

# 基于 BP 神经网络及模糊推理的 温度预警模型研究

郑 健

(湄洲湾职业技术学院, 福建 莆田 351254)

**摘要:** 主要研究建立疫苗冷链物流运输过程中的温度监控预警模型, 通过优化的 BP 神经网络算法进行温度的预测, 并采用模糊推理进行有效的决策预警, 旨在把冷链物流运输中可能产生的损失降到最低; 仿真测试阶段通过建构一个隐藏层神经元为 13 个的优化 BP 神经网络, 在 Matlab 中进行有效性仿真, 训练回归统计 R 值接近于 1, 且得出期望输出与实际值相差无几; 模糊推理系统采用 trapmf 隶属函数, 通过仿真的规则曲面表明该规则对输入有良好的判断。

**关键词:** BP 神经网络; 模糊推理; 冷链物流; 温度预警

## Study on Logistics Temperature Prediction Model Based on BP Neural Network and Fuzzy Inference

Zheng Jian

(Meizhouwan Vocational Technology College, Putian 351254, China)

**Abstract:** This paper is to set up a temperature monitoring and early warning model in the vaccine cold chain logistics process. Through the temperature prediction by using the BP neural network algorithm, and the effective decision-making early warning by using the fuzzy inference. To reduce the possible losses in the cold chain logistics process. In simulation stage, construct a 13 hidden neurons' BP neural network. Through MATLAB simulation, training regression R very close to 1, and the desired output is really close on actual value too; the fuzzy inference system use the trapmf function. The simulation of regular surfaces show that the rules have good judgment.

**Keywords:** BP neural network; fuzzy inference; cold-chain logistic; temperature warning

### 0 引言

随着政府、医疗部门对疫苗等特殊药品的冷链运输要求日趋严格, 冷链物流成为现代物流技术及物联网传感控制领域的关键问题之一。冷链物流环节中对温度参数的采集、预警、记录是核心业务, 其中对于温度的预警尤其重要, 然而传统温度预警较为粗放。其预警是基于一定的线性规律, 对数据进行分析, 从而实现预警, 但在冷链物流环节中温度在更多的时候为随机、非线性变化, 如运输车厢门意外打开、制冷设备失效等。为了解决固定阈值温度预警的弊端, 有一些采用动态阈值进行修正, 以提高其预警有效性, 但总体预测精度不是很高。这样无法降低疫苗失效的比例, 如果阈值设置过低则容易出现一些错报、误报的情况, 大大影响运输的效率。

针对以上情况, 本文提出了一种基于 BP 神经网络的温度预测及基于模糊推理的温度预警模型, 主要通过优化的 BP 神经网络对冷链运输车辆温度变化进行智能预测, 采用预测数据比对相邻时间序列的历史记录, 通过模糊推理进行智能决策分析, 最后达到预警的目的, 有效提高冷链运输的效率, 保证疫苗的安全。具体模型流程如图 1 所示。

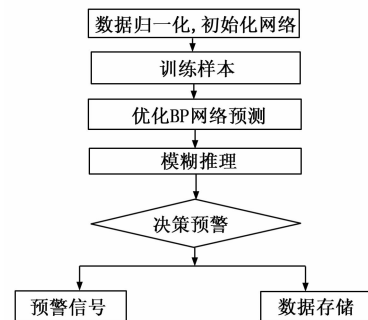


图 1 温度预警模型流程图

### 1 BP 神经网络

BP 神经网络是指基于误差反向传播算法的多层前向神经网络。典型的 BP 神经网络模型如图 2 所示。BP 神经网络可以实现输入和输出的任意非线性映射, 可以实现自学习且结构简单, 这使得它在预测领域得到广泛应用<sup>[1]</sup>。BP 网络能学习和存贮大量的输入-输出模式映射关系, 而无需求前揭示描述这种映射关系的数学方程。它的学习规则是使用最速下降法, 通过反向传播来不断调整网络的权值和阈值, 使网络的误差平方和最小<sup>[2]</sup>。

为了提高网络性能, 解决传统 BP 算法收敛速度慢、目标函数容易陷入局部极小值等问题, 进行改进, 主要措施有以下几种: 改进误差函数法、附加动量项、弹性方法、拟牛顿法自适应学习速率调整法等<sup>[3]</sup>。本文采用自适应学习速率调整法,

