

基于欧姆龙 PLC 的模糊神经网络控制灌溉系统

宋乐鹏

宋乐鹏先生，重庆科技学院讲师。

关键词：复合模糊控制 神经网络 变频器 PLC

在温室育苗生产中，粗放的灌溉方式与落后的灌水技术已不适应现代农业的要求，发展节水灌溉势在必行。灌溉自动化可大大减轻灌水的劳动强度，提高劳动生产率，减少灌溉水量损失，是灌溉管理现代化的标志，也是灌溉农业发展的方向。目前的一些灌溉系统大多还是人为决定灌溉时间与灌溉量的被动供水式灌溉，这对育苗并不一定合理，因此根据作物缺水信息实施精量控制灌溉是提高水的利用率和水的生产效率的重要途径之一。目前，灌溉控制硬件系统采用单片机、工控机等。单片机控制系统成本低，但是运行过程中干扰大；工控机和计算机作为下位机控制系统成本较高，而且其应有的功能未能得到充分体现。这些控制系统大多数未对作物缺水信息进行检测，造成灌溉不合理，降低了灌溉的效益。我们结合温室育苗特点，对灌溉系统的控制进行研究，提出以欧姆龙可编程控制器 PLC 作为控制核心，采用神经网络技术离线训练，寻找出修正模糊控制因子 α ，实现对温室内的幼苗灌溉进行控制，从而降低系统成本，提高节水灌溉的智能控制效果和生产效益。



本文作者宋乐鹏先生

一 节水灌溉系统的构成

本文所述的灌溉控制系统是以 PLC 作为控制核心，PC 机作为上位机对其进行定期的数据收集和存储以及进行一定程度的监控和数据设定。系统硬件结构框图如图 1 所示。

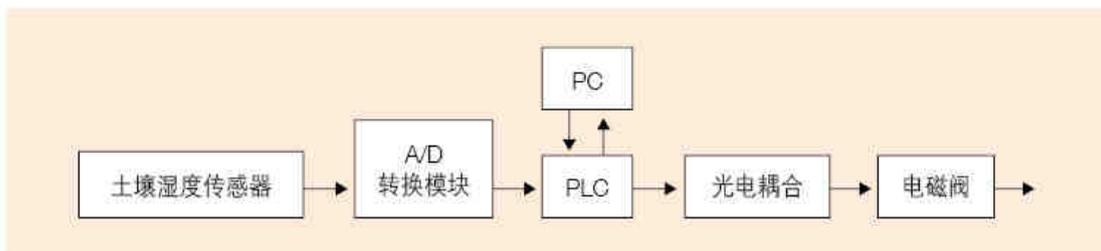


图1 控制系统硬件结构示意图

在图 1 中，采用 SC0058 型土壤湿度传感器用于测量土壤湿度，A/D 转换模块是 OMRON 公司生产的 MAD02，在灌溉控制中，需要对 17 个点进行控制，再加上温湿度控制，因此 PLC 选用 OMRON 公司的 CPM2A。电磁阀是整个控制电路的执行元件，该元件选用的是 24V 交流驱动方式，功率为 2W。PC 机作为控制系统的上位机，利用 VB 编程，实现与 PLC

之间的通信，完成数据交换，即通过 PC 机输入控制参数，实现对 PLC 所测试的数据进行定时上传，保存在 PC 机中，为以后的分析处理提供数据。

二 模糊控制原理

在灌溉控制系统中，把田间持水量作为灌溉临界点。根据人工灌溉定额的经验，以过度供水、充分供水、适度缺水、水分亏缺、严重水分亏缺作为供水的判断机制。过度的水分亏缺对植物生长有严重的抑制作用，而适度水分亏缺可增强植株和枝体渗透调节机能，限制体内养分和能量的过度消耗，增强生长潜势，并提高水分利用效率。在本控制系统中，输入变量是误差 e (即土壤中的水分含量 Sp 与田间持水量 Hf 之差) 和含水率变化率 Δe (即含水量差的变化趋势)，输出变量为供水时间 t 。模糊控制的基本原理如图 2 所示。

