

基于 ANFIS 系统的基结构自适应生成

李 昊^{1,2}, 胡云昌², 曹宏铎³

(1. 清华大学电子工程系, 北京 100084; 2. 天津大学建筑工程学院, 天津 300072;
3. 北京大学光华管理学院, 北京 100871)

[摘要] 以形成基结构智能自动生成系统为目标, 以并行自适应神经-模糊推理系统 (ANFIS) 为工具, 建立了具有桁架拓扑结构智能自动生成功能的并行 ANFIS 系统, 并将形态化拓扑结构进行抽象数字提取, 作为系统的输入输出数据, 实质是形成一种桁架结构形态间的映射机制, 以样本所蕴涵的结构构成机理, 推导所要求的基结构形式。最后的计算结果表明, 这里使用的基于 ANFIS 系统的桁架结构智能自动生成方法是有效的, 能够按照用户要求生成合理的桁架基结构拓扑形式。

[关键词] 桁架; ANFIS; 智能; 自适应

[中图分类号] TU17; TU323.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742 (2004) 10-0024-04

桁架是建筑结构的基本形式之一, 在工业厂房、大跨度建筑中经常采用。

在桁架结构拓扑优化问题中, 常遇到拓扑基结构如何建立问题, 在以往的研究中, 这一过程常常凭据经验以人工方法形成, 这样就会造成很多不确定因素。通过对常用桁架结构形式的分析发现, 在常出现的桁架形式中包含了人们在现实应用中积累的经验与认识, 也就是说, 在常用的桁架形式中包含了受力合理、杆件分布构成合理等因素, 这就启发我们可以从现有的桁架形式中探讨所需要的新的桁架拓扑基结构形式^[1]。

这里采用自适应神经-模糊推理系统 (adaptive-network-based fuzzy inference systems, 简称 ANFIS) 进行桁架基结构的智能生成。使用 ANFIS 系统进行桁架基结构智能自动生成, 主要思路是: 首先收集可以代表合理结构形式的现有桁架拓扑形式样本, 将这些样本作为样本数据, 应用模糊神经网络对其进行特征提取, 即网络要进行学习, 然后向系统输入请求, 这时系统就会输出所需要的桁架结构基结构形式。其流程如图 1。简言之, 就是以自适应神经-模糊推理系统为依托, 旨在形

成桁架结构的形态映射机制, 以样本所蕴涵的基结构构成机理推导要求的结构形式。

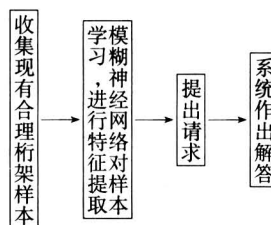


图 1 桁架结构智能自动生成流程图

Fig.1 The flow chart of truss structure intelligently automatically creating

1 自适应神经模糊推理系统

ANFIS 是一类从功能上与模糊推理系统等价的自适应网络, 它表示基于自适应网络的模糊推理系统或语意上等价于自适应神经-模糊推理系统。基本原理如下^[2~9]:

假定所考虑的模糊推理系统有两输入 x 和 y , 单输出 z 。对于一阶 Sugeno 模糊模型, 具有两条模糊 if-then 规则的普通规则集为:

规则 1: 如果 x 是 A_1 , y 是 B_1 , 那么

$$f_1 = p_1x + q_1y + r_1,$$

规则 2: 如果 x 是 A_2 , y 是 B_2 , 那么

$$f_2 = p_2x + q_2y + r_2.$$

图 2 解释了这种 Sugeno 模型的推理机制, 下面做简要说明。这里的同一层节点具有相同的函数。(我们记层 1 的第 i 个节点的输出为 $O_{1,i}$)。

层 1 在这一层的每个节点 i 是一个有结点函数的自适应结点。

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), i = 1, 2, \text{或者}$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), i = 3, 4 \quad (1)$$

这里, x (或 y) 是结点 i 的输入, A (或 B) 是与该结点有关的语言标识 (如“小”或“大”)。换句话说, $O_{1,i}$ 是模糊集 A ($= A_1, A_2, B_1$ 或 B_2) 的隶属度, 并且它确定了给定输入 x (或 y) 满足量 A 的程度。这里 A 的隶属函数, 可以是任意参数化隶属函数, 如一般钟型函数。本层参数称为前提参数。

层 2 在这一层的每一个结点是一个标以 Π 的固定结点。它的输出是所有输入信号的积:

$$O_{2,i} = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), i = 1, 2 \quad (2)$$

