

6-4-2020

Potato Storage Temperature Prediction Control Based on PSO and ESNs

Junxia Liu

1. Department of Electrical and Information, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830023, China;;2. School of Information Science and Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046 China;

Xinrong Xiong

1. Department of Electrical and Information, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830023, China;;

Hu Bing

1. Department of Electrical and Information, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830023, China;;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Potato Storage Temperature Prediction Control Based on PSO and ESNs

Abstract

Abstract: According to the current situation of potato storage and serious waste of raw materials and human resources of potato processing enterprises, combined with temperature data characteristics of potato storage from Xinjiang Great Russell Agricultural Science and Technology Development LTD., and control effect of the conventional control methods which is not ideal, *a new temperature predictive control method was proposed, which rolled to optimize the input control variable by using particle swarm optimization algorithm and get the actual output values, use ESNs to forecast the temperature in the storage, the system was corrected by deviation between forecasting output and actual output.* The simulation results show that the proposed temperature control method is effective, not only the control effect is better than that of the LS-SVM predictive control, but also has good adaptability and robustness to disturbance signals.

Keywords

PSO, ESNs, temperature predictive control, potato storage

Recommended Citation

Liu Junxia, Xiong Xinrong, Hu Bing. Potato Storage Temperature Prediction Control Based on PSO and ESNs[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(7): 1701-1705.

基于 PSO 和 ESNs 的马铃薯贮藏库温度预测控制

刘俊霞^{1,2}, 熊新荣¹, 胡兵¹

(1.新疆工程学院电气与信息工程系, 乌鲁木齐 830023; 2.新疆大学信息科学与工程学院, 乌鲁木齐 830046)

摘要: 针对马铃薯存储现状及其加工企业原材料和人力资源的严重浪费问题, 结合新疆大罗素农业科技开发有限公司马铃薯储藏库温度数据的非线性、时变等特点, 采用常规控制方法控制效果不理想。提出了新的温度预测控制方法, 它是用粒子群优化算法滚动优化输入控制量并得到实际输出值, 用 ESNs 对储藏库内温度进行预测, 利用预测输出和实际输出的偏差来对系统反馈校正。仿真结果表明: 提出的温度预测控制方法是有效的, 不仅在控制效果上优于 LS-SVM 预测控制, 还有良好自适应性以及对扰动信号有较好的鲁棒性。

关键词: 粒子群优化算法; 回声状态网络; 温度预测控制; 马铃薯储藏库

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 07-1701-05

Potato Storage Temperature Prediction Control Based on PSO and ESNs

Liu Junxia^{1,2}, Xiong Xinrong¹, Hu Bing¹

(1. Department of Electrical and Information, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830023, China;
2. School of Information Science and Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046 China)

Abstract: According to the current situation of potato storage and serious waste of raw materials and human resources of potato processing enterprises, combined with temperature data characteristics of potato storage from Xinjiang Great Russell Agricultural Science and Technology Development LTD., and control effect of the conventional control methods which is not ideal, a new temperature predictive control method was proposed, which rolled to optimize the input control variable by using particle swarm optimization algorithm and get the actual output values, use ESNs to forecast the temperature in the storage, the system was corrected by deviation between forecasting output and actual output. The simulation results show that the proposed temperature control method is effective, not only the control effect is better than that of the LS-SVM predictive control, but also has good adaptability and robustness to disturbance signals.

Keywords: PSO; ESNs; temperature predictive control; potato storage

引言

马铃薯俗称土豆, 已成为继小麦、水稻和玉米之后的第四大作物, 近年来, 我国政府把马铃薯作

为国家粮食安全和西部大开发的重要产业, 特别是在西部地区大面积推广种植。由于目前我国马铃薯贮藏技术和贮藏方式普遍落后, 在恒温冷藏库的应用方面也比较少, 虽然经过长时间的摸索, 总结出了堆藏、架藏、埋藏、窖藏以及贮藏库等贮藏方式, 但是这些落后的马铃薯储藏技术, 不仅浪费大量的人工劳动力, 还使得马铃薯因贮藏问题每年损失数量巨大^[1-2]。



收稿日期: 2015-06-02 修回日期: 2015-07-21;
基金项目: 新疆维吾尔自治区高校科研计划资助重点项目(XJEDU2012143), 新疆维吾尔自治区高校科研计划青年教师科研启动基金(XJEDU2014S074);
作者简介: 刘俊霞(1980-), 女, 新疆博州, 博士生, 讲师, 研究方向为预测控制与建模。

