

基于神经网络-模糊推理的目标识别融合研究

李 炯¹, 雷虎民¹, 冯 刚²

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2 空军工程大学 理学院, 陕西 西安 710051)

摘 要:为提高复杂环境下多传感器的自适应信息融合能力,提出了一种基于神经网络-模糊推理的信息融合模型,利用神经网络和模糊推理分析传感器探测状态的不确定性,并将其应用于红外成像/毫米波复合制导目标识别的信息融合,识别效果比较理想,可信度有了很大提高。

关键词:神经网络-模糊推理系统;模糊规则;复合制导;信息融合

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)06-0036-04

模糊神经网络(FNN)是在神经网络(NN)和模糊系统(FS)的基础上发展起来的,它充分考虑了NN和FS之间的互补性。本文提出了一种基于神经网络-模糊推理的融合模型,利用神经网络和模糊推理两种智能工具分析传感器探测状态的不确定性,以提高复杂环境下多传感器的自适应信息融合能力,并将其应用于红外成像/毫米波复合制导的目标识别。

1 神经网络-模糊推理融合模型与算法

众所周知,神经网络具有并行计算、分布式信息存储、容错能力强及自适应学习功能等优点。但是,神经不能很好地利用已有的经验知识来指导网络的学习。而模糊逻辑适合于表达那些模糊或定性的知识,是处理不确定性、非线性和其他不确定问题的有力工具。如果把模糊逻辑和神经网络结合起来,吸取各自的优点,构造出模糊神经网络,对其结构和算法进行研究,不仅会促进它们各自在理论上的发展,而且会进一步扩大它们的应用范围。

1.1 神经网络-模糊推理融合结构

神经网络-模糊推理模型结构主要包括自适应神经模糊推理系统(ANFIS)置信度估计和权值融合两个部分,其结构如图1所示。其中,置信度估计是ANFIS中最重要的部分之一,这里采用的是零阶 Sugeno 模糊模型。零阶 Sugeno 模糊系统的典型模糊规则为:如果 x_1 为 A , 并且 x_2 为 B , 那么 $y=k$ 。此处 A 和 B 为前提中的模糊集合,而 k 为结论中一个可调参数。ANFIS 置信度估计的结构如图2所示。

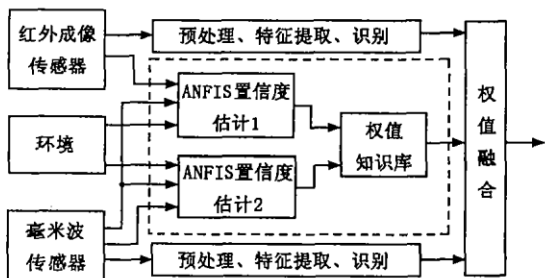


图1 基于神经网络-模糊推理信息融合的红外成像/毫米波复合制导目标识别结构框图

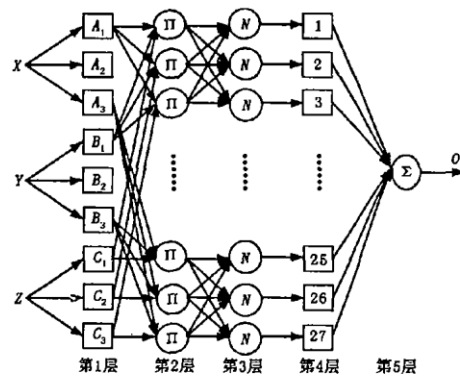


图2 ANFIS置信度估计结构图

收稿日期:2005-11-03

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2004F19)

作者简介:李 炯(1979-),男,安徽泾县人,博士生,主要从事导弹制导系统、神经网络和信息融合技术研究;
雷虎民(1960-),男,陕西合阳人,教授,博士生导师,主要从事飞行器制导与控制技术研究。

