

基于温湿度模型的温室温湿度智能调节系统的设计

关静^{1,2}, 胡圣尧^{1,2}

(1. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 江苏镇江 212013; 2. 常州工学院电气与光电工程学院, 江苏常州 213002)

摘要 温室的温湿度精确调节对作物的生长影响巨大。该研究分析设计了 Venlo 型温室的温湿度模型, 根据影响温室内温湿度变化的一些因素, 确定了调节温湿度的控制对象。设计了模糊 PID 控制算法和硬件平台, 并在江苏大学的 Venlo 型温室内进行试验, 证明可行。

关键词 温室; 温湿度模型; 模糊 PID 控制算法

中图分类号 S126 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)23-333-03

Designing of Temperature and Humidity Intelligent Control System Based on Temperature and Humidity Model in the Greenhouse
GUAN Jing^{1,2}, HU Sheng-yao^{1,2} (1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013; 2. School of Electric & Photoelectric Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou, Jiangsu 213002)

Abstract The greenhouse temperature and humidity accurate adjustment has huge influence on the growth of crops. The temperature and humidity model was analyzed in the Venlo greenhouse. According to some factors which affect on the changes of temperature and humidity in greenhouse, temperature and humidity adjustment control object was determined. The fuzzy PID control algorithm and hardware platform was designed. The control test of greenhouse in Jiangsu University is passed.

Key words Greenhouse; Temperature and humidity model; The fuzzy PID control algorithm

近年来, 国内外的设施农业在快速发展。多数国家的设施农业以温室为主, 荷兰、日本、以色列等国家的设施农业非常先进。其设施设备的标准化程度, 设施综合环境调控及农业机械化水平, 均居世界领先水平。我国于 20 世纪 80 年代提出设施农业的概念, 温室在我国发展迅速, 栽培面积超过 380 万 hm^2 ^[1]。虽然我国栽培面积巨大, 但是我国的温室在环境调控水平方面与发达国家相比仍有较大的差距。关于温室的温湿度调节, 很多学者从温湿度模型和控制算法两方面展开了卓有成效的研究。

1 温室温湿度模型

国外针对温室温湿度的研究主要为 1971 年 Takakura T. 建立了一个比较完善的单层玻璃的温室模型, 但 Benli 认为其通用性比较差^[2]。CBAKOS 等研究了温室环境变化与温室通风之间的关系, 并建立了关系模型^[3]。Ozgener 等研究了温室湿度与温室内作物蒸发量的关系, 并建立了预测和优化模型^[4]。Tap RF 使用温室内温度、温室内土壤温度、温室内二氧化碳浓度、温室内湿度和加热管的温度建立了 5 个一阶微分方程全面描述了温室环境的变化规律^[5]。

在国内, 范云翔等建立了温室内温度、湿度和光照与温室内水汽量消耗之间的模型关系^[6]。张立彬等根据温室内的能量热平衡关系, 研究了温室小气候环境的动态模型^[7]。杨其长等研究了温室系统中的环境因子, 针对温湿度调节和节能性, 研究了温室内的热平衡关系式, 建立温室内热平衡模型^[8]。马万征等研究了 Venlo 型联栋玻璃温室温湿度动态模型, 并进行了黄瓜的栽培试验, 被验证模型参数与实测参数吻合度非常高^[9]。

该研究试验在江苏大学 Venlo 型玻璃温室内进行, 在 Tap RF 的温室模型^[5]和马万征等 Venlo 型温室的温湿模型^[9]的基础上, 从温室环境控制角度对上述 2 种模型进行了整合与修改, 修改后的温湿度模型如下:

(1) 温度模型。

$$V\rho C_p \frac{dT_{in}(t)}{dt} = h_c A_c [T_{out}(t) - T_{in}(t)] + \rho C_p [T_{out}(t) - T_{in}(t)] V_{in}(t) + kQ_{rad}(t) - \lambda E(t) \times A_c + Q_{heat}(t - t_d) \quad (1)$$