<http://www.china-simulation.com>

• 1701 •

马铃薯加工和保鲜技术落后是制约新疆马铃薯产业发展的主要因素,因此马铃薯加工企业急需解决因土豆贮藏技术落后导致原材料严重损耗的问题。

本文主要研究马铃薯贮藏库的温度控制方法,马铃薯贮藏库内的温度是由库内湿度、土豆摆放方式及摆放高度、库外温度、通风性能等多种因素共同制约,并相互影响。该温度系统是一个非线性、大滞后、强耦合、时变性且难建立精确的数学模型的复杂系统,采用常规的控制方法来处理贮藏库的温度控制过程,控制效果不理想。针对上述问题,采用粒子群(Particle Swarm Optimization, PSO)智能优化算法和回声状态网络(echo state networks, ESNs)建立贮藏库内的温度预测控制模型,获取最优温度控制方案,以提高温度控制精度和抗干扰能力。

从而,能更好地解决马铃薯加工企业原材料及人力资源严重浪费的问题,并为新疆区域经济发展和增加企业经济效益和社会效益奠定基础。

1 回声状态网络温度预测模型

1.1 回声状态网络结构

经典回声状态网络(ESNs)包含:输入层、隐含层和输出层,输入层和输出层之间的部分为隐含层,隐含层由大量稀疏连接的神经元构成,并具有记忆功能,隐含层又被称为动态储备池(DR)。已知网络输入,则回声状态网络的状态变量和输出表达式为式(1), (2):

$$X(k) = f^{DR}(W^{in}u(k) + WX(k-1) + W^{fd}y(k-1) + v_f(k)) \quad (1)$$

$$y(k) = f^{RD}(W^{out}X(k)) \quad (2)$$

f^{DR} 和 f^{RD} 分别是动态储备池和输出神经元的激活函数, v_f 是系统噪声。 $u(k)$, $X(k)$, $y(k)$ 分别是 k 时刻的输入变量、状态变量、输出变量; W^{in} , W , W^{fd} , 分别是随机产生的输入连接权值矩阵、储备池内部状态连接权值矩阵和输出反馈权

值矩阵, W^{out} 是输出连接权值矩阵,需要通过训练回声状态网络计算得到^[3-5]。

ESNs 的隐含层是包含大量稀疏连接的神经元,通常情况下储备池内部状态连接权值矩阵(W)稀疏度(XD)为 1%~5%, W 的谱半径 $\rho(W)$ (矩阵特征值绝对值的最大值)小于 1 时可保证系统的稳定性^[5-6]。由于 DR 具有独特的回声特性,在储备池内部能够很好的处理非线性问题,因此 ESNs 能极好的逼近非线性系统。

1.2 训练回声状态网络

回声状态网络的训练过程本质上是 W^{out} 的线性回归过程,且训练得到的输出权值是全局最优的,相比传统递归神经网络简化了训练过程。

根据马铃薯储藏室温度数据特点并参考文献[7-8]设定参数:储备池规模 $N=200$,稀疏度 $XD=3\%$, $\rho(W)=0.8$, W^{in} , W , W^{fd} 随机产生。 f^{DR} 取双曲正切函数, f^{RD} 取恒等函数,系统噪声 $v_f=0$,模型状态变量 $x(0)=0$ 。

训练数据取 504 个温度数据,经标准化后,根据(1)式,计算变量矩阵 $x(n)$ 构成状态变量矩阵 B ,每个 $x(n)$ 带入(3)式计算输出状态变量 $y(n)$,期望输出状态变量为 $\hat{y}(n)$ 。

$$y(n) = W^{out}x(n) \quad (3)$$

得到输出状态矩阵 Y ,期望输出状态矩阵为 \hat{Y} ,训练目标为公式(4):

$$\min \|\hat{Y} - Y\|^2 \quad (4)$$

采用违逆法求解输出权值 W^{out} ,表达式为

$$W^{out} = Y \times B^+ \quad (5)$$

其中, B^+ 是 B 的违逆矩阵。此时,回声状态网络训练完毕。

2 粒子群滚动优化

2.1 PSO 原理

建立有效的滚动优化策略,是实现非线性预测控制的关键问题之一。粒子群优化算法是典型的启发式优化算法,具有结构简单、可扩展能力强和全局优化

等特点, 在模型参数优化中得到了广泛的应用^[9-13]。本文选 PSO 进行滚动优化, 基本原理如下文所述。

设 $X_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ 为微粒 i 的当前位置, $V_i=(v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$ 为微粒 i 的当前飞行速度, $P_i=(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})$ 为微粒 i 所经历的最好位置, $P_g=(P_1, P_2, \dots, P_n)$ 为所有微粒所经历的最好位置。为了改善基本 PSO 算法的收敛性能, 本文采用在速度中引入惯性权重 w 的进化方程, 即

