

ARTMAP 与模糊逻辑结合的 字符智能识别方法*

徐立亚 戚飞虎^v 蒋隽 林纯青
(上海交通大学计算机科学与工程系, 上海, 200030)

TP18
TP391.41

摘要 研究了将 ARTMAP 神经网络与模糊规则相结合的字符识别方法. ARTMAP 用于对字符的学习、训练, 而模糊规则和 ARTMAP 共同用于对字符的智能识别. 实验证明这种将模糊技术与神经网络相结合的混合系统具有较高的识别率和较快的识别速度, 采用 ARTMAP 神经网络只需要较少的网络训练时间.

关键词 神经网络, ARTMAP, 模糊规则, 字符识别.

引言

神经网络已广泛用于图像处理、模式识别的实际应用中^[1,2], 其中以自适应信号理论为基础发展起来的前向多层神经网络及其逆推(BP)学习算法因其算法的系统性及完整性被广泛运用, 但这类网络存在着学习速度慢、易于陷入局部最小点、网络学习后结构固定等固有缺陷, 另外这种网络只适用于平稳的环境、误差准则固定, 不能随着环境的变化而进行相应的调整或改变.

ARTMAP 利用自适应谐振理论模仿人的认知过程和智能处理行为, 是一种自组织神经网络^[3], 它能在神经生理学及心理学等许多方面模仿人脑神经系统工作的许多特点, 诸如层次性、双向性(由底向上和由顶向下), 注意力的集中和转移、竞争选择和重置、神经元的生物化学动态模型等. 这与纯粹借助于物理模型的 Hopfield 神经网络和借助于自适应信号处理理论的前向多层神经网络相比具有更丰富的智能性.

模糊技术已被广泛运用于自动控制应用领域. 模糊规则作为模糊系统的重要组成部分, 有着极其重要的实用价值. 近年来有学者研究将模糊规则应用于决策判决、图像处理、模式识别等多种领域. 它既可用于模式识别的特征提取, 也可用于模式分类. P. Siy 和 C. S. Chen^[4]将构成字符的线、环圈等看作模糊集, 利用模糊技术进行字符的特征提取.

本文提出将神经网络与模糊逻辑相结合的字符智能识别方法(本文简称模糊法): 先由 ARTMAP 实现对字符样本的训练和学习, 得到网络权重原型, 再由重原型和输入矢量确定模糊隶属函数及模糊区域, 生成模糊规则然后进行字符识别, 最后对那些模糊规则不可识别的字符, 由 ARTMAP 进行再分类. 我们对 2112 个字符样本进行网络训练, 对 1000 个字符进行识别的结果表明, 该方法与通常的神经网络识别法相比, 具有识别率较高, 识别时间较

* 国家自然科学基金(69572026)和国防预研基金(96J2.4.2)资助项目
稿件收到日期 1997-10-22, 修改稿收到日期 1998-2-12

少,网络不会陷入局部最小点等优点.

1 ARTMAP 字符分类器

ARTMAP 网络是一种在线有监督神经网络,每个 ARTMAP 系统包含两个自适应谐振理论模块 ART_a 和 ART_b. 当 ARTMAP 处于有监督学习阶段,ART_a 输入为样本特征 a (a_1, a_2, \dots, a_n), ART_b 的输入为 a 的分类结果. ART_a 与 ART_b 通过映射场 (mapfield) 相连接,该映射场实际上是内部控制器,通过最小、最大学习规则控制 ART_a 的识别类别数,亦即达到识别标准的最小隐单元个数,从而使系统具有快速、高效、准确的特性. ARTMAP 的网络拓扑图如图 1 所示.