1.2 神经网络-模糊推理融合算法

1) 模糊规则。应用模糊神经网络实现红外成像/毫米波复合制导目标识别分类,充分利用了制导信息具有模糊性的特点,解决制导过程的不确定性和模糊性。模糊神经网络推理机的任务是通过分析传感器、环境特性及目标的辐射特征,完成目标的属性和身份识别。图 2 中的 ANFIS 具有 3 个输入、1 个输出及 27 个 If-Then 模糊规则。其中输入变量定义如下: X 表示传感器状态(X 在 $[0, 1]$ 区间内,值越大,传感器状态越好), Y 表示天气状况, Z 表示目标距离。每个变量对应 3 个模糊集,其成员函数为高斯函数。输出 O 表示传感器的置信度,有 $O \in [0, 1]$,其值越大则置信度越高。ANFIS 的 If-Then 模糊规则如表 1 所示。第 i 条规则的结论 r_i 表示由相应的条件得出的传感器置信度。

表 1 ANFIS 置信度估计 If-Then 模糊规则

模糊规则	条件(If)			结论(Then)
	传感器状态	天气状况	目标距离	置信度
1	A_1 (正常)	B_1 (好)	C_1 (近)	r_1
2	A_1 (正常)	B_1 (好)	C_2 (中)	r_2
3	A_1 (正常)	B_1 (好)	C_3 (远)	r_3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
27	A_3 (损坏)	B_3 (坏)	C_3 (远)	r_{27}

2) 节点函数。在 ANFIS 拓扑结构中,每一层都有相同类型的节点函数。 O_{ij} 表示第 i 层的节点 j 的输出,则有:

第 1 层:节点 i 的节点函数为

$$O_{1,i} = \begin{cases} \mu_{A_i}(X), & i = 1, 2, 3 \\ \mu_{B_{(i-3)}}(Y), & i = 4, 5, 6 \\ \mu_{C_{(i-6)}}(Z), & i = 7, 8, 9 \end{cases} \quad (1)$$

其中, A_1, A_2 及 A_3 (对应正常、干扰、损坏) 为节点 i ($i = 1, 2, 3$) 的模糊集; B_1, B_2 及 B_3 (对应好、中、坏) 为节点 i ($i = 4, 5, 6$) 的模糊集; C_1, C_2 及 C_3 (对应近、中、远) 为节点 i ($i = 7, 8, 9$) 的模糊集; $Q_{1,i}$ 表示对应输入模糊集的隶属度。 $\mu(x)$ 为高斯函数,表示为 $\mu(x) = \exp(-(\frac{x-c_i}{a_i})^2)$ 。式中, $\{a_i, c_i\}$ 为前提参数集。这些参数的改变,使得高斯函数也随之改变,表示了模糊集合的不同隶属函数形式。

第 2 层:节点 i 的输出为所有输入的乘积,其输出 $O_{2,i}$ 表示第 i 条规则的活动强度。

第 3 层:节点 i 的输出为第 i 条规则的活动强度与所有规则活动强度的和之比,可以表示为

$$O_{3,i} = \frac{O_{2,i}}{\sum_{j=1}^{27} O_{2,j}}, \quad i = 1, 2, \dots, 27 \quad (2)$$

$Q_{3,i}$ 为归一化的规则活动强度,用 w_i 和 \bar{w}_i 分别表示第 i 条规则的活动强度与归一化的规则活动强度,则有

$$\bar{w}_i = O_{3,i} = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^{27} w_j}, \quad i = 1, 2, \dots, 27 \quad (3)$$

$$\text{第 4 层:节点 } i \text{ 的输出表示为 } O_{4,i} = \bar{w}_i \cdot r_i, \quad i = 1, 2, \dots, 27 \quad (4)$$

其中 r_i 为结论参数集。

第 5 层:该层只有一个节点,节点的输出为所有输入之和,表示为

$$O = O_{5,1} = \sum_{i=1}^{27} O_{4,i} = \sum_{i=1}^{27} \bar{w}_i r_i \quad (5)$$