每个结点的输出表示一条规则的激励强度。

层 3 在这一层的每个结点是一个标以 N 的固定结点。为方便起见, 本层的输出称为归一化激励强度。第 i 个结点计算第 i 条规则的激励强度与所有规则的激励强度之和的比值:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2 \quad (3)$$

层 4 在这一层的每个结点 i 是一个有结点函数的自适应结点, 式中 \bar{w}_i 是从层 3 传过来的归一化激励强度, $\{p_i, q_i, r_i\}$ 是该结点的参数集。本层的参数称为结论参数。

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), \quad (4)$$

层 5 这一层的单结点是一个标以 Σ 的固定结点, 它计算所有传来信号之和作为总输出:

$$\text{总输出} = O_{5,i} = \sum \bar{w}_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i}. \quad (5)$$

使用混合学习算法辨识 ANFIS 参数。即在前向通道中用最小二乘估计器 (LSE) 辨识结论参数, 在反向通道中用最陡下降法 (SD) 辨识前提

参数。

并行 ANFIS 将单输出 ANFIS 系统的概念扩展到多输出系统。获得多输出的方法是并列放置与所需输出数目相同的 ANFIS 模型。本文使用并行 ANFIS 进行桁架结构拓扑形状的推理, 是由于受计算机计算精度限制所致, 因为采用的输入输出数据是经过一定压缩后得到的, 减小输入输出数据中所蕴涵的信息密度, 可以增加系统的精度和有效性。

2 数据处理

用并行 ANFIS 系统进行基结构自动生成的难点是如何生成适合系统需要的输入输出数据。输入数据代表结构的已知信息, 输出数据代表基结构的拓扑形态。由于 ANFIS 要求输入输出数据必须是一系列十进制数值, 所以要进行相应的处理。需要明确的是, 由于形成的是形态间的映射机制, 所以系统的两端 (输入和输出), 都蕴涵形态特征, 这样的数据处理可以称为桁架结构拓扑形态数字化问题。

关于形态数字化问题在文献[1, 10]中进行了详细讨论, 包括桁架结构拓扑形态数字化信息提取的全过程, 以桁架拓扑结构形态基因的方式表述桁架的拓扑结构, 应用预先布置节点图、桁架特征基因串、基因分片、压缩等方法, 将桁架的拓扑结构表述成一串 0 至 1 之间的小数形式, 能够代表桁架拓扑结构的形态特征, 形成了规范化的 ANFIS 数据输入方法。这里要特别说明的是将桁架节点信息 (即桁架所包含的节点) 作为输入数据 (选型参数), 将桁架拓扑形态基因作为输出数据。在得到输出数据后再进一步将其转化为直观的拓扑形态图形。