式中, T_{in} 为温室内的温度; T_{out} 为温室外的温度; V 为温室的体积; ρ 为空气密度 (1.2 kg/m^3); C_p 为温室内气体定容比热 ($1.005 \text{ J/kg} \cdot \text{°C}$); K 为太阳能辐射能被温室空气吸收的传热系数; h_c 为温室覆盖层与温室内气体的对流换热系数; A_c 为温室覆盖层的面积 (m^2); λE 为作物蒸发潜能速率 (m/s); V_{in} 为温室内自然通风率 (m^3/s); Q_{rad} 为投在温室覆盖层的太阳辐射 (W/m^2); Q_{heat} 为加热器的加热功率 (W)。

(2) 湿度模型。

$$\frac{dq_{in}(t)}{dt} = \frac{A_c \times \lambda E(t) \times 10^{-3}}{V \times 2.45 \times 10^6} + \frac{V_{in}(t)}{V} [q_{out}(t) - q_{in}(t)] \quad (2)$$

式中, q_{in} 为室内空气绝对湿度; q_{out} 为室外空气绝对湿度; V 为温室的体积; λE 为作物蒸发潜能速率 (m/s); V_{in} 为温室内自然通风率 (m^3/s); A_c 为温室覆盖层的面积 (m^2)。

2 控制算法

依据上述设计的 Venlo 型温室的温湿度模型进行温度、湿度调节时可以明确调节设备及各个调节设备的调节效果。通过采集温室内部温度、湿度作为反馈信号, 控制温室内的通风设备、遮阳设备、水帘设备、水暖设备、喷洒设备等温湿度调控设备, 实现温室环境的智能控制。

温室环境系统具有大时滞和多变量耦合的特征, 针对这个特征采用模糊 PID 控制算法。PID 控制算法原理表示为:

基金项目 江苏省教育厅自然科学基金面上项目 (13KJD510001); 江苏省研究生科研创新计划项目资助 (CXLLX13_67)。

作者简介 关静 (1978 -), 女, 辽宁沈阳人, 副教授, 在读博士, 从事智能设施农业研究。

收稿日期 2015-06-15

$$c(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

式中, $e(t)$ 为给定量与输出量的偏差; $c(t)$ 为控制器输出; K_p 为比例系数; T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数。

设计 PID 控制算法首先需要确定 K_p 、 T_i 、 T_d 的值, 即对 PID 控制器的参数整定。它是根据被控过程的特性确定 PID 控制器的比例系数、积分时间和微分时间的大小。

根据微型温室温湿度控制模型, 测量微型温室实际环境, PID 控制器参数整定的方法使用临界比例法。整定步骤如下: ①首先预选择一个足够短的采样周期让系统工作; ②仅加入比例控制环节, 直到系统对输入的阶跃响应出现临界振荡, 记下这时的比例放大系数和临界振荡周期; ③在一定的控制度下通过公式计算得到 PID 控制器的参数。

温度 PID 控制的比例系数 K_p 取值范围为 0.2 ~ 0.6, 积分时间常数 T_i 取值范围为 180 ~ 600 s, 微分时间常数 T_d 取值范围为 300 ~ 900 s。湿度 PID 控制的比例系数 K_p 取值范围为 0.1 ~ 0.25, 积分时间常数 T_i 取值为 240 ~ 900 s, 微分时间常数 T_d 取值范围为 300 ~ 1 200 s。

根据微型温室温湿度模型可知, 影响微型温室温湿度的因素非常多, 由于环境参数的多变性, 在不同的阶段, 模型表达式的系数是时变的, 不能精确表达微型温室温湿度控制系统。在这种情况下, 温度、湿度的 PID 控制参数不确定, 通过模糊控制控制与 PID 控制相结合的方式, 实现对微型温室温湿度的控制。

温度控制范围为 $[-2\text{ }^\circ\text{C}, 2\text{ }^\circ\text{C}]$, 湿度控制范围为 $[-10\%, 10\%]$, 论域为 $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$, 相应语言值为 $\{\text{负大, 负小, 零, 正小, 正大}\}$ 。设温度的比例系数为 K_{wp} , 积分时间为 T_{wi} , 微分时间为 T_{wd} ; 设湿度的比例系数 K_{sp} , 积分时间为 T_{si} , 微分时间为 T_{sd} 。各种参数设定值见表 1。