收稿日期: 2014-04-18; 修回日期: 2014-05-13。

基金项目: 2013 年福建省中青年教育科研 A 类项目 (JA13435); 2013 年莆田市科技项目 (2013G16)。

作者简介: 郑 健 (1980-), 男, 莆田仙游人, 讲师, 硕士研究生, 主要从事计算机网络, 物联网技术应用方向的研究。

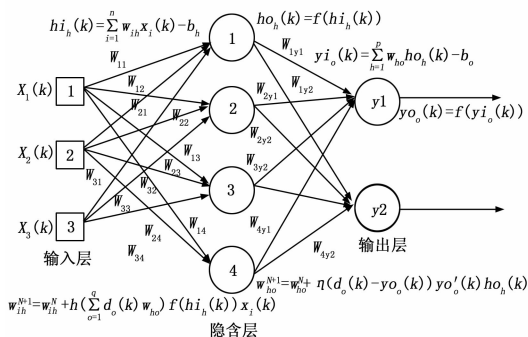


图 2 典型的 BP 神经网络模型图

这种方法通过误差变化而自适应学习调整，使得修正的权值向误差小的方向变化，来验证误差函数是否有所下降，其迭代方程为：

$$W(k+1) = W(k) - \eta \Delta f(W(k)) \quad (1)$$

## 2 优化方案及结构设计

冷链物流中运输车辆内温度变化是一个动态连续、密集的过程，对其温度的预测需要一个较复杂的模型，且本系统设计的冷链物流温度监控点较多，对温度采集数据量大，为了选取合适的预测对象数据，选取了一些有代表性的测温对象，且为表现温度数据的非线性特点，采集数据有一定的波动性。通过众多实验得知，在网络模型可以收敛的条件下，可适当加大学习速率，缩短学习时间；反之，当学习速率太大而使网络不可收敛时，适当调小学习速率以达到收敛。

本文 BP 神经网络模型的建立过程：先从历史温度数据库中调用样本数据，使用 premmx 函数进行归一化处理后作为 BP 神经网络模型的训练、测试样本，经过网络泛化能力训练成功后将保存该网络结构和相关的训练参数，后将此测试样本数据进行模型的仿真模拟，若结果满足测试要求时，将此测试的相关数据保存到数据库，完成模型建立。为了降低网络模型的复杂性同时结合温度预测环境的问题，本文采用三层的 BP 网络结构，其模型重要参数设定如下<sup>[4]</sup>：

### 2.1 激励函数

BP 算法可非线性逼近任意有理函数，是通过 Sigmoid 函数表现，Sigmoid 函数可以处理和逼近非线性输入/输出关系，它定义表示：

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \text{ 或 } f(x) = \frac{1-e^{-x}}{1+e^{-x}} \quad (2)$$

### 2.2 权值和阈值初始值域选择

为了能使用本网络学习达到局部最小，并得到较好的收敛，适当缩短训练时间。本文权值和阈值域设定为（-0.05, 0.05）。

### 2.3 学习速率的选择

本文选用自适应学习速率  $\eta(k)$  调整法，其公式如下：

$$\eta(k+1) = \begin{cases} 1.05\eta(k), & E(k+1) < E(k) \\ 0.7\eta(k), & E(k+1) > 1.04E(k) \\ \eta(k), & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中， $\eta$  为网络学习速率， $k$  为数据训练次数， $E$  为误差函数， $E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ； $E(k)$  表示第  $k$  次迭代后总的误差平方和， $y_i$  为网络训练后的实际输出值， $\hat{y}_i$  为学习样本的期望输出值， $n$  为学习样本的个数<sup>[5]</sup>。

## 3 模糊推理

本课题的温度预警是通过模糊推理来实现，具体方法：先通过 BP 神经网络预测的时刻温度与相邻时刻进行模糊推理，结合预先设定的冷链物流温度预测模糊专家库，将温度进行模糊化处理并与模糊专家库进行比对，根据规则给出较准确的温度预警时机。

模糊推理决策步骤：

### 3.1 确定评价对象的因子集论域及评语等级论域

$P = \text{是否进行温度预警}$ 。 $u = \{u_1, u_2, u_3\} = \{\text{温度过高, 温度适中, 温度过低}\}$ 。

### 3.2 确定评语等级论域，建立评价集 V

$V = \{v_1, v_2\} = \{\text{触发预警, 不触发预警}\}$ ，将温度的论域设定为  $[2, 8]^\circ\text{C}$

3.3 本例中，使用疫苗的常态温度  $2 \sim 8^\circ\text{C}$ ，根据相应的标度分为 3 个测量等级：过高、适中、过低，并依次定级为 TH、M、TL。具体设计的评价定量标准见表 1。

