



# 关于模糊系统研究的认识 and 评价以及其它<sup>1)</sup>

王飞跃

(中国科学院自动化所智能控制与系统工程中心 北京 100080)

(E-mail: feiyue.wang@mail.ia.ac.cn)

## A Note on Research in Fuzzy Systems

WANG Fei-Yue

(The Intelligent Control and Systems Engineering Center, Institute of Automation,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

(E-mail: feiyue.wang@mail.ia.ac.cn)

首先,十分感谢孙增圻与胡包刚教授组织的“模糊控制与模糊系统”专刊(见《自动化学报》第27卷第四期).专刊中的许多高水平的文章,加深了近年来自己“还没有年轻过,就已经老了”的感觉.但最引起我兴趣的,还是王立新博士的文章《模糊系统:挑战与机遇并存——十年研究之感悟》<sup>[1]</sup>(以下简称《感悟》).

记得第一次与立新见面,是1992年在图森的IEEE CDC(决策与控制)会议上.那时,我在亚利桑那大学教书,立新也已去伯克利作博士后.或许是因为我的导师Saridis和立新的导师Mendel是好朋友,大家很快就开诚布公地谈了许多对各自研究领域的看法,感到很投机.从那以后,我对研究的许多看法有了改变,但基本点还是一样的.在《感悟》中,我也依稀地感到立新当年的一些观点.

第二次见面是1999年在上海交通大学.我应邀作了一次关于智能控制的学术报告,很高兴与立新在报告时不期而遇.记得当时他就我对智能控制的看法提了他自己的观点,使我隐约地感到我们对学术研究的认识已经有些不同.但通过报告后的进一步交谈,好象大家的基本点还是一致的.

应当说,从技术和方法上,我对《感悟》中的观点是十分认同的.但是,在认识和定位方面,我很难同意《感悟》中所表达的许多观点.所以,在此我想就模糊理论的意义及其定位,以及更广义地,对学术研究和学者评价的认识与理解,谈一下自己的一些不成熟的看法.这样做,一是希望得到更多前辈和学者的指教,二是希望通过这种方式,加强同仁在学术思想方面的交流与沟通.

## 1 模糊研究的个人经历

为了更好地说明自己对模糊理论的认识的形成,先介绍一下本人在模糊系统研究方面

1) 国家杰出科学青年基金(60125310)、中国科学院海外杰出人才引进计划(1999-0359)资助

的经历.

我对模糊研究的最初接触来自于大学时有关北京师范大学汪培庄教授的模糊数学研究的报导. 但那时只是觉得好奇: 没想到居然还有研究“似是而非”的数学. 真正对模糊数学感兴趣, 是 20 世纪 80 年代初作研究生时听了汪先生的一次学术报告之后. 那时, 我在作板壳方面的研究, “薄”板壳与“厚”板壳的理论很不相同, 而力学界对“薄”和“厚”的划分一直没有确切统一的认识. 听了汪先生的报告, 觉得可以用模糊集合来描述薄和厚板壳, 但后来觉得这种应用很肤浅, 最多不过是薄厚板壳理论各自分析结果的一种加权平均而已, 所以这项工作没有继续下去.

真正系统地学习模糊理论, 是 1986 年在伦塞利尔(Rensselaer)工学院(RPI)上《模糊集合和专家系统》课程的时候. 任课老师是 P Bonissone, 他的课讲得很好, 可惜我没有课堂上认真听讲的习惯. Bonissone 是 Zadeh 的早期学生. 当时在 GE 的研究中心工作, 同时在 RPI 兼课, 也是模糊领域的知名学者. 记得选课前, 曾征求导师的意见. 他表示选这种课没有意思, 其对模糊系统的评价: “Garbage in, Garbage out (垃圾进来, 垃圾出去)”, 使我当时觉得心惊. 后来才认识到, 这不过是大家当时对模糊理论的流行戏语. 其实, 早在 1977 年 Saridis 就与 Gupta 和 Gaines 合编了一本模糊自动机和决策理论方面的书<sup>[2]</sup>. 后来我在博士论文中引入了模糊博弈论(Fuzzy Game Theory), 他也没有十分反对.