表 1 参数表达式

语言值	比例系数	积分系数	微分系数
负大 (NB)	NBK_{wp}	NBT_{wi}	NBT_{wd}
	NBK_{sp}	NBT_{si}	NBT_{sd}
负小 (NS)	NSK_{wp}	NST_{wi}	NST_{wd}
	NSK_{sp}	NST_{si}	NST_{sd}
零 (ZO)	ZOK_{wp}	ZOT_{wi}	ZOT_{wd}
	ZOK_{sp}	ZOT_{si}	ZOT_{sd}
正小 (PS)	PSK_{wp}	PST_{wi}	PST_{wd}
	PSK_{sp}	PST_{si}	PST_{sd}
正大 (PB)	PBK_{wp}	PBT_{wi}	PBT_{wd}
	PBK_{sp}	PBT_{si}	PBT_{sd}

对于温室的温度, 以温度偏差 e_w 和温度偏差变化率 ec_w 作为输入, 以 ΔK_{wp} 、 ΔT_{wi} 、 ΔT_{wd} 作为输出。对于温室的湿度, 以湿度偏差 e_s 和湿度偏差变化率 ec_s 作为输入, 以 K_{sp} 、 T_{si} 、 T_{sd} 作为输出, 得到表 2 和表 3。

3 硬件平台

硬件系统由 2 部分组成, 主控制器和无线温湿度采集器。主控制器由微处理器最小电路、CC1101 无线通信电路、

CAN/RS485 通信电路、继电器驱动电路、电源电路、人机交互电路、电源几个部分组成。主控制器的微处理器采用 STM32F103C6, 最高运行频率高达 72 MHz, 内置 128 Kb 的 Flash 存储空间, 20 KB 的 RAM, 3 路 16 位定时器, 支持多个 I²C、USART、SPI、CAN、USB2.0 通信接口。无线通信电路采用 CC1101 芯片, 工作频率为 915 MHz, 传送数据帧长度为 32 个字节, 室内实测的有效传输距离为 100 m。系统内设计了 16 路继电器驱动电路可同时控制 16 路无源触点信号, 操控通风、遮阳、水帘等设备。

表 2 温度模糊控制输出

语言值	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	ΔNBK_{sp}	ΔNBK_{sp}	ΔNSK_{sp}	ΔNSK_{sp}	ΔZOK_{sp}
	ΔPST_{si}	ΔNBT_{si}	ΔNBT_{si}	ΔNBT_{si}	ΔPBT_{si}
	ΔPST_{sd}	ΔNBT_{sd}	ΔNBT_{sd}	ΔZOT_{sd}	ΔPST_{sd}
NS	ΔNBK_{sp}	ΔNSK_{sp}	ΔNSK_{sp}	ΔZOK_{sp}	ΔPSK_{sp}
	ΔPST_{si}	ΔNST_{si}	ΔNST_{si}	ΔZOT_{si}	ΔPST_{si}
	ΔZOT_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔZOT_{sd}
ZO	ΔNSK_{sp}	ΔNSK_{sp}	ΔZOK_{sp}	ΔPSK_{sp}	ΔPSK_{sp}
	ΔZOT_{si}	ΔNST_{si}	ΔZOT_{si}	ΔPST_{si}	ΔPST_{si}
	ΔZOT_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔZOT_{sd}
PS	ΔNSK_{sp}	ΔZOK_{sp}	ΔPSK_{sp}	ΔPSK_{sp}	ΔPBK_{sp}
	ΔZOT_{si}	ΔZOT_{si}	ΔPST_{si}	ΔPST_{si}	ΔPBT_{si}
	ΔZOT_{sd}	ΔZOK_{sd}	ΔZOT_{sd}	ΔPST_{sd}	ΔZOT_{sd}
PB	ΔZOK_{sp}	ΔPSK_{sp}	ΔPSK_{sp}	ΔPBK_{sp}	ΔPBK_{sp}
	ΔPBT_{si}	ΔPST_{si}	ΔPST_{si}	ΔPBT_{si}	ΔPBT_{si}
	ΔPBT_{sd}	ΔPST_{sd}	ΔPST_{sd}	ΔPST_{sd}	ΔPBT_{sd}