3 系统运行

系统运行过程如下: 样本数据处理 → 并行 ANFIS 对样本进行学习 → 对系统给出已知条件, 得到拓扑基结构图。

4 算例

本文采用 18 个常见的桁架作为样本 (表 1), 对应工程中常见的桁架结构形式, 进行特征提取。然后给出 3 个算例的输入信息, 得到了合理的桁架结构形式。

在并行 ANFIS 完成训练后, 对以下例子进行了测试, 经例子验证系统训练的结果是有效的。

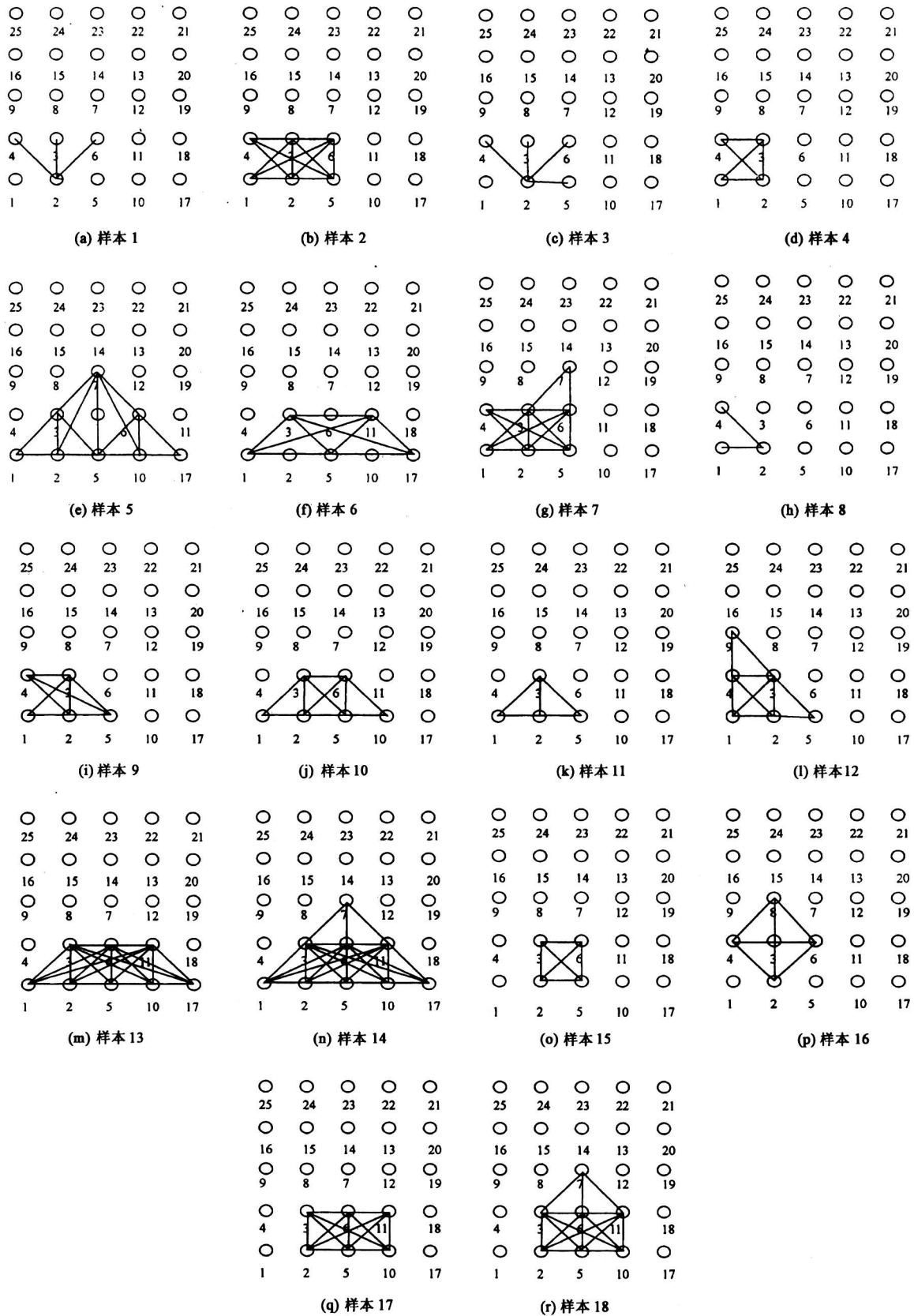


图2 样本及样本节点布置图

Fig.2 The layout chart of sample and its point

表 1 样本输入数据

Table 1 Input data of sample

样本编号	输入数据	样本编号	输入数据
1	0.453123013	10	0.92285159
2	0.984375029	11	0.90625003
3	0.48437501	12	0.970703154
4	0.937500028	13	0.923347501
5	0.915535	14	0.9155335
6	0.65674593	15	0.42187501
7	0.99218753	16	0.457031264
8	0.812500024	17	0.42333986
9	0.96875003	18	0.431152357

例 1: 输入数据 x_1 若 $x_1 = 0.99218753$, 所得结构如图 3 所示, 这实际上就是样本 7 结构。此例说明系统训练具有一定精度, 输入样本的输入数据完全可以得到原来的结构。

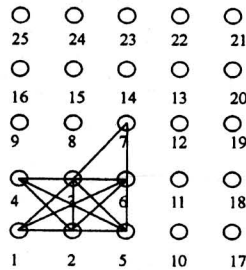


图 3 算例 1

Fig.3 Example 1

例 2: 输入数据 $x_1 = 0.73437502$, 得到的结构如图 4, 此例说明此系统完全有按照用户要求进行拓扑结构创新的能力, 可以按照要求得到新结构。

例 3: 输入数据 $x_1 = 0.48974611$, 得到的结构如图 5 所示, 进一步说明本文所采用的方法具有很好的结构自动产生能力。

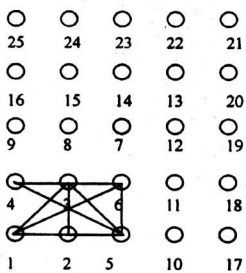


图 4 算例 2

Fig.4 Example 2

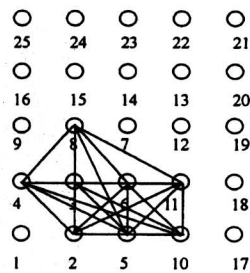


图 5 算例 3

Fig.5 Example 3

需要注意的是, 系统的输入数据蕴涵了结构节点选取的含义, 笔者认为节点的选取属于结构选型范畴, 换个角度说, 就是在确定了结构的选型后, 笔者所用的方法可以给出相应的结构拓扑基结构形式。