第一次见到 Zadeh 是 1988 年在 Virginia 开 IEEE 智能控制研讨会时. 见面时, Saridis 说我应向他祝贺模糊计算机的研制成功, 当时我紧张并莫名其妙. 其实就是今天我也不知道什么是“模糊计算机”. 但这次见面, Zadeh 不论是从形貌还是精神上都给我留下了深刻的印象. 他对别人工作的毫无吝啬的赞美, 对自己工作的尖锐评价的平常心态, 都使我至今难忘. 记得每次提起某某对模糊理论的批评时, 他总是以“My good friend”开头. 当时我心里想, 看来 Zadeh 已得东方哲学的中庸之髓, 不但学术研究上是“模糊理论”, 人际关系上也是“难得糊涂”. 多少年后, 仔细读了 Zadeh 的几篇论文并了解他为推动模糊理论的研究和应用所作出的超人般的不懈努力, 使我对他的人格、悟性和学术水平都十分敬佩. 20 世纪 90 年代初我在 Santa Fe 的一个会议上与 Zadeh 又见面时, 曾半开玩笑地问他: “上帝五饼二鱼喂饱了几千人一晚, 不知您的一个模糊集合养活了多少人一辈子?”

真正放开从事模糊理论的研究和应用, 是 1990 年去亚利桑那大学任教之后. 开始是在模糊神经元网络方面, 建立了模糊决策系统与神经网络之间不同层次的一一对应<sup>[3]</sup>, 由此提出了“当地简单, 远程复杂”的基于通讯网络的模糊神经元网控制实施方案, 并在淬取(In Situ Leaching)硫化采铜过程控制、机械手的力传感控制、大型采矿挖掘装载机的自动化以及汽车的自主个性驾驶方面进行了实践. 由于项目合同的限制, 这些方面的多数结果只能在 2004 年之后发表. 在模糊控制的基础上, 自己从 1994 年开始了词计算(computing with words)方面的研究, 并于 1995 年在加州召开的 IEEE 国际《Architecture for Semiotic Modeling and Situation Control in Large Complex Systems》研讨会上, 应邀作了学术报告, 正式提出了语言动力学(Linguistic Dynamic Systems, LDS)的概念<sup>[4,5]</sup>, 并对其计算理论作了框架性的描述. 迄今为止我还是觉得这是自己最好的一次学术讲演. 更使我高兴的是, 当时 Zadeh 也在听众席上. 不久之后, 他发表了关于词计算的重要文章<sup>[6]</sup>. 这也促使我决定把 LDS 作为自己今后在理论研究上的重点.

总之, 我对模糊理论的兴趣是从解析式应用的角度出发, 逐步过渡到在复杂系统中的应

用.基本上,这就是我模糊研究的经历.

## 2 对《感悟》中的一些观点的不同看法

立新十年来在模糊系统研究上的杰出成绩,同行学者有目共睹.但对于他《感悟》中的一些观点,特别是关于模糊理论引起争议的原因,本人有不同的看法.在此提出,与大家商榷.

《感悟》认为引入争议的原因之一是“模糊理论的某些出发点有问题.在一些模糊理论论文的引言中(包括一些经典论文)经常会看到这样的话语:传统理论的要求太精细了,越来越难以解决日益复杂的实际问题,所以需要一种‘模糊’理论.言下之意,在这里严格的证明、推导与验证是不需要的,模糊模糊就行了.”因为没给出具体的文献,所以也无法具体地讨论.但我觉得这实际上是根本性的误解.

理解这一点,首先必须了解正是对复杂系统的兴趣诱发了 Zadeh 提出了模糊集合的概念<sup>[7]</sup>.20 世纪 50 年代,Zadeh 是系统理论(差不多就是今天的线性系统理论)的先驱,是精确性的信仰者和执行者.Zadeh 自称是他本人引入了“System Theory”一词<sup>[8]</sup>(不同于匈牙利生物学家 Bertalanffy 更早时提出的“Systems Theory”).但他与 Desoer 完成其关于线性理论的经典专著<sup>[9]</sup>后,就意识到“许多系统的本性使它们的精确描述不可能(Many systems defy exact description by their very nature)”.这使他感到很困惑<sup>[8]</sup>.到了 1962 年,针对如何处理象生物系统这类复杂系统时,他写道“我们需要从根本上不同的数学,是关于不能用概率分布描述的模糊或不清楚量的数学(We need a radically different kind of mathematics, the mathematics of fuzzy or cloudy quantities which are not describable in terms of probability distributions)”<sup>[7]</sup>.这或许是模糊概念的第一次提出.可见,复杂系统的问题是 Zadeh 在 1965 年正式提出“模糊集合”之前的“模糊”动机.