表 1 评价定量分级标准

评价值	评语	定级
$T_h = 1$	过高	TH
$M = 1$	适中	M
$T_l = 1$	过低	TL

### 3.4 对 3 个等级 TH、M、TL 建立其隶属函数，对温度样本进行模糊化处理

建立完 3 个对应的隶属函数对于给定的任意温度  $T$ ，都可以计算出  $T_h(T)$ 、 $M(T)$  及  $T_l(T)$ ，并根据最大隶属原则判断温度  $T$  属于温度过高或适中或过低，其温度情况的判断结果为其三个隶属函数值的最大值。

$$T_h(T) = \begin{cases} 1, & T \geq 6.9 \\ \frac{T-5.4}{6.9-5.4}, & 5.4 \leq T < 6.9 \\ 0, & T < 5.4 \end{cases} \quad (4)$$

$$M(T) = \begin{cases} 1, & 4.3 \leq T < 5.8 \\ \frac{7.3-T}{7.3-5.8}, & 5.8 \leq T < 7.3 \\ \frac{T-3.1}{4.3-3.1}, & 3.1 \leq T < 4.3 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

$$T_l(T) = \begin{cases} 1, & T \leq 3.1 \\ \frac{T-3.1}{4.6-3.1}, & 3.1 \leq T < 4.6 \\ 0, & T > 4.6 \end{cases} \quad (6)$$

### 3.5 建立模糊规则库

根据温度的 3 种定级 TH、M、TL 进行组合排列得出有  $3^3 = 27$  种的规则情况。具体根据温度的连续变化判断温度高低，如在冷链运输环节中  $t$  时刻温度太高为 TH，且在  $t-1$  时间温度为 TH、 $t+1$  时刻为 TH，则判断结果用  $R$  表示为 TH。结合在冷链运输的实际情况，可能由于车门打开或是制冷失效造成温度过高，故实际考虑温度适中和过高的情况，为  $2^3 = 8$  种的规则情况，用算法表示如表 2 所示。

3.6 根据规则如果结果为 TH 温度过高则发出预警信息，否则不进行预警，可以进行模糊决策。

表 2 模糊决策规则表

序号	$T_{t-1}$	$T_t$	$T_{t+1}$	R
1	TH	TH	TH	TH
2	TH	TH	M	M
3	TH	M	TH	TH
4	TH	M	M	M
5	M	TH	TH	TH
6	M	TH	M	M
7	M	M	TH	M
8	M	M	M	M

### 4 仿真分析

#### 4.1 BP 神经网络仿真

本文所用实验数据采用传感器采用 SHT75 温湿度传感器，温度的精度为  $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ （在  $20\text{ }^\circ\text{C}$  时）。以同一辆疫苗冷链运输车车厢温度采集，以 10 min 为采样频率进行数据采集，共进行采集 4 个小时的数据，以前 3 个小时采样数据为模型训练样本，以第 4 个小时采样数据为预测样本，然后对第 4 个小时的采样数据进行误差分析。采集数据样本为表 3 所示。

表 3 采样温度数据样本

时间 序号	第 1 个小时	第 2 个小时	第 3 个小时	第 4 个小时
1	2.96	2.98	2.89	3.04
2	2.93	2.94	2.89	3.04
3	2.94	2.94	3.07	2.98
4	2.94	2.95	3.01	2.89
5	2.92	2.96	2.91	2.92
6	2.97	2.99	2.98	2.92

从表 3 可知，本 BP 神经网络输入层的神经元为 6 个，输出层神经元为 1 个，本例隐藏层神经元根据 Kolmogorov 定理，隐藏层个数为  $2n+1$ ，其中  $n$  为输入层神经元个数，设定隐藏层神经元为 13 个。

设计程序<sup>[7]</sup>如下：

```

p=[2.96 2.93 2.94 2.94 2.92 2.97;2.98 2.94 2.94
2.95 2.96 2.99;2.89 2.89 3.07 3.01 2.91 2.98;3.04
3.04 2.98 2.89 2.92 2.92];
t=[3.01 3.05 2.91 2.94 2.95 2.98];
net=newff(minmax(p),[13,1],{'tansig','purelin'},'traingda');
net.trainParam.show=50;
net.trainParam.lr=0.05;
net.trainParam.lr_inc=1.05;
net.trainParam.epochs=3000;
net.trainParam.goal=1e-7;
[net,tr]=train(net,p,t);
a=sim(net,p)