$$v_{ij}(t+1) = wv_{ij}(t) + c_1r_1[p_{ij}(t) - x_{ij}(t)] + c_2r_2[p_g(t) - x_{ij}(t)] \quad (6)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (7)$$

$$w = 1 - \text{iter} \cdot \frac{w_0}{\text{iter}_{\max}} \quad (8)$$

其中: w 为惯性权重, 调节粒子全局与局部搜索的平衡; c_1, c_2 为加速度; r_1, r_2 为 2 个相互独立的 $[0, 1]$ 范围内变化的随机数; t 表示第 t 代; x_i 为微粒 i 的当前位置, 粒子的飞行速度 $v_{ij} \in [-v_{\max}, v_{\max}]$, v_{\max} 是常数, 根据具体优化问题设置^[14]。

2.2 PSO 滚动优化

采用 PSO 智能优化算法进行滚动优化, 其性能优化指标 J 随时间推移滚动变化, 选取 J 作为粒子群优化算法的适应度函数, 当 J 达到最小值时的未来输入变量确定为最佳控制输入量。设非线性控制系统有 d 步延迟, 输入控制量为 $u(k)$, 温度输出量为 $y(k+d)$, 由温度数据 $S(t)$ 和当前输出温度作为 ESNs 的输入变量得到的预测温度输出量为 $y^\wedge(k+d)$, 未优化的控制量 $u(k+1)$ 、历史温度 $S(t)$ 和实际输出 $y(k+d)$ 作为 ESNs 的输入得到系统预测输出为 $y^\wedge(k+d+1)$, 系统参考轨迹为 $y_r(k+d+1)$, p 为预测时域, m 为控制时域, 则滚动优化目标函数表达式为式(9):

$$J = \sum_{i=1}^p [y_{ri}(k+d+1) - y_p(k+d+1)]^2 + \lambda \sum_{j=1}^m [u_j(k+1) - u_j(k)]^2 \quad (9)$$

其中 $y_p(k+d+1)$ 是控制系统反馈校正输出, 表达式为式(10)

$$\begin{cases} y_p(k+d+1) = y^\wedge(k+d+1) + re(k+d) \\ e(k+d) = y(k+d) - y^\wedge(k+d) \end{cases} \quad (10)$$

(10) 式的 r 为校正系数根据实际情况调整, (9) 式的 λ 是 $[0, 1]$ 范围的常数。

粒子群优化的未来输入变量 $u(k+1)=(u_1(k+1), u_2(k+1), \dots, u_m(k+1))$, 假设粒子种群 X_{POP} 规模为 n , $X_{\text{POP}}=\{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$, 其中第 i 个粒子的位置和速度定义为(11)(12):

$$x_i(t)=[u_{i1}(t), u_{i2}(t), \dots, u_{im}(t)] \quad (11)$$

$$V_i(t)=[v_{i1}(t), v_{i2}(t), \dots, v_{im}(t)] \quad (12)$$

粒子 i 所经历的最好位置为 $P_i=[P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{im}]$, 每次迭代粒子的位置、速度和惯性权重更新按式(6), (7), (8)。所有粒子找到的最好位置即滚动优化控制量 $P_g=[P_1, P_2, \dots, P_m]$ 。

3 PSO 和 ESNs 的马铃薯储藏室温度预测控制

PSO 滚动优化输入控制量, 结合 ESNs 对马铃薯储藏库内输出温度进行预测, 利用预测输出与储藏库内实际温度的偏差来反馈校正输入控制量, 温度预测控制系统框图如图 1 所示。

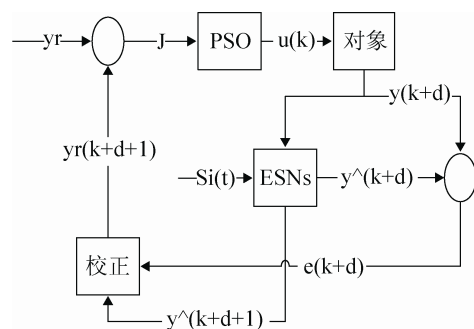


图 1 基于 PSO-ESNs 的温度预测控制系统框图

图 1 所示的控制过程具体步骤如下:

Step 1: 设置 PSO 和 ESNs 的参数和系统初始状态, 包括 PSO($c_1, c_2, r_1, r_2, v_{\max}, \text{iter}_{\max}, w_0$), ESNs($N, XD, \rho(W), W^{in}, W, W^{fd}$), γ, λ, p, m 的值。

Step 2: 现场采集到的温度数据, 经标准化后, 按 2.2 节的步骤训练 ESNs, 得到 W^{out} 。

Step 3: 利用历史温度数据和实际输出经 ESNs 预测得到预测温度输出值, 与系统该时刻实际输出相减计算偏差, 经反馈校正得到校正后的预测输出。

Step 4: 按 3.2 节的 PSO 滚动优化方法, 获得最优滚动优化序列。

Step 5: 将最优控制量 $u(k)$ 输入实际控制对象, 并重复 Step 3。

4 试验仿真结果及其分析

试验温度数据采集于新疆大罗素农业科技开发有限公司马铃薯储藏室 2 号和 3 号库, 数据采集时间间隔为 1 h, 采集时间是 2013-10-07~2013-10-27 日共计有 3 周 $24 \times 21 = 504$ 组数据, 作为 ESNs 的训练数据, 2013-10-28~2013-11-03 一周的数据共计 $24 \times 7 = 168$ 组数据作为测试数据。

用 ESNs 建立预测模型, 具体方法参见第 2 节。与文献[15]使用 BP 神经网络和最小二乘支持向量机(LS-SVM)建立预测模型进行对比, 对比结果如表 1。预测误差评价采用的是均方误差 MSE, 如式 (13), 其中 n 为测试样本数。

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (13)$$

表 1 预测性能比较

预测模型	本文	LS-SVM	BP
MSE	0.026	0.068	0.288
训练时间/s	0.15	0.55	7.43

由表 1 可见本文 ESNs 的预测误差和训练时间明显优于 BP 神经网络和 LS-SVM。

系统参数设置 $y(0)=4$, PSO 参数 $c_1=c_2=2$, $v_{max}=0.6$, $iter_{max}=10$, $w_0=0.3$ 。粒子群数 $n=10$, $p=5$, $m=3$, $r=1$, $\lambda=0.05$, 因马铃薯在储藏阶段的最佳贮藏温度为 5 摄氏度, 故设置系统参考轨迹 $y_i=5$, 系统控制效果对比如图 2 所示。

由图 2 可见本文 PSO-ESNs 和 LS-SVM 的预

测控制能够达到控制要求, 本文预测控制方法在超调量方面和调节时间上明显优于 LS-SVM 预测控制方法, 且 PSO-ESNs 预测控制方法能够很快地稳定在要求的控制点上。

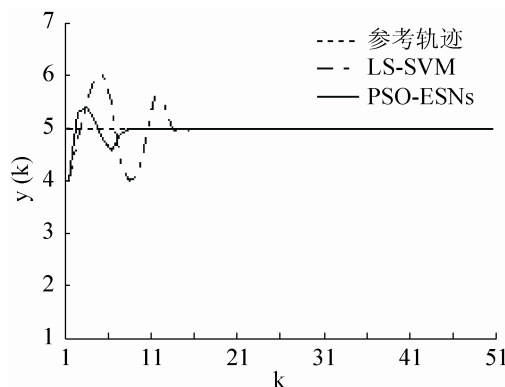


图 2 控制效果对比

为了考察 PSO-ESNs 预测控制的鲁棒性和自适应性, 在 $k=30$ 时加入幅值为 -0.5 的干扰信号, 参数设置保持不变, 对系统进行预测控制, 控制效果如图 3 所示, 加入干扰信号后能够较快的恢复到设定的参考轨迹上, 证明了该预测控制器对扰动信号的鲁棒性能良好。由于马铃薯存储阶段和加工前期适宜的温度分别是 5°C 和 10°C , 因此选取参考轨迹是幅值为 5 和 10 交替变化的矩形波, 以进一步考察变换参考轨迹的情况下, 系统的自适应性。图 4 是系统参数设置保持不变, 根据参考轨迹的变化, 分别输入存储阶段和加工前期的历史温度数据 $S_i(t)$, 得到的控制效果图。由图 4 可见 PSO-ESNs 预测控制器能够很好的跟踪新的参考轨迹, 具有较好的自适应性。