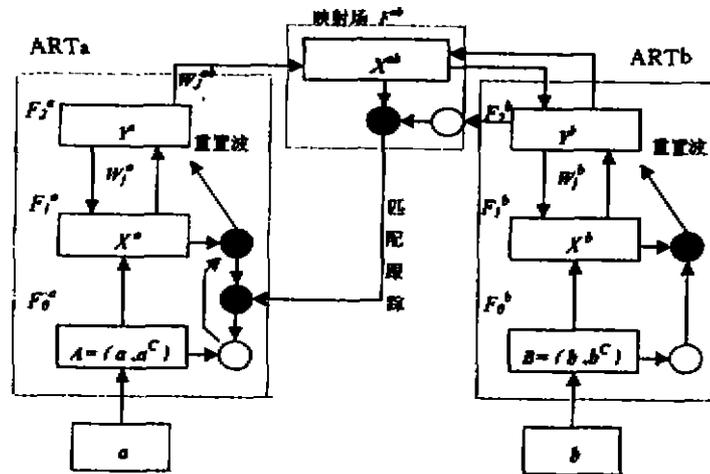


图 1 ARTMAP 网络结构图
Fig. 1 ARTMAP architecture

1.1 ARTMAP 算法介绍

与 ART-1 和 ART-2 神经网络不同,ARTMAP 由两个 ART 模块和一个映射场组成. 因此,其功能算法要复杂得多^[3]. 该算法包含以下步骤.

1.1.1 网络初始化,该步骤完成对 ART_a、ART_b 和映射场输入矢量、输出矢量以及权重矢量的初始化设置,以上矢量初始时均设为 0.

1.1.2 激活映射场,只要当 ART_a 或 ART_b 中的任一类别单元被激活,ARTMAP 的映射场就被激活,假设 ART_a 的聚类结果是选择了 F_2^a 层的 j 单元,那么 j 与映射场间的权重 W_j^{ab} 激活了映射场 F^{ab} . ARTMAP 的映射场输出矢量遵从下式:

$$X^{ab} = \begin{cases} Y^b \wedge W_j^{ab}, & \text{若 } F_2^a \text{ 的第 } j \text{ 个节点及 } F_2^b \text{ 均激活} \\ W_j^{ab}, & \text{若 } F_2^a \text{ 的第 } j \text{ 个节点激活而 } F_2^b \text{ 未激活} \\ Y^b, & \text{若 } F_2^a \text{ 激活而 } F_2^b \text{ 未激活} \\ 0, & \text{若 } F_2^a \text{ 和 } F_2^b \text{ 均未激活} \end{cases}$$

式中, $\wedge = \text{minimum}(y_j^b, W_{jn}^{ab})$. 由上式, 当 ART_a 的分类结果与 ART_b 的分类结果失配时, $X^{ab} = 0$, 此时激发 ART_a 进行新的类别搜索, 进入匹配追踪阶段.

1.1.3 匹配追踪, 起始时, ART_a 的预警参数 ρ_a 设置为一个较小的预警基数 ρ_0 , ρ_{ab} 为映射场的预警参数. 如果

$$|X^{ab}| < |\rho_{ab}| Y^b, \quad (1)$$

ρ_a 相应提高, 直至 ρ_a 略大于 $|A \wedge W_j^a| |A|^{-1}$. 此时有

$$|X^a| = |A \wedge W_j^a| < |\rho_a| |A|, \quad (2)$$

这里, 下标 j 表示 F_2^a 层的任一个节点的索引号. 这样 ART_a 进行搜索另外的节点, 使得

$$|X^a| = |A \wedge W_j^a| \geq |\rho_a| |A| \quad (3)$$

和

$$|X^{ab}| = |Y^b \wedge W_j^{ab}| \geq |\rho_{ab}| |Y^b|. \quad (4)$$

如果在 F_2^a 层的 j 节点不满足式(3)和(4), 映射场的权重 W_j^{ab} 初始时均置为 1, 当谐振发生时, 即若 ART_a 的节点 j 作为分类结果与 ART_b 的 k 节点相一致, 则 W_{jk}^{ab} 恒为 1, W_{jm}^{ab} 恒为 0 (对于 k 不等于 m).

1.2 字符样本的数据表达

本文对数字的灰度图像进行识别研究, 我们从汽车牌照中分割出的 3112 个数字字符, 其中 2112 个字符用于网络的训练及模糊规则的生成, 另外 1000 个字符用来进行识别测试, 数字样本的灰度图如图 2.