3) 学习算法。参照模糊神经网络的结构图,ANFIS 中有 18 个(非线性)条件参数 $\{a_i, c_i\}$ 和 27 个(线性)结论参数 $\{r_i\}$,利用混合学习算法调整这 45 个参数。由式(5)可知,在条件参数不变时,ANFIS 的总输出是结论参数的线性组合,在网络的输入数据前向传播过程中,可利用最小二乘法得出结论参数,有

$$A\theta = y \quad ; \quad \hat{\theta} = (A'A)^{-1}A'y \quad (6)$$

在网络的误差数据后向传播过程中,固定结论参数 $\{r_i\}$,可以利用最陡下降法调整条件参数 $\{a_i, c_i\}$ 。

令 \bar{O}_k, O_k 分别表示第 k 个样本的期望输出和实际输出,则 p 个训练样本的总误差函数为

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^p (\bar{O}_k - O_k)^2$$

前提参数的更新公式为

$$a_{ki}(t+1) = a_{ki}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial a_{ki}(t)} + \beta \Delta a_{ki}(t); c_{ki}(t+1) = c_{ki}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial c_{ki}(t)} + \beta \Delta c_{ki}(t)$$

式中, η 为学习速率, β 为动量项参数。

模糊多层前馈网络不但在输入输出端口与具体的模糊系统等效,而且网络内部与模糊系统的模糊化、模糊推理、解模糊相对应,它可以用模糊系统的有关概念来解释,因而这种网络内部是透明的。模糊系统的模糊规则及隶属函数参数的修改,在模糊多层前馈网络中转变为局部节点或权值的确定和调整,同时,由于是局部的权值调整,因此学习速度较快。由于模糊系统能够逼近任意紧支集上的连续函数,且共逼近精度随论域上的模糊子集的细化程度的提高而改进,因而可通过对应模糊多层前馈网络中实现隶属函数模拟功能的节点个数来实现所需的逼近精度。

1.3 权值融合

基于知识库的权值融合将传感器的置信度作为输入,知识库的推理规则由 ANFIS 置信度估计给出。假定系统具有 2 个传感器,则可以得出以下推理规则,如表 2 所示。

表 2 基于规则的知识库

规则	条件(置信度判断)		结论(传感器权值)	
	传感器 1	传感器 2	传感器 1	传感器 2
1	$U_1 > T_1$	$U_2 < T_2$	1	0
2	$T_1 > U_1 > T_2$	$T_1 > U_2 > T_2$	$U_1 / (U_1 + U_2)$	$U_2 / (U_1 + U_2)$
3	$U_1 < T_1$	$U_2 > T_2$	0	1

在表 2 中, U_1, U_2 分别表示传感器 1 与传感器 2 的置信度, T_1, T_2 表示规则的阈值。

假定传感器 i 的识别率和归一化权值分别为 X_i, W_i , 则融合后的识别率 X 表示为

$$X = \sum_i W_i X_i \quad (7)$$

2 融合算法在红外成像/毫米波复合制导目标识别中的应用

将上述神经网络-模糊推理融合结构运用于红外成像/毫米波复合制导目标识别系统中,其融合过程为:①根据具体问题选定网络结构,并对样本数据预处理;②初始化网络权值及隶属函数参数;③给定网络学习速率和动量项系数;④利用典型样本离线训练神经网络,使之较好地拟合样本数据,形成权值知识库;⑤根据需要去掉权值很小的对应第 3 层的神经元,以进一步简化网络结构,加速传感器信息在线融合速度;⑥用简化后的模糊神经网络对传感器数据进行融合。

将红外成像、毫米波传感器的传感器状态,天气环境及目标距离作为神经网络-模糊推理融合系统的输入,得出置信度结论,形成融合权值。红外成像制导采用图像的惯性不变矩作为特征量,利用 BP 神经网络进行分类识别。毫米波制导采用小波网络对毫米波的一维距离像进行分类识别。最后,两种传感器通过权值融合就可以得到融合后的目标识别率。

