

## 1. Introduction

非线性系统鉴别(nonlinear system identification)是由输入及输出数据(input-output dataset)来估测(estimate)系统非线性数学模型的方法。在众多系统鉴别的方法中，類神经网路(ANN)常被用于仿真非线性系统之输出与输入之动态关系，其应用在函数逼近(function approximation)的效果相当良好[1-2]，不但具有良好的容错能力(fault-tolerant ability)，也具有很好的推广能力(generalization ability)，但是其学习所得的结果为一黑箱(black-box)，对于使用者缺乏解释能力(ability of explanation)，使得 ANN 在许多领域的应用受到一定程度的限制。相对于 ANN 而言，模糊推论系统(Fuzzy inference system)则是另外一种可应用于系统鉴别的替代方案[3-4]：藉由模糊推论，我们得以将人类的知识与经验转化为让人易理解的模糊法则。然而，使用模糊系统来仿真非线性系统的行为，虽然具有口语化信息(linguistic information)的特色，但是它却缺少准确的定量分析与數值校正的学习能力。

传统的模糊技术得靠专家所提供的专家经验来建立模糊系统，ANN 能够经由训练数据来进行学习和萃取知识的能力便与模糊技术之间产生互补的特性，類神经模糊系统(neuro-fuzzy systems)便是在这样的设计理念下所发展的方法。Jang 在 1993 年将模糊理论与 ANN 两种算法结合，提出 ANFIS 的创新架构[6]。一般而言，ANFIS 是利用 BP 算法与最 LSE method 来调整归属函数(membership function)的参数，使其能充分发挥模式(model)对于系统不确定性(uncertainty)与不精确性(impreciseness)的处理能力，众多的研究文献都显示 ANFIS 对于非线性系统的鉴别具有良好的效果[5-7]。

ANFIS model 的架构设计一般可以区分为结构鉴别(structure identification)和参数鉴别(parameters identification)两个阶段。在结构鉴别的阶段，理论上使用较多的规则数会有助于建构出较为复杂的系统，但同时也会造成计算量的增加。因此，当我们在创建模糊系统时，首先应将具有相似输出的输入空间(input space)归纳出来，并且以适当的模糊集合(fuzzy set)来描述每一个具有相似特性的输入空间，如此便可经由数条模糊规则(fuzzy rules)来建构一个复杂的非线性系统。对于结合分群技术(clustering technique)的 ANFIS 设计方法而言，每一个经由群聚分析(cluster analysis)所得到的群聚中心都可以产生一个模糊区块(fuzzy region)，并且对映到 ANFIS 架构中的一条模糊规则。竞争式学习算法(competitive learning algorithm)本质上就是一种自组织(self-organization)学习的方式，它能够在未经标示的样本群(unlabelled samples)之中寻找某些相似的特征、规则或是关系，然后再将这些有共同特色的样本聚集成同类(same class)。易言之，竞争式学习算法可以自动从训练数据中找出其潜在的类别(class)规则，亦可展现所处理数据之相似性或在高维度空间的分布形态；因此竞争式学习亦很适合应用于 ANFIS 的结构鉴别上。

传统 ANFIS 之参数鉴别是采用 ANN 的学习算法来得到网络的参数的。目前所有的 ANN 设计几乎都是采用架构设计-评估-测试周期(design-evaluate-test cycle)的设计程序；在架构设计时间，必须事先设定网络结构(network structure)、链结拓朴(connection topology)、转移函数(transfer function)或是学习率(learning rate)等参数；评估阶段则对于学习范例进行仿真和评估；最后的测试阶段则使用未经学习的数据来测试。如果所得到的结果不够理想，则须修改原来

的设计架构，也就是重新另一个新的设计周期。如此的设计程序意味着 ANN 的设计者是在一个所有可能的网络组态空间中以随机的方式搜寻最佳的网络组态，这也说明 ANN 的设计可被视为优化的问题(an optimization problem)；因此，也有许多的研究进一步提出结合演化式计算(evolutionary computation)来提升 ANFIS 效能的设计方法[8-10]。

本研究提出一个以竞争式学习为基础的演化式 ANFIS 建模方法(evolutionary ANFIS modeling approach)。首先，我们以竞争式学习法则进行模糊推论系统(FIS)的输入空间切割(input space partitioning)，以便于有效的探勘训练数据之群聚分布状态，并将得到的结果用于实现 ANFIS 之粗略式(Coarse-level)的结构鉴别。完成 ANFIS 的结构鉴别工作后，再藉由结合 PSO 算法和最小平方法(LSE)的复合学习策略(hybrid learning scheme)来微调前件部参数(premise parameters)与学习后件部参数(consequent parameters)，完成 ANFIS model 之参数鉴别工作。