```

通过训练其最终结果输出如下：

```

a = 3.010 1 3.049 7 2.910 5 2.939 7 2.950 4
2.980 1

```

其训练曲线图如图 3 所示，从其训练回归统计图 4 也可看出  $R$  值接近于 1，由以上的结果可以看出其期望输出与实际相差无几，训练过程有效合理，收敛性较好，收敛速度较快。训练后的预测的数据与实测的数据相差很小，通过实验得知该

BP 神经网络模型对温度在时间序列上的预测较好，能较准确反映温度变化情况，其训练的 BP 网络可行。

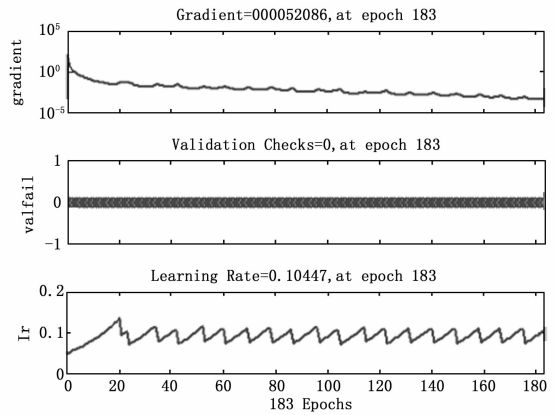


图 3 训练曲线图

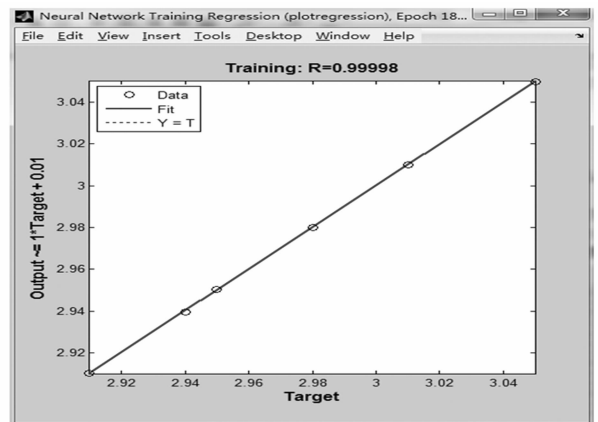


图 4 回归统计图

#### 4.2 模糊推理系统实验分析

根据上述的模糊推理系统建立以  $T(t+1)$ 、 $T(t)$ 、 $T(t-1)$  温度序列为输入的， $r$  为输出的模型。其中分别根据公式 (4) ~ (6) 得出 3 个模糊子集拐点分别为  $TL$  [0.09275 1.788 3.1 4.6]， $M$  [2.75 4.3 5.8 7.3]， $TH$  [5.4 6.9 8.468 9.935]，采用 trapmf 隶属函数，模型规则图如图 5 所示。

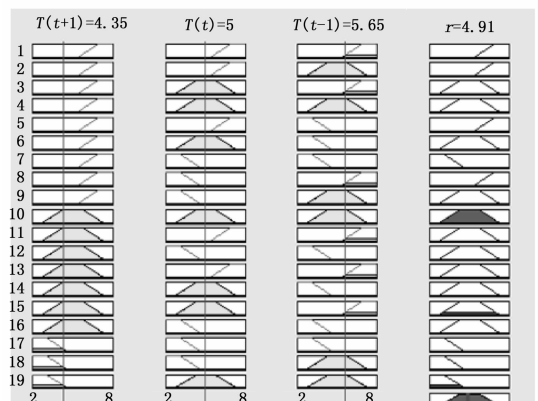


图 5 模糊系统规则图

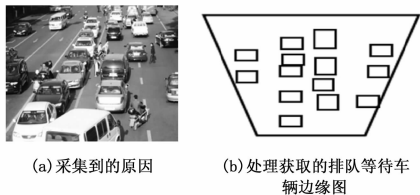


图 9 等待车辆边缘处理

间, 虚线表示本文系统选择路径选的车辆排队等待时间。图 10 (b) 是本文设计系统与最优等待时间检测的误差率统计结果。

通过图 10 能够看出, 本文系统智能选择的路径车辆排队等待时间同最优的车辆排队等待时间具有很高的匹配度, 匹配度达到 98%, 误差控制在 2.5% 以内。

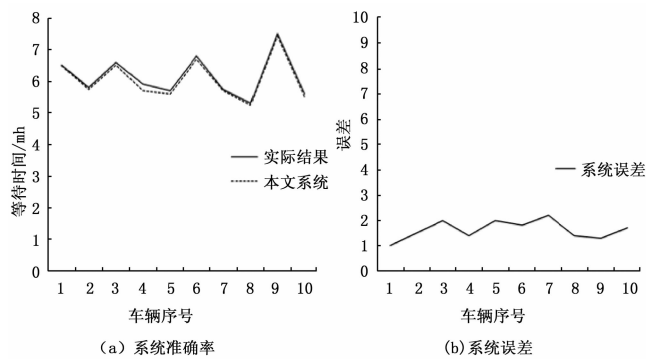


图 10 本文系统的检测结果

(上接第 2655 页)