所有的 ANFIS 置信度判别器均采用同一网络结构(见图 2),选择训练样本对该模糊神经网络进行训练,训练 1 000 次后的最终误差为 0.001 62,如图 3 所

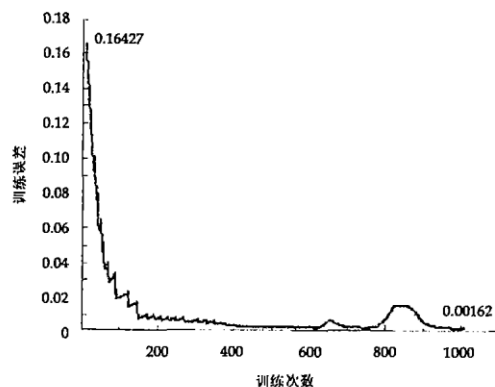


图 3 模糊神经网络训练曲线

示。

假定识别框架 U 为 { 侦察机 a , 轰炸机 b , 歼击机 c }, 制导系统中红外成像传感器(设为 m_1) 和毫米波雷达传感器(设为 m_2) 提供对飞机类型的识别信息, 得到的数据如下:

$$\begin{aligned} m_1(a) &= 0.95 & ; & & m_1(b) &= 0.05 & ; & & m_1(c) &= 0.00 \\ m_2(a) &= 0.00 & ; & & m_2(b) &= 0.03 & ; & & m_2(c) &= 0.97 \end{aligned}$$

随机取一组样本, 经模糊神经网络得出对应的传感器置信度分别为 0.81、0.90, 则融合后的识别信息如下:

$$\begin{aligned} m(a) &= \frac{0.81}{0.81+0.90}m_1(a) + \frac{0.90}{0.81+0.90}m_2(a) = 0.45; \\ m(b) &= \frac{0.81}{0.81+0.90}m_1(b) + \frac{0.90}{0.81+0.90}m_2(b) = 0.04; \\ m(c) &= \frac{0.81}{0.81+0.90}m_1(c) + \frac{0.90}{0.81+0.90}m_2(c) = 0.51。 \end{aligned}$$

3 结束语

本文将神经网络和模糊推理两种智能工具结合起来, 提出了一种基于神经网络-模糊推理的信息融合方法, 用以分析传感器探测状态的不确定性, 降低传感器状态、环境特性的不确定性对融合性能的影响, 提高复杂环境下多传感器的自适应信息融合能力, 是一种比较实用、有效的决策融合方法。

参考文献:

- [1] 刘隆和. 多模复合寻的制导技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [2] 权太范, 信息融合神经网络-模糊推理理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [3] Zhang Zhao-li. A New Fuzzy Neural Network Architecture for Multisensor Data Fusion in Non-Destructive Testing[A]. IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings[C]. Seoul, Korea, 1999. 1661-1665.
- [4] Sun Qing-wei. Adaptive Neural Networks-Fuzzy Reasoning Information Fusion System[A]. IEEE Region 10 Annual International Conference Proceedings/TENCON[C]. 2002. 712-715.
- [5] Taur J S. Fuzzy Decision Neural Networks and Application to Data Fusion[J]. Neural Networks for Signal Processing, 1993, (3): 171-180.
- [6] 沈明华, 冯新喜, 黄智颖. 一种基于子波特性的模糊神经网络目标识别方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版) 2002, 3(4): 26-29.

(编辑: 田新华)

Target Recognition Fusion of Multi-mode Composite Guidance Based on ANFIS

LI Jiong¹, LEI Hu-min¹, FENG Gang²

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 2. The Science Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, Shaanxi, China)

Abstract: This paper presents an adaptive neural networks-fuzzy reasoning information fusion system, which is employed to decrease the influence of the uncertainty of sensor state on fusion performance under complex environment. The model consists of confidence estimator and weighted fusion, which is applied to information fusion of multi-mode composite guidance with perfect result and high reliability.

Key words: ANFIS; fuzzy rules; composite guidance; information fusion