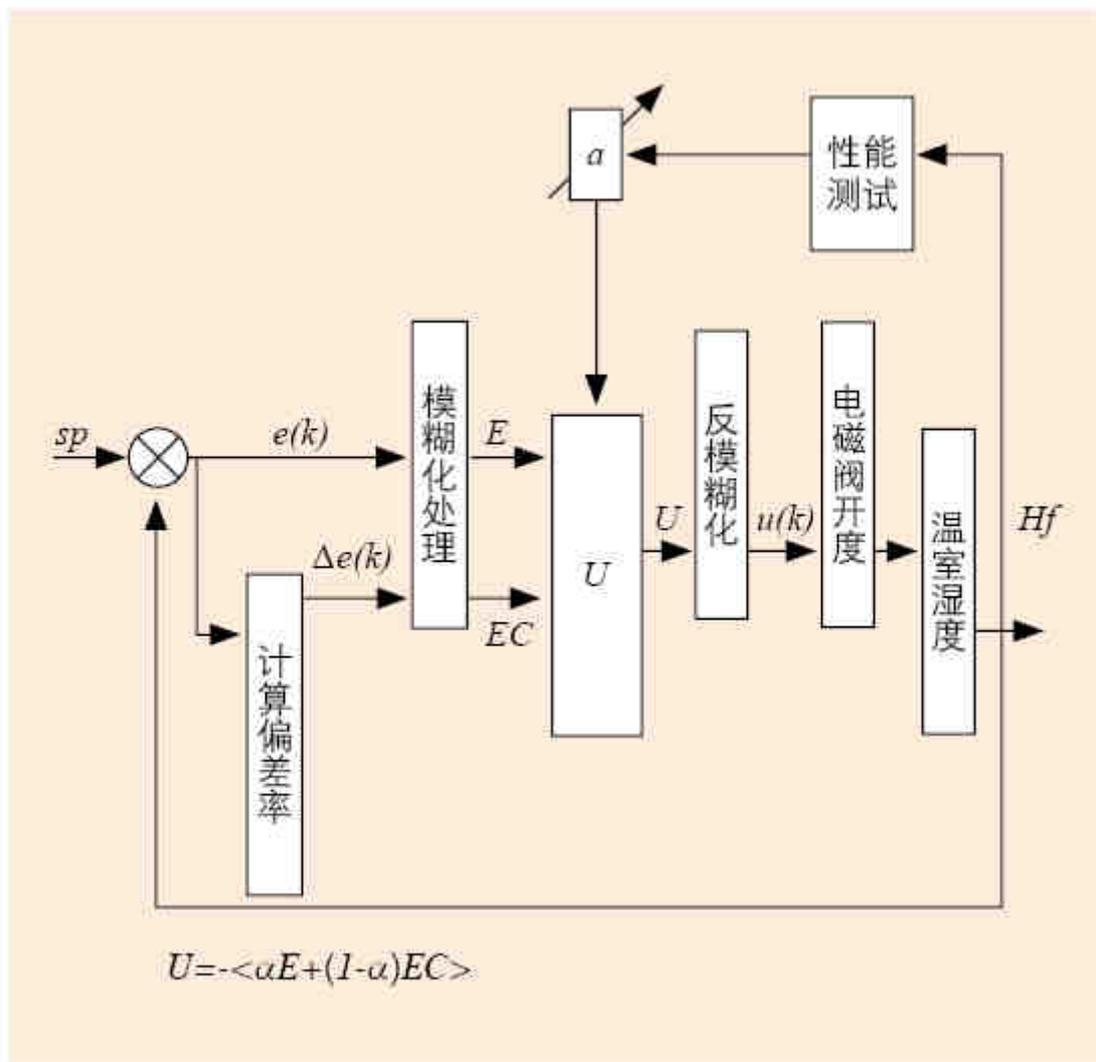


图2 模糊控制原理框图

PLC 通过采样获取土壤中的水分含量的精确值，然后将此量与田间持水量比较得到误差 e ，把误差的精确量模糊化变成模糊量，得到误差 e 的模糊语言集合的一个子集 E 。再由 e 模糊控制规则 R (模糊关系)，根据推理合成规则进行决策，得到模糊控制量为 $u = E \circ R$ (式

