性能指标如表 1 所示。

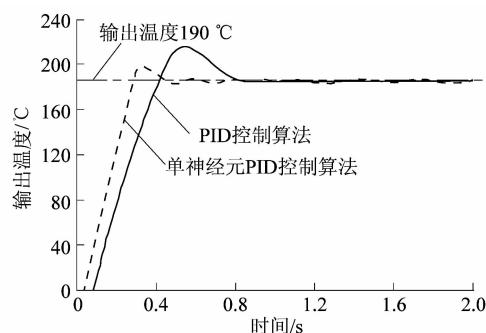


图 6 单神经 PID 算法和 PID 算法的输出响应曲线

Figure 6 Output response curves of single neuron PID algorithm and PID algorithm

表 1 单神经 PID 算法和 PID 算法输出响应曲线指标对比

Table 1 Comparison of single neuron PID and PID response curve index

性能指标	响应速度 $T_p / (^\circ / s^{-1})$	达到给定值所需时间 T_s / s	超调量 $\sigma / \%$	振荡次数 N	稳态误差 e_{ss}
PID 控制	0.096	1.540	15	2	>0
单神经元 PID 控制	0.060	0.556	8	1	0

表 1 中: T_p 代表温控系统的响应速度; T_s 是指预热温控系统的温度到达设定值所需的反应时间;超调量 σ 是指预热温度调整过程里温度到达的最大值和稳态值之间的偏差;稳态误差 e_{ss} 是指当时间趋向于无穷大时,温控系统的期望值与实际达到的温度之差,是反映温控系统准确性的指标参数。

根据图 6 和表 1 的仿真结果分析可知在预热温控系统的控制里,基于神经元的 PID 控制器比 PID 控制器的响应速度更快,调节时间更短,预热温度响应曲线波动更小,超调量更小,系统更稳定。并且在过渡时间方面,基于神经元的 PID 控制器过渡时间短,减弱了预热温度滞后性对控制系统带来的影响。

4 结语

无菌砖包设备预热温度

是一个大时滞,时变且非平稳的被控对象,而PID控制的效果不理想,难以满足其控制要求。课题组提出一种基于神经元的PID控制器,弥补了PID控制在解决变参数与非线性问题的短缺,利用神经元网络的学习能力,使PID控制参数具有了自调整的能力。从2种算法的数值仿真输出的温度响应曲线可以看出,神经网络应用于无菌砖包设备预热控制系统中能达到较好的控制效果,为包装机预热温度的控制提供了新思路。

参考文献:

- [1] LI T L, MA T J. Application of intelligent PID algorithm in temperature control system of internal mixer [J]. China rubber industry, 2006, 53(1): 46-49.
- [2] 李家荣. 高精度温度控制系统的设计及应用研究[J]. 量子电子学报, 2016, 33(5): 614-617.
- [3] 陈勇, 许亮, 于海阔. 基于单片机的温度控制系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(2): 77-79.
- [4] 冉育强, 李军, 杨军. 基于PLC的环境模拟系统温度控制算法的研究与实现[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(10): 3377-3380.
- [5] ZHANG Huiping, LIU Zilong, SONG Xuejiong, et al. The design of the temperature examination in the mutiple route temperature control system [J]. Journal of Shandong agricultural university, 2003, 34(2): 66-70.

(上接第56页)

- [6] 吴家彪, 马钧华. 伺服系统永磁同步电机参数辨识策略[J]. 轻工机械, 2013, 31(6): 45-50.
- [7] Texas Instruments Incorporated. Insta SPIN-FOC and instaSPIN-MOTION user's guide [EB/OL]. [2017-12-28]. <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ug/spruhj1g/spruhj1g.pdf>.
- [8] Texas Instruments Incorporated. LAUNCHXL-F28069M overview [EB/OL]. [2016-12-28]. <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ug/sprui11/sprui11.pdf>.
- [9] 张旭, 宋文祥, 尹赞. 一种三电平逆变器输出电压重构方法[J]. 电气传动, 2011, 41(10): 29-32.