而且,作为精确描述的信仰者和实践者,Zadeh 十分清楚要对复杂系统或现象进行有意义的描述,就必须放松对传统意义下的“精度”要求,正如他后来所说的“随着一个系统的复杂性的增加,我们不断丧失对其行为进行精确而有意义的描述的能力,最后达到一个界限,过了这个界限,精度和意义(或相关性)几乎变成相互排斥的特性.”在此基础上,Zadeh 进一步提出了“不相容原理(Law of Incompatibility):随着复杂性的增加,精确的陈述失去意义而有意义的陈述失去精度(As complexity rises, precision statements lose meaning and meaningful statements lose precision)”<sup>[10]</sup>.其实,在哲学上,这同古代希腊哲学家 Aristotle 的“内涵越多,外延越小,内涵越少,外延越大”,和近代哲学家 A C Benjamin 的“简单概念易于明确,复杂概念趋于含糊”<sup>[11]</sup>如出一辙.在科学和工程上,也与物理学家 Heisenberg 的测不准原理和 G N Saridis 针对智能控制系统设计提出的“精确增加,智能减少(IPDI)”原理一致<sup>[12]</sup>.总之,对于模糊理论真正应该解决的复杂系统问题,不是“严格的证明、推导与验证是不需要了,模糊模糊就行了”那么简单.

就是写小说也要严谨,何况是科技论文.问题是不能将一般传统系统的“严格证明、推导与验证”照搬到复杂系统中去.复杂系统的框架体系是什么,解决方案是什么,现在还不清楚,至少本人不了解.但有一点很明确,模糊系统的主流应该是用来解决复杂系统问题,而不是传统的经典方法能够解决的问题,这是模糊理论出现的原因,也应该是它存在下去的理由.在此意义下,本人认为应允许缺乏传统意义下的“严格证明,推导与验证”的尝试,不过这

类工作本身必须是严肃和真实的努力。

其实,就是经典二元逻辑的奠基人 Aristotle 也认为“象对所有制作那样对所有的推理要求同样程度的精确性是错误的(it would be wrong to expect the same degree of accuracy in all reasonings as in all manufactures)”。在许多情况下,“我们必须满足于粗略地、大体地表明真理(we must be content to indicate the truth roughly and in outline)。”Aristotle 曾说过,过度地要求精度会导致错误(本人注:可能是指目标的偏移或过分的代价),“一个受过教育的人对一个问题的精度期望应与问题的性质相匹配(an educated person will expect accuracy in each subject only so far as the nature of the topics allows)”<sup>[13]</sup>。

《感悟》认为模糊系统“缺少完整的理论体系来保证系统的稳定性和收敛性等基本要求”是引起争论的第二个原因之一。而且,基于这个原因对模糊的批评越来越少,因为“模糊系统的理论支柱已基本建立”,而“我们的任务是不断地完善它”。

不能否认,近十多年来在模糊控制方面的一些解析成果,包括专刊中的许多结果,特别是模糊 PID 方面的结果,使得模糊控制不再是一种只能基于经验的简单控制。用 Zadeh 自己的话说,这是他本人当初也没能预料到的,也是模糊系统今天如此 Popular 的主要原因之一。但是,这不能否定学者们对精度和复杂系统的认识。因为,模糊控制解决的问题并不是非其不可,传统的控制方法也可以;更重要的是,模糊系统目前的成果几乎根本没有涉及到复杂系统的分析。因此,只是根据模糊控制和一些逼近方面的解析结果就认为“模糊系统的理论支柱已基本建立”,似乎为时过早,有些张冠李戴的感觉。以关于非复杂系统的结果,否定对复杂系统研究的认识,混淆了主体。当然,解析模糊控制理论本身是十分重要和有用的,只是本人认为这方面的工作不应成为模糊系统研究的主流。

而且,如果在模糊系统研究中过分地要求传统意义下的解析化、数学化、甚至形式化,会阻碍以至扼杀这一领域的活力,特别是在目前连体系结构都不清楚的情况下。Zadeh 本人就亲口对我说过他认为有关模糊系统稳定性的解析定义和研究是没有多大意思的(对此我是反对的)。套用爱因斯坦的一句话:一旦模糊系统的理论能够解决复杂系统的问题,它一定不是“解析”的;一旦它是“解析”的,它就不能解决复杂系统的问题(原文是:“As far as the laws of mathematics refer to reality, they are not certain, and as far as they are certain, they do not refer to reality”<sup>[14]</sup>)。

对于模糊研究论文质量问题,正如《感悟》一文所说的,应以发展和动态的眼光去看,应鼓励更多的人了解并加入模糊理论的应用和研究,特别是鼓励在传统方法上很有建树的学者参加,以产生群体或“Arago”效应。在目前的研究阶段,不应以某一种风格或标准为主导,阻碍其它方式的学术上的努力。

最后,我也非常赞同将模糊控制与其它传统及新兴理论融为一体,“加强合作,避免对抗”的观点。将模糊系统用于传统领域,目的首先是提供更好更方便的解决问题的方法,其次是验证和说明模糊系统的合法性和有效性。但是,解决复杂系统的问题仍应当是模糊系统研究的主流和使命所在。

### 3 模糊理论的意义及其定位

如果说模糊逻辑在东方受欢迎有其文化和思想上的背景,那么它开始时在西方受排挤

也有其传统和意识上的原因. 而且, 模糊逻辑的价值到底在哪里, 它的用武之地到底在何处? 这里我想谈一点个人的认识和看法.