中 u 为模糊量)。为了对被控对象施加精确的控制，还需将模糊量 u 转化为精确的数字量，经 D/A 转换，送给执行机构，从而对被控对象电动机实施控制。

三 模糊神经网络控制算法

灌溉控制系统的主要目的是控制土壤中的水分含量恒定，此水分含量与土壤的地理条件、当地气温、农作物的种类、当天的天气等因素有关，灌溉控制系统具有强时滞、非线性特点。因此采用常规 PID 控制无法达到满意的控制效果，为了解决这一难点，本系统采用了模糊神经网络控制算法。这种控制算法结合专家知识与现场熟练工人的经验，模仿人的大脑进行决策，不需要被控对象的精确数学模型，对强时滞、非线性的被控对象具有很好的控制效果。

1. 模糊控制算法变量选取

根据实际控制要求，本模糊控制器土壤中的水分含量与田间持水量之差 E 的语言变量值取(负大、负中、负小、零、正小、正中、正大)，偏差的变化率 EC 及电动机控制电磁阀供水时间增量 ΔT 的语言变量值取(负大、负中、负小、零、正小、正中、正大)，量化等级都取 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$ 。各模糊子集的隶属函数取三角型函数，如图 3 所示。

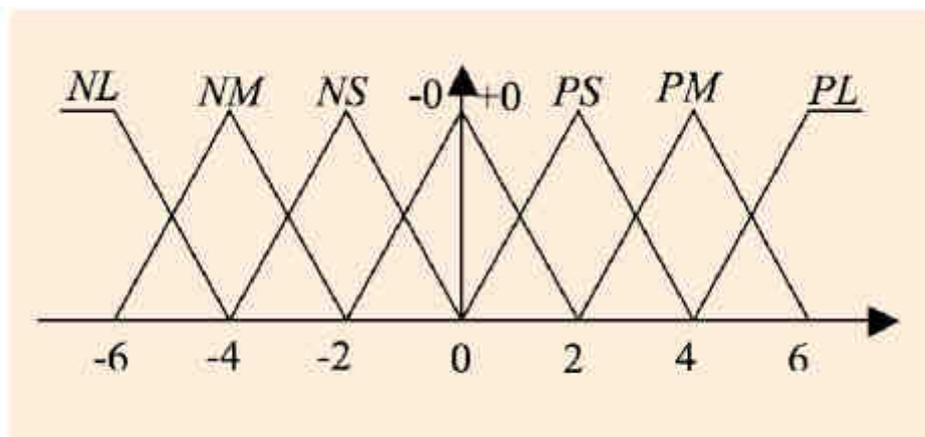


图3 隶属函数

由于在不同的温度下，系统要求的工作状态是不同的，对误差及误差变化率的加权值应有所不同，当系统误差较大时，控制器的主要任务是快速消除误差。因此，应取较大的 α 值，即加强误差的权值，以加速系统的快速响应。反之，当系统误差较小时，控制器的主要任务是使系统尽快趋于稳定。因此，应取较小的 α 值，即加强误差变化率的权值，以提高系统的稳定性。为了满足系统在不同状态下对修正因子的不同要求，引入 4 个修正因子。其解析表达式如式(1)。

$$\Delta U = \begin{cases} -\langle \alpha_1 E + (1 - \alpha_1) EC \rangle, & E = 0 \\ -\langle \alpha_2 E + (1 - \alpha_2) EC \rangle, & E = \pm 1 \\ -\langle \alpha_3 E + (1 - \alpha_3) EC \rangle, & E = \pm 2 \\ -\langle \alpha_4 E + (1 - \alpha_4) EC \rangle, & E = \pm 3 \end{cases} \quad (1)$$