图 2 字符样本的灰度原图
Fig. 2 Gray image of character samples

本实验中, 原始对象是由黑白摄像机直接采集的公路上实际车辆灰度图像中的车牌字符图像, 每个字符为 256 灰度级, $12 * 18$ 像素分辨率. 样本准备方法是将 $12 * 18$ 的图像划分为 $2 * 2$ 的 54 个区域, 取每个区域内 4 个像素的灰度值之和, 得到 $0 \sim 1020$ 的整数, 再归一化到 $[0, 1]$ 区间. 这样每个样本用一个 54 维的向量表示, 即本实验中的模糊特征向量.

2 模糊隶属函数和模糊规则分类器

模糊逻辑的实际应用中,三角形、梯形等线性函数作为模糊隶属函数被广泛使用.同样,本文也采用三角形模糊隶属函数.

由于 ARTMAP 网络的训练权值以及输入样本模式的方差反映了输入空间的数据分布,本文采用这两个参数来决定每个输入模糊区域的范围.通常,模糊区域的数目由经验知识获得,但是当模糊区域的数目过大时,往往会产生过多的冗余模糊规则.为了提高模糊分类器的分类效率,必须有效地减少规则数,当相邻两个模糊集的三角形顶点距离足够近时(小于某一门限 thr , 这里 thr 被称为合并阈值),合并这两个模糊集,此时便生成了梯形模糊隶属函数.模糊区域及模糊集合并如图 3 所示.

采用 Wang^[5]的模糊规则产生方法,由 2112 个样本共生成了 1356 条规则.用这些规则构成的模糊规则库,实现对字符的识别.我们用样本的 54 个模糊灰度特征,对于每个字符最多有 2^{54} 种可能,为了提高识别速度,当模糊特征的隶属度小于设定的门限时,则舍弃它.经过这种处理,可以提高运算速度,并且识别率未有大的影响.

识别结果的非模糊化采用质心去模糊法(center of area),即

$$\text{Output}_{COA} = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_c(\text{feature}_j) \text{Out}_j}{\sum_{j=1}^n \mu_c(\text{feature}_j)}, \quad (5)$$

式(5)中 Output 为去模糊后的输出结果, n 是测试样本符合规则库中规则个数, $\mu_c(\text{feature}_j)$ 是各模糊特征的隶属度之积,有

$$\mu_c(\text{feature}_j) = \prod_{i=1}^{54} \mu_i. \quad (6)$$

由于有的测试样本的模糊灰度特征与训练样本的灰度特征存在较大的差异而无法落入模糊区域中,这些样本的识别必须由 ARTMAP 的神经网络完成.

3 实验结果与讨论

3.1 字符的识别效率

我们采用 BP 网, ARTMAP 网及本文提出的 ARTMAP 网与模糊规则相结合的方法,对复杂背景下提取的灰度图像字符进行训练和识别测试.结果表明, BP 网和 ARTMAP 网的正确识别率大体上相同,本文提出的方法具有较高的正确识别率.实验数据如表 1 所示:

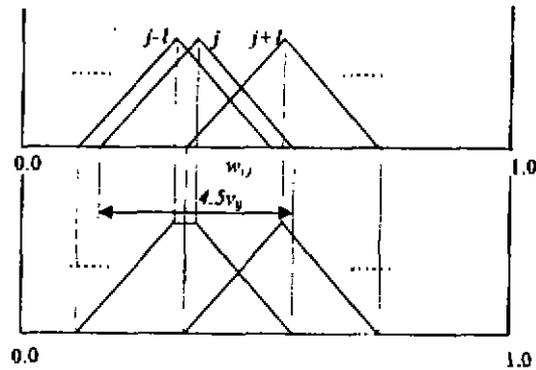


图 3 模糊区域及模糊集的合并
Fig. 3 Fuzzy regions and combination of fuzzy sets

表 1 采用不同网络的训练和测试结果比较
Table 1 Comparison of several neural networks' results

实验方法	训练正确率	需要时间	测试正确率	需要时间
BP 网	98.7%	58.56s	95.8%	17.80s
ARTMAP 网	99%	29.54s	96.1%	16.43s
模糊法	99.9%	32.30s	96.4%	17.23s

表 1 中的实验结果为各种方法的最高识别率,其中 BP 网取 3 层,隐含层取 20 节点,ARTMAP 的选择参数 α 取 1, ART₁ 模块的预警参数 ρ 取 0.5.