表 3 湿度模糊控制输出

语言值	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	ΔPBK_{sp}	ΔPBK_{sp}	ΔPSK_{sp}	ΔPSK_{sp}	ΔZOK_{sp}
	ΔNBT_{si}	ΔNBT_{si}	ΔNST_{si}	ΔNST_{si}	ΔZOT_{si}
	ΔPST_{sd}	ΔNBT_{sd}	ΔNBT_{sd}	ΔZOT_{sd}	ΔPST_{sd}
NS	ΔPBK_{sp}	ΔPBK_{sp}	ΔPSK_{sp}	ΔZOK_{sp}	ΔNSK_{sp}
	ΔNBT_{si}	ΔNST_{si}	ΔNST_{si}	ΔZOT_{si}	ΔPST_{si}
	ΔZOT_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔZOT_{sd}
ZO	ΔPBK_{sp}	ΔPSK_{sp}	ΔZOK_{sp}	ΔNSK_{sp}	ΔNSK_{sp}
	ΔNST_{si}	ΔNST_{si}	ΔZOT_{si}	ΔPST_{si}	ΔPST_{si}
	ΔZOT_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔNST_{sd}	ΔZOT_{sd}
PS	ΔPBK_{sp}	ΔZOK_{sp}	ΔNSK_{sp}	ΔNSK_{sp}	ΔNBK_{sp}
	ΔNST_{si}	ΔZOT_{si}	ΔPST_{si}	ΔPST_{si}	ΔPBT_{si}
	ΔZOT_{sd}	ΔZOK_{sd}	ΔZOT_{sd}	ΔPST_{sd}	ΔZOT_{sd}
PB	ΔZOK_{sp}	ΔNSK_{sp}	ΔNSK_{sp}	ΔNBK_{sp}	ΔNBK_{sp}
	ΔZOT_{si}	ΔPST_{si}	ΔPST_{si}	ΔPBT_{si}	ΔPBT_{si}
	ΔPBT_{sd}	ΔPST_{sd}	ΔPST_{sd}	ΔPST_{sd}	ΔPBT_{sd}

无线温湿度采集器包含电源、微处理器最小电路、温湿度传感器电路、CC1101 无线通信电路。SHT15 温湿度传感器, 湿度为精度 2%, 湿度重复性为 0.1%, 温度精度为 0.3 $^\circ\text{C}$ 电路, 温度重复性为 0.1 $^\circ\text{C}$, 工作电压为 2.4 ~ 5.5 V, 2 线制数字接口。CC1101 无线通信电路与主控制器相同。

主控制器与无线温湿度采集器之间采用自组网的通讯方式进行通信。

4 测试数据及结论

该研究实验在江苏大学 Venlo 型温室内完成。温室内配置一个主控制器和 20 个无线温湿度采集器。测试时间为 2015 年 04 月 24 日,镇江最高气温 26 °C,最低气温 14 °C,栽培作物为生菜。生菜喜凉爽气候,忌高温干旱,耐霜怕冻。生菜的最佳生长温度为 15 ~ 20 °C,湿度为 80%。该温室内湿度一直保持在 80% 以上。

温室内的温湿度采集周期为 30 min,设定的温度曲线为前 10 h 为 15 °C,中间 7 h 为 18 °C,后 7 h 为 16 °C。温室内外温湿度曲线如图 1 所示。

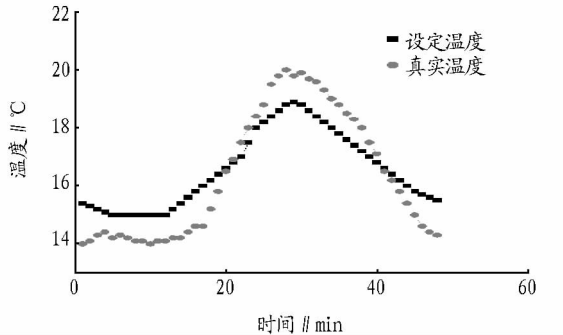


图 1 设定温度和实际温度曲线

由于早晨温度为 14 °C,偏低 1 °C,在设定的误差范围 2 °C 之内,不加热升温,到中午之后温度偏高,且外部温度也略偏高,采用窗口通风和水帘组合降温的方式。从图 1 可以看出,温度变化按照预期设置的曲线,误差在设定的范围内,同时也验证了模型是正确的。