其中 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 为 0~1 之间的实数且 $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4$ 。当误差为不同等级时，取不同的 α 值来调整控制规则，从而达到改善系统动态性能的目的。

2. 神经网络控制算法

由于修正因子 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 值的选取有一定的不确定性，如果修正因子 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 值选择不合理将会造成解模糊的值与实际值有较大偏差，系统的控制效果将受到较大的影响。为此本文采用神经网络控制算法，根据以往的数据和参数训练出最优的修正因子 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 值。

a. 非线性组合预测模型

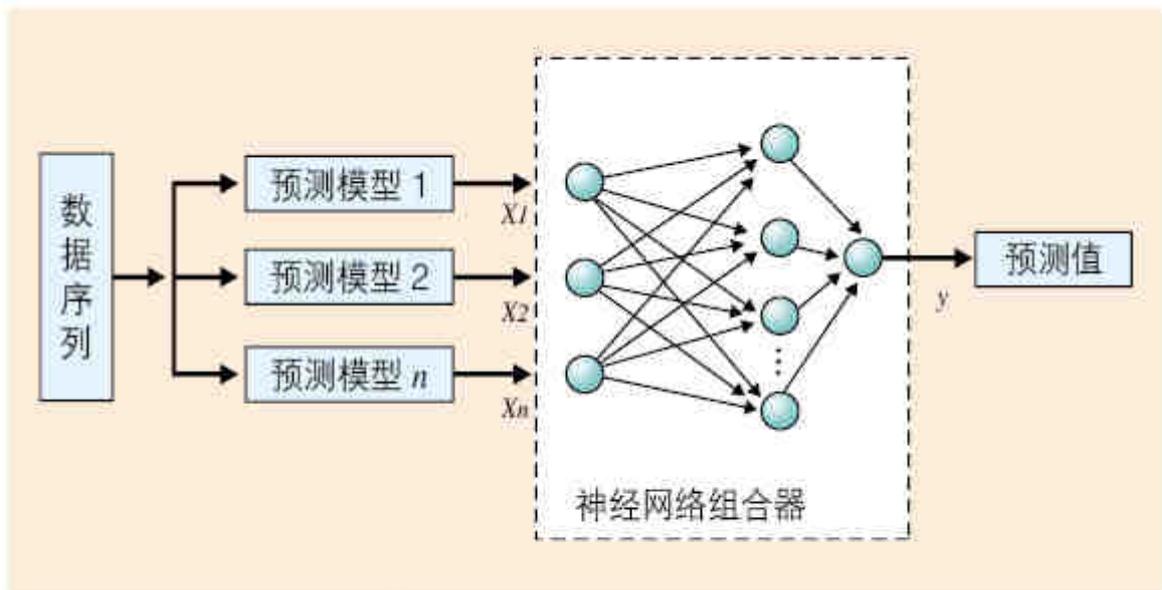


图4 神经网络组合预测模型示意图

组合预测模型具有信息利用充分、精度高的特点，关键是确定各个单项预测方法的加权系数。根据有关文献，可将神经网络作为多种预测模型的组合器，给出常规预测方法的最佳组合。它以各个单项预测模型的输出作为神经网络的输入，组合预测结果为输出，模型示意图如图 4。式(2)为非线性组合预测模型的数学表达式。

$$Y = f(x_1, x_2, x_i, x_n) \quad (2)$$

式中：y —— 神经网络组合器的输出，即组合预测模型的预测值；

x_i —— 第 i 项预测模型的预测值；

$f(.)$ —— 神经网络非线性映射函数。

b. 双重 BP 神经网络组合预测模型

在回归和延时神经网络的基础上，应用神经网络组合器，提出双重 BP 神经网络组合预测模型，模型结构如图 5 所示。第 1 重由回归神经网络和延时神经网络组成，回归神经网络模型用预测参数自身的历史数据作为输入，延时神经网络模型则用与预测参数相关运行参数作为输入。第 2 重是神经网络组合器，将前两者的预测结果进行优化组合，从而充分利用测点数据的历史变化趋势和相关参数的映射规律信息，提高预测精度。由于神经网络具有足够逼近任意非线性映射的能力，应用该组合预测模型进行参数预测时，无需对实时数据的时间序列作平稳性假设，仅依靠样本数据的训练来寻求数据之间的非线性映射关系。文中采用序列概率比检测方法(简称 SPRT 法)来验证数据的正确性，通过计算预测值和测量值的残