5 结论

以并行自适应神经-模糊推理系统 (ANFIS) 为工具, 建立了具有桁架结构智能自动生成功能的并行自适应神经-模糊推理系统, 实质是形成一种桁架结构形态间的映射机制, 以样本所蕴涵的基结构构成机理, 推导所要求的基结构形式。最后的计算结果表明, 基于自适应神经-模糊推理系统的桁架结构智能自动生成的方法是有效的, 能够按照用户要求生成合理的桁架基结构拓扑形式。

参考文献

- [1] 李 昊. 桁架结构智能布局优化系统[D]. 天津: 天津大学, 2001
- [2] 张智星, 孙春在, [日]水谷英二. 神经模糊和软计算[M]. 张平安等译. 西安: 西安交通大学出版社, 1999. 1~201
- [3] [日]寺野寿郎. 模糊系统理论及应用[M]. 刘维仲等译. 天津: 天津大学出版社, 1991. 23~158
- [4] Wang Guangyuan, Wang Wenquan. Fuzzy optimum design of structures[J]. Engineering Optimization, 1985, 8(4): 291~300
- [5] 李士勇. 模糊控制·神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998. 3~201
- [6] 刘增良, 刘有才. 模糊逻辑与神经网络——理论研究与探索[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996. 10~150
- [7] 王士同. 神经模糊系统及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1998. 25~200
- [8] 王士同. 模糊系统、模糊神经网络及应用程序设计[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1998. 2~150
- [9] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 2000. 2~200
- [10] 李 昊, 胡云昌. 桁架结构性态数字化信息提取[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, (1): 101~105

(下转第 44 页)

7 结论

笔者提出并证明基于频域的多变量广义预测控制 (MIMO-GPC) 稳定性的分析方法, 可利用 Nyquist 稳定性判据, 分析基于闭环特征多项式的 MIMO-GPC 的稳定性。仿真表明这些判据形象直观, 可作为 MIMO-GPC 控制器参数设计的重要依据。为多变量预测控制的应用提供了重要的设计方法。

参考文献

- [1] Clarke D W, Mohtadi C. Properties of generalized predictive control [J]. *Automatica*, 1989, 25(2): 859~875
- [2] Zhang W D, Sun Y X, Xu X M. Robust digital controller design: new results [J]. *IEE Pt D*, 1998, 145(2): 159~164
- [3] 高黛陵, 吴 麒. 多变量频率域控制理论 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998
- [4] 孙明玮, 陈增强, 袁著祉. β 增量型广义预测控制 [J]. *控制理论与应用*, 2000, 11(2): 165~16

MIMO-GPC Stability Analysis Based on Frequency Domain

Sun Qinglin, Chen Zengqiang, Yuan Zhuzhi

(Department of Automation, Nankai University, Tianjin 300071, China)

[Abstract] A MIMO-GPC stability theorem based on frequency domain is presented in the paper. The closed-loop feedback structure of MIMO-GPC is proposed. Nyquist array methodology is used to analyze the stability of MIMO-GPC. The parameters of MIMO-GPC can be determined by stability criterion.

[Key words] MIMO-GPC; frequency domain analysis; stability criterion

(cont. from p.27)

Self-adaptive Creating of Truss Ground Structure Based on ANFIS

Li Ying^{1,2}, Hu Yunchang², Cao Hongduo³

(1. Electronic Engineering Department of Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Construction Engineering School of Tianjin University, Tianjin 300072, China;

3. Guanghua Management School of Beijing University, Beijing 100871, China)

[Abstract] The ground structure's intelligent and automatical creating is researched. The ground structures of truss structures are intelligently and automatically created by using collateral ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference Systems). The essentials of this method is to form a mapping between configurations of the trusses existed and those to be found. The ground structure is inferred by the mechanism contained in sample trusses. To produce appropriate data format of ANFIS, the topology configuration of trusses is described as a series of decimal fraction. The simulation shows the efficiency of this system.

[Key words] truss; ANFIS; intelligent; self-adaptive