(上接第61页)

测量与显示、装置实时位置信息的获取、装置水平倾角的获取、信息的远程传输、PC端软件实时接收与显示信息等功能。系统功能较完备,通过硬件与软件的结合实现了全自动化分币;系统的建立为解决当前分币机分币复杂、结构不合理等缺陷提供了新的解决方案,有利于促进了分币机市场更深层次的发展。

参考文献:

- [1] 吴爱明, 张博闻. 一种多枚混合硬币处理装置设计及应用实验研究[J]. 机电工程技术, 2012, 41(9): 30.
- [2] 李恋, 葛霖. 一种基于分离盘的新型硬币清分机的优化设计[J]. 现代商贸工业, 2016, 37(12): 189.
- [3] 沈建成, 常文春, 焦爱胜, 等. 一种全自动硬币分离计数装置的设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2016(2): 127.

- [6] WANG Jiali, LI Yanna. Simulation study of cooling system temperature control based on subsection control [J]. Procedia engineering, 2015, 99: 752-757.
- [7] 杨天博, 张慧, 王鹤熹. 神经元PID加热炉温度控制[J]. 制造业自动化, 2014, 36(5): 80-81.
- [8] 孙志富, 潘三博, 袁素真. 单神经元PID算法在过热蒸汽温度控制中的应用研究[J]. 制造业自动化, 2011, 33(19): 89-90.
- [9] 唐静, 申毅, 赵丽芬. 基于单片机的温控系统设计[J]. 无线互联科技, 2017(2): 56-57.
- [10] 张海岭, 李和言. 静液传动履带车辆转向神经元自适应PID控制[J]. 北京理工大学学报, 2013, 33(1): 52-56.
- [11] 殷斌. 基于单片机的温度控制系统的设计[J]. 机电工程, 2015, 32(6): 887-890.
- [12] 杨智, 殷鹏斌. 一种基于模糊控制的温度控制器设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2015(3): 90-93.
- [13] 王波, 闫连山, 周威, 等. 分布式光栅传感网络的高精度温度控制系统设计[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(11): 118-120.
- [14] 吴兆胜, 罗细芽. 猪舍夏季环境温度控制应用现状及发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2012, (6): 191-195.
- [15] 赵君. 基于8051单片机的温度控制系统[D]. 长春: 吉林大学, 2012: 44-51.
- [16] 杨晶, 王铁滨, 孙珊珊, 等. 模糊控制在温室大棚温度控制系统中的应用[J]. 软件工程师, 2013(7): 30-32.
- [17] 吕俊亚. 一种基于单片机的温度控制系统设计与实现[J]. 计算机仿真, 2012, 29(7): 230-233.
- [18] 张如鹏. 智能技术在过热汽温控制中的应用研究[D]. 河北: 华北电力大学, 2012: 19-26.
- [10] 孙向东, 尚媛, 钟彦儒, 等. 三相电压源逆变器输出电压重构技术的研究[J]. 西安理工大学学报, 2005, 21(2): 122-124.
- [11] 刘超. 永磁同步电机低速检测与控制[D]. 济南: 山东大学, 2012: 5-6.
- [12] DRISS Y A, YOUSFI D. PMSM sensorless control using back-EMF based position and speed estimation method [EB/OL]. (2013-06-13) [2017-12-28]. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6529696/>.
- [13] 陈为奇. 永磁同步电机低速控制策略研究[D]. 北京: 北方工业大学, 2012: 2-3.
- [4] 宋艳丽. 简单硬币分离装置的设计[J]. 现代制造技术与装备, 2016(7): 65.
- [5] 张德贤, 杨铁军, 傅洪亮, 等. 基于压力传感器的粮仓储粮数量在线检测方法[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(4): 100.
- [6] 怀洋, 邵琼玲, 路振民. 北斗/GPS混合定位模块UM220应用研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(3): 78.
- [7] 卓丛彬, 杨龙频, 周林, 等. 基于MPU6050加速度传感器的跌倒检测与报警系统设计[J]. 电子器件, 2015, 38(4): 823.
- [8] 周婷婷, 尚浩. 基于2.4G的智能家居控制系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012(10): 67.
- [9] 索菲. 基于UM220的北斗数据接收处理及简单应用[J]. 科技创新与应用, 2017(24): 2.
- [10] 景宇宁. 完美世界——Visual Studio 2010新理念透析[J]. 图书情报导刊, 2010, 20(19): 104.