差、概率比，根据故障检测的决策规则判断测量数据是否有误。当判断数据异常，可用模型预测值来代替实时数据进行后续应用程序计算。

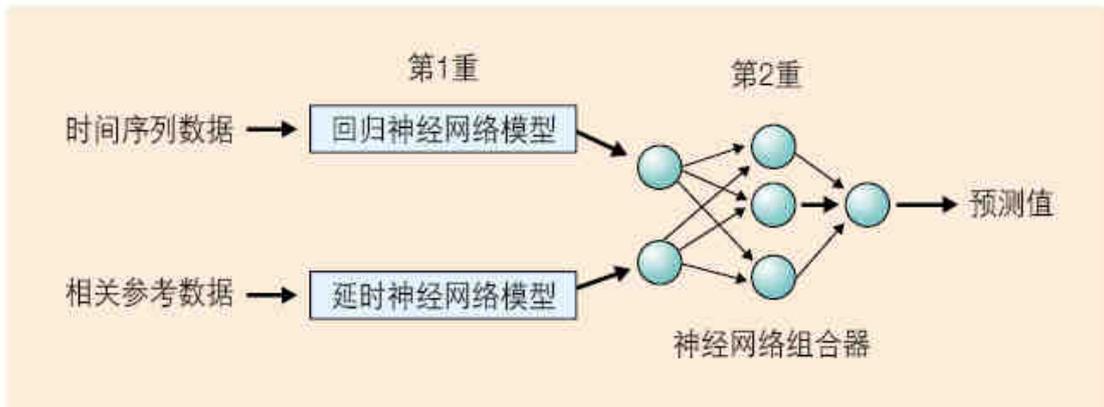


图5 双重神经网络组合预测模型示意图

3. 模糊控制修正因子和查询表建立

经过神经网络离线训练数据得出本控制系统的修正因子 $\alpha_1 = 0.45$ 、 $\alpha_2 = 0.55$ 、 $\alpha_3 = 0.65$ 、 $\alpha_4 = 0.75$ 。通过式(1)建立的模糊控制查询表如表所示。

模糊控制查询表

ΔU \ EC	-3	-2	-1	0	1	2	3
E							
-3	3	3	3	2	2	2	2
-2	2	2	2	1	1	0	0
-1	2	2	1	0	0	-1	-1
0	2	2	1	0	-1	-2	-2
1	1	1	0	0	-1	-2	-2
2	0	0	-1	-1	-2	-2	-2
-3	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3

在实际应用中，如已知 E 和 EC，则可通过表求得电动机控制电磁阀供水时间增量 ΔT ，再按最大隶属度原则解模糊，选择隶属度最大的元素为精确控制信号，乘以比例因子 K_u ，即为实际电动机供水时间 ΔT 信号，所以电动机供水时间控制信号 $\Delta(T) = T(k-1) + \Delta T$ ，经 D/A 转换为模拟量控制电动机供水时间，从而达到控制系统自动节水灌溉的目的。

四 软件设计

本控制系统软件包括 3 个部分，即 PLC 控制、PC 机控制和通信程序。PLC 作为整个控制系统的底层单元，对整个控制系统的数据采集和处理具有重要作用，完成土壤湿度数据的采集，将所采集到的土壤湿度数据经过 A/D 转换模块进行转换，将所转换的数据利用模