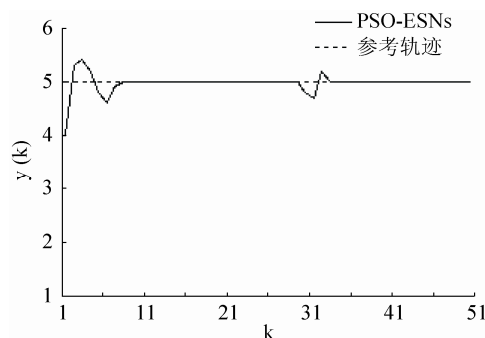


图 3 加入干扰信号的控制效果

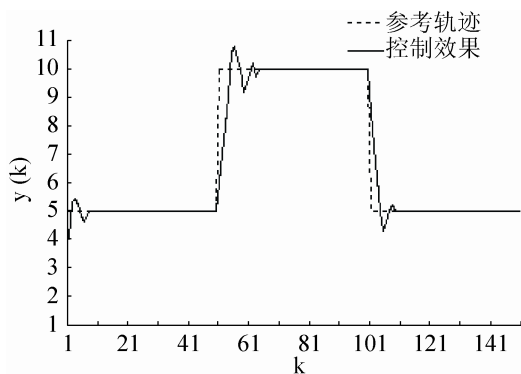


图 4 改变参考轨迹的控制效果

5 结论

本文根据新疆马铃薯加工企业储藏现状及储藏室现场采集的数据, 结合回声状态网络的性质, 建立了 PSO 滚动优化控制量的回声状态网络温度预测控制模型, 仿真结果表明该控制方案不仅具有较好的控制效果, 还有着良好鲁棒性和自适应性。从而不仅为解决马铃薯加工企业原材料及人力资源严重浪费的问题提供理论依据, 还为企业扩建规模和后续的研究工作提供技术支持。

下一步的工作是从理论角度证明 PSO-ESNs 预测控制的稳定性及选择不同的 ESNs 参数, 对控制效果的影响, 并研究多变量预控制技术。

参考文献:

- [1] 王金刚. 大型加工用马铃薯恒温保鲜库的设计与实 [J]. 粮食与食品工业, 2009, 16(2): 48-56.
- [2] 李继明, 李守强, 田世龙, 等. 甘肃马铃薯贮藏保鲜中存在的问题及建议 [J]. 甘肃农业科技, 2009 (11): 21-23.
- [3] Jaeger H, Haas H. Harnessing non-linearity: predicting chaotic systems and saving energy in wireless communication [J]. Science (S0036-8075), 2004, 304(5667): 78-80.
- [4] 韩敏, 王新迎. 一种有效的储备池在线稀疏学习算 [J]. 自动化学报, 2012, 37(2): 1536-1540.
- [5] 彭宇, 王建民, 彭喜元. 储备池计算概述 [J]. 电子学报, 2011, 39(10): 2397-2396.
- [6] Hongyan Cui, Xiang Liu, Lixiang Li. The architecture of dynamic reservoir in the echo state network [J]. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Scienc (S1054-1500), 2012, 22(3): 033127.
- [7] Decai Li, Min Han, Jun Wang. Chaotic Time Series Prediction Based on a Novel Robust Echo State Network [J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems (S2162-237X), 2012, 23(5): 787-799.
- [8] Ali Rodan, Peter Tiño. Minimum Complexity Echo State Network [J]. IEEE Transaction on Neural Networks (S1045-9227), 2011, 22(1): 131-144.
- [9] Ishaque K, Salam Z, Amjad M, et al. An improved particle swarm optimization (PSO) Based MPPT for PV with reduced steady-state oscillation [J]. IEEE Transactions on power Electronics (S0885-8993), 2012, 27(8): 3627-3638.
- [10] Zeng N, Wang Z, Li Y, et al. A hybrid EKF and switching PSO algorithm for joint state and parameter estimation of lateral flow immunoassay models [J]. IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics (S1545-5963), 2012, 9(2): 321-329.
- [11] 柴毅, 周海林, 付东莉, 等. 基于 ESN 和 PSO 的非线性模型预测控制 [J]. 控制工程, 2011, 18(6): 864-867.
- [12] 陈进东, 潘丰. 基于粒子群优化的在线支持向量回归预测控制方 [J]. 信息与控, 2013, 42(6): 723-734.
- [13] 唐贤伦, 李洋, 李鹏, 等. 多智能体粒子群优化的 SVR 模型预测控 [J]. 控制与决策, 2014, 29(4): 593-598.
- [14] Eberhart R, Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory [C]// Nagoya, Japan: Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro-Machine and Human Science, 1995: 39-43.
- [15] 穆朝絮, 张瑞明, 孙长银. 基于粒子群优化的非线性系统最小二乘支持向量机预测控制方法 [J]. 控制理论与应用, 2010, 27(2): 164-168.