3.2 模糊区域范围及合并阈值的讨论

实验中发现每个特征的模糊集范围的不同选择对识别的正确率有较大的影响.当模糊集的范围小于 2 倍样本方差时,模糊规则分类器字符拒识率高达 90%,这是由于各个模糊区域间存在间隙的缘故,当测试样本的灰度特征与训练样本的灰度特征有较大差异时,无法落入训练样本生成的模糊区域中,而当模糊区域的范围取 6 倍类内方差时,由于各个模糊集的相互重叠,使得各特征的隶属度相差很小,而造成识别率降低.实验发现只有当模糊区域的范围取 4.5 倍样本的类内方差时,有最大正确识别率.

不同的合并阈值 thr 对识别的耗时及正确率也有相当的影响.当该阈值取得过小时(小于 0.03),会生成过多的模糊区域而影响识别速度,当该阈值取得过大时(大于 0.08),会使得模糊区域数锐减,影响正确识别率.图 4 为模糊区域范围及合并阈值对识别率的影响.

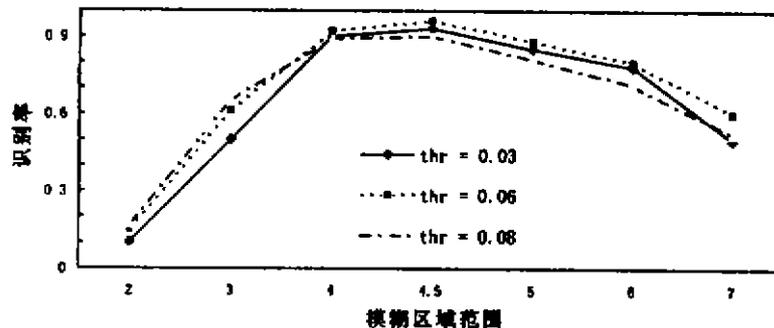


图 4 模糊区域范围及合并阈值对识别率的影响

Fig. 4 The effect of size of fuzzy region and combination threshold on recognition

本文提出的 ARTMAP 与模糊规则相结合的字符识别方法具有网络训练时间少(与 BP 相比);网络权值分布简单, F_2^i 中的每一类与映射场间的权重只有一个是 1,其它均为 0,权重分布 F_2^i 与 F_1^i 各连接权值许多也为 0;对要识别的图像无须进行二值处理,提高了识别时间,且本文提出的方法具有较高的字符识别率.

下一步要做的工作是如何优化模糊规则,如何将人的经验知识加入模糊规则库,以及找到一种行之有效的确定模糊集方法.

REFERENCES

- 1 Richard P. *IEEE ASSP*, 1987, (4): 4~22
- 2 Steven K, Rogers John M. *Neural Networks*, 1995, (8): 1153~1184
- 3 Carpenter G A, Grossberg S, Reynolds J H. *Neural Networks*, 1991, (4): 565~588
- 4 Siy P, Chen C S, *IEEE Trans. on Syst, Man and Cybren*, 1974, 570~574
- 5 Wang L, Mendel J. *Generating Fuzzy Rules by Learning from Examples*, In: *Proceeding of the 1991 IEEE Int. Symp. on Intelligent Control*, Virginia U S A, 1991, 263~268
- 6 Bart Kosko. *Neural Network and Fuzzy System*. Englewood Cliffs Prentice, 1992

CHARACTER RECOGNITION WITH THE COMBINATION OF ARTMAP AND FUZZY RULES*

XU Li-Ya QI Fei-Hu JIANG Jun LIN Cun-Qing

(Department of Computer Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract A method for character recognition was presented, which uses ARTMAP and fuzzy rules. The neural network generates weights, which can be used to determine fuzzy regions. The fuzzy rules recognize most of the test samples and ARTMAP recognizes the rest of characters. The experiment result proves that the combining method has higher ratio for character recognition. ARTMAP is a fast and efficient neural network, which has no local minimum point.

Key words neural network, ARTMAP, fuzzy rule, character recognition.

* The project partly supported by the National Natural Science Foundation of China by the Foundation of Preliminary Research in National Defense
Received 1997-12-22, revised 1998-2-12