糊控制技术进行处理，以实现自动灌溉的目的。该系统软件开发是利用 OMRON 公司的梯形图编程软件 — Cx-Programmer。在系统设计时，为了更好地方便用户操作，特设计了 PC 主界面。在实际使用过程中，需要对灌溉系统进行实时远距离在线监控，所以要求 PC 机和 PLC 之间能够进行数据实时传输，因此采用 VB 程序设计语言中的 MSComm 通信控件来实现。PLC 控制器软件的实现流程图如图 6 所示。其中 S_p 为田间持水量、 H_f 土壤中的水分含量。

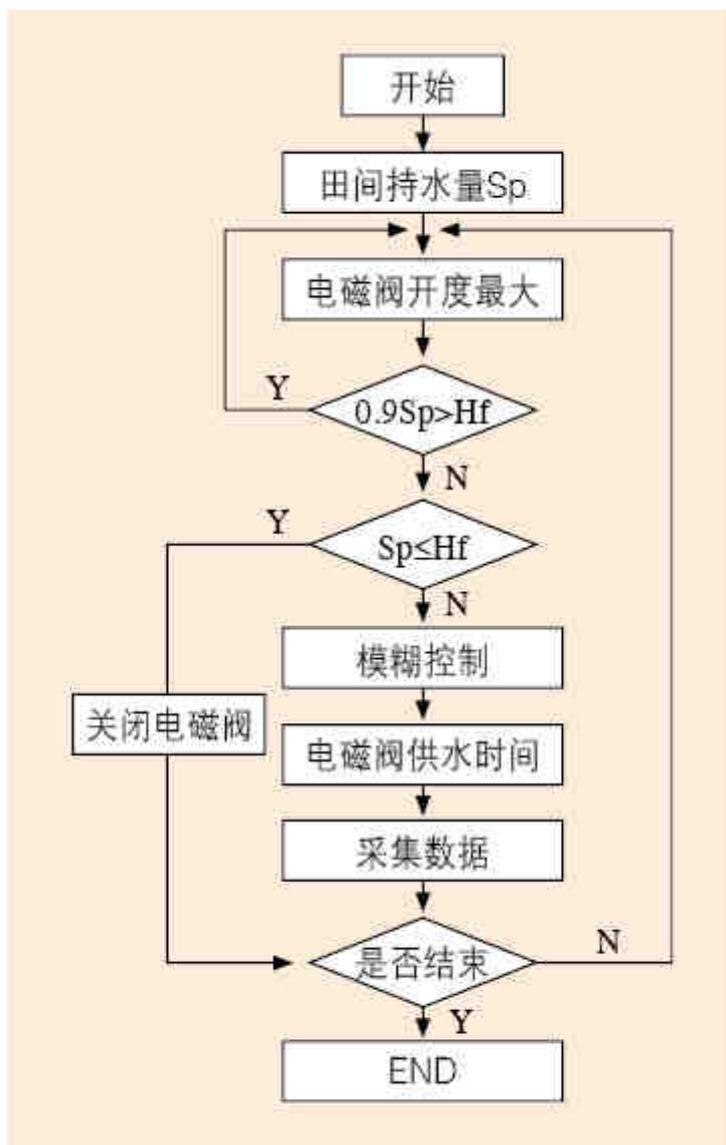


图6 PLC控制器软件的实现流程

五 结束语

将模糊控制与欧姆龙 PLC 控制系统相结合，既显示了欧姆龙 PLC 的可靠、灵活、适应性强的特点，也大大提高了控制系统的智能化程度。基于模糊控制的 PLC 系统适用于很多场合，控制程序易于模块化，标准化，与 PLC 自带的 PID 控制模块相比，具有编程灵活、限制条件少、模糊变量和模糊规则个数不受系统硬件限制等特点，降低了系统的开发成本，扩大了应用范围。实验室反馈信息表明：模糊控制 PLC 技术的应用，使去年欧姆龙 PLC 实验室投资明显减少，教学质量显著提高，可为实验室创造 180 万元的明显经济效益。

(全文完)

来源：《世界仪表与自动化》

出版日期：2008年9月