通过观察所建立的模糊系统曲面如图 6 所示, 当温度在 5℃ 时, 该系统有良好的表现, 输出  $r$  基本处于同一平面。当测试温度低于 5℃ 时曲面呈下降趋势, 温度高于 5℃ 时曲面呈上升趋势, 通过不同的输入进行规则曲面观察表明, 该规则对输入有良好的判断, 能进行模糊决策。

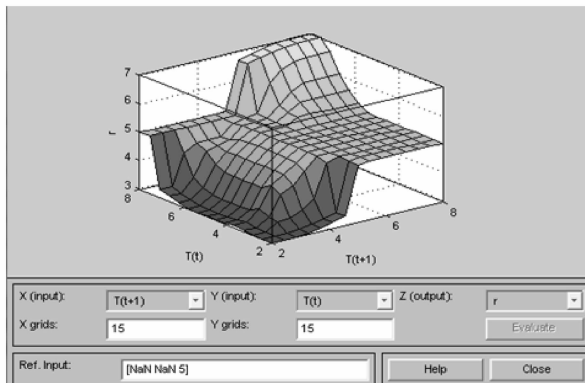


图 6 模糊系统规则曲面图

### 5 结束语

本文设计了一种基于单片机的汽车智能路径选择系统, 分析了系统硬件原理图、CCD 摄像机和图像采集卡以及视频解码芯片硬件结构, 给出了汽车智能路径选择的层次模块和界面, 采用最大类间方差方法 (OTSU 方法) 依据车辆和背景的方差动态确定图像分割阈值, 获取排队车辆图像区域, 按照视频的时间获取车辆的排队等待时间。实验结果说明, 该种系统选择路径的车辆排队时间与最优等待时间匹配度达到 98%, 误差控制在 2.5% 以内, 并且系统具有较高的稳定性, 取得了令人满意的效果。

#### 参考文献:

- [1] 邹虎泉. 浅谈汽车综合性能检测机构的发展 [J]. 交通科技, 2011, (S2): 43-45.
- [2] 张新建, 刘沛, 彭诚, 等. 基于单片机的智能车载安全系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (9): 2535-2537.
- [3] 盛友招. 排队论及其在现代通信中的应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007: 51-71, 129-135.
- [4] 宋枚瑶. 银行营业厅客户排队服务问题研究——基于排队论的观点 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2008.
- [5] 孙霞林, 等. 基于排队的服务系统最小成本 [J]. 武汉工程大学学报, 2008, (1).
- [6] 吴义虎, 武志平, 刘燕妮. 基于模型预测的城市快速路匝道流量协同控制 [J]. 长沙交通学院学报, 2007, 23 (4): 18-22.
- [7] 倪燃. 基于单片机的车祸事故人工智能识别系统的设计 [J]. 科技通报, 2013, 8: 166-168.

### 5 结论

综上, 通过 Matlab 的仿真, 基于 BP 神经网络及模糊推理的温度预警模型是有效准确的, 可以将此模型应用在冷链物流的温度预警上, 对温度进行有效地监测, 将有效减少因突发的问题而导致的疫苗失效、食品腐坏等损失, 确保运输物品的安全。

#### 参考文献:

- [1] 李超. 基于自适应遗传算法的 BP 神经网络预测研究及应用 [D]. 山西: 山西师范大学, 2012.
- [2] 李会兵. 基于 BP 神经网络的温度预测方法 [J]. 电子测试, 2013 (19).
- [3] 苏高利, 邓芳萍. 论基于 MATLAB 语言的 BP 神经网络的改进算法 [J]. 科技通报, 2003, 19 (2): 130-135.
- [4] 茹亮. 冷藏车远程感控系统关键技术研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.
- [5] 杨甲沛. 基于自适应学习速率的改进型 BP 算法研究 [D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [6] 刘振亮. 基于 BP 神经网络的机电设备温度监测预警管理系统研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2012.
- [7] 张海丰. Matlab 神经网络应用设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.