参考文献

- [1] 刘健. 我国设施园艺工程存在的主要问题与对策[J]. 现代化农业, 2006(1): 38-40.
- [2] BENLI H. Energetic performance analysis of a ground-source heat pump system with latent heat storage for a greenhouse heating[J]. Energy Conversion and Management, 2010, 52(1): 581-589.
- [3] CBAKOS G, FIDANIDIS D, TSAGAS N F. Greenhouse heating using geothermal energy[J]. Geothermics, 1999, 28(6): 759-765.
- [4] OZGENER O, HEPBASLI A. Experimental performance analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system[J]. Energy and Buildings, 2005, 37(1): 101-110.
- [5] TAP R F, VAN STRATEN G, VAN WILLIGENBURG L G. A dynamic model for the optimal control of greenhouse tomato crop production[D]. Wageningen: Wageningen Agriculture University, 2000.
- [6] 范云翔, 孙廷琮, 杨子万. 智能型温室环境控制器的研究开发[J]. 农业工程学报, 1997, 13(5): 34-39.
- [7] 张立彬, 胥芳, 陈教科, 等. 玻璃温室小气候温湿度动态模型的建立与仿真[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 108-111.
- [8] 杨其长, 孟力力, BOT G A, 等. 日光温室热环境模拟模型的构建[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 164-170.
- [9] 马万征, 李忠芳, 章芳定. Venlo 型联栋玻璃温室温湿度动态模型研究[J]. 北方园艺, 2012(17): 49-51.

(上接第 330 页)

AHP 层次分析模型为小额贷款公司进行风险评估提供了有效、准确、客观、科学的评估方法,提高了信贷机构的工作效率,降低了业务成本。实际案例分析表明,该评分模型有一定的实际价值,评分结果与实际不良贷款率存在负相关性,评分越高,说明公司风险管理能力越强,越低则说明存在较大的风险。

4.2 政策建议 提高业务人员的整体素质,建立科学合理的激励约束机制。小额贷款公司要走向规范化,要发展得更好,提高员工的整体素质是当务之急。从某种角度上说,小额贷款公司对员工素质的要求比银行高。笔者调研的几家小额贷款公司,员工很多是由正规招聘而来,但在对员工的业务培训上还有欠缺。小额贷款公司要加强对员工的专业知识培训和技能培训,加强信贷观念,提高职业操守和职业素质,培养高度的敬业精神和忠诚意识。在社会上,要加大对小额贷款公司的宣传,提高人们对小额贷款公司的社会认

可度;积极培养大学生对新事物的认识和了解,招募更多金融经济类大学生作为公司的储备干部。为了防止“管放不管收”、一味追求放贷数量情况的出现,小额贷款公司应落实“谁放谁收”原则,采用“没有按时收款将受到惩罚,提前收款有奖励”的方式,把员工的工作信贷收入与贷款收益相挂钩。制定和完善考核员工的绩效办法,对员工的业绩实行目标化管理,将员工的业绩与工资、职务晋升相挂钩,激励员工,调动员工的积极性。

参考文献

- [1] 马莉. 小额贷款公司风险的法律控制[D]. 北京:中国政法大学, 2010.
- [2] 宋克玉. 我国小额贷款公司风险管理问题探析[J]. 北方经济, 2008(20): 68-70.
- [3] 周孺渊. 我国小额贷款公司的主要风险研究[D]. 成都:西南财经大学, 2009.
- [4] 蔡刚. 小额贷款公司贷款风险评估分析[J]. 财经界, 2013(26): 42-43.
- [5] 谢道健. 基于 AHP 模型的小额贷款公司信用风险管理研究[D]. 贵阳:贵州财经大学, 2014: 18-39.