### 3.1 Fuzzy 名字的翻译问题: 模糊还是糊涂

Fuzzy 一词中文翻译成“模糊”, 应当是十分贴切和高明的, 但这也一定程度上掩饰了为什么 Fuzzy 逻辑在西方遇到了很大阻力的原因. 其实, 对许多西方人来说, Fuzzy 似乎更多地是意味着“糊涂”, 而不是“模糊”. 研究“糊涂”逻辑, 或者是探讨“糊涂”系统, 自然是不太好的. 美国国防部的 J Dockery 就讲过: “对于大多数的工程师和决策者而言, Fuzziness 不是一个好的东西. 那是孩子或 bears 的术语. 如果一个指挥员说他的参谋中有一个 Fuzzy 思考者, 他的前途也就完蛋了”<sup>[8]</sup>.

写这篇短文时, 我正在旧金山参加 2001 年 IEEE 智能交通系统大会, 我问过参加会议的日本人 Fukuda 和 Hideki 关于 Fuzzy 的日文翻译问题. 他们说 Fuzzy 的日本翻译应为“aimai”, 含有许多“糊涂”的成份. 但现在一般通用“faaji”, 它除了在日本文中代表 Fuzzy 外, 没有其它的意思. 据 Hideki 说, 日本最初的 Fuzzy 产品用 aimai 一词时, 用户基本上没有太多的反应, 后来改为 faayi, 结果销量大增, 以致在今天的日文中, Faaji 几乎成了“灵智”的同义词, 成为避开专利, 推销产品的手段或花招.

### 3.2 模糊逻辑和二元逻辑: 心理和精神因素

从纯逻辑的角度, 模糊逻辑与经典二元逻辑的关系是十分明晰的. 由于引入真实度的概念, 真值可以在 0 到 1 之间任意取值, 从而使经典逻辑的两块基石矛盾律和排中律不再成立. 从这个意义上看, 模糊逻辑更恰当的名字应是“连续”逻辑. 实际上, 针对“含糊性”(Vagueness) 的研究, 美国近代哲学和科学家 C S Peirce 在百年前就提出了类似的概念. Peirce 认为基于真假的二元逻辑根本无法刻画真实的世界, 必须采用连续的方法. 而且, Peirce 还进一步相信, 所有存在都是连续的(本人注: 这与量子论矛盾), 连续性主导人类的知识<sup>[15]</sup>.

一定意义下, 二元逻辑可看作是模糊逻辑的近似, 而模糊逻辑又是对真实的逼近. 两种逻辑本身都还有许多问题. 然而, 什么是真实或真理? 更具体讲, 为什么关于模糊性的讨论中会有这么多的悖论, 我认为这里是一个有限对于无限的问题, 也就是人类的有限的经验和认识与自然的无限的存在和发展的矛盾. 所以, 无论是对经典还是模糊逻辑, 都不应把它们绝对或神圣化. 正如 A N Whitehead 所说: There are no whole truths; all truths are half-truths. It is trying to treat them as whole truths that plays the devil.

事实上, 模糊逻辑最初在西方学者中引起反感或反对的最大原因似乎不是逻辑上的, 而是心理和精神上的. 这可以从对 J Lukasiewicz 的多值逻辑的态度和以 R E Kalman 和 W Kahan 等对模糊逻辑的评论就可以看出. 作为 Zadeh 的前学生和卡尔曼滤波器的发明人, Kalman 认为“模糊化是一种科学上的悲观主义, 它有导致与硬科学和耐心观察不相容的、在社会上具有鼓惑性的口号的倾向. 我必须承认我不能想象模糊化会成为科学方法的一个可行选择.”, 并指责 Zadeh 是哗众取宠, 想入非非(indulging in wishful thinking)<sup>[16]</sup>. 人工智能的权威, 斯坦福大学的 N J Nilsson 甚至在 1989 年还称模糊逻辑是“temporary idiosyncrasy (暂时的癖好?)”<sup>[17]</sup>. 对于多数学者, 模糊逻辑太简单, 太实用, 智力上不够挑战. 他们担心模糊逻辑的兴起与科学上对精确化的追求精神不符合, 为悲观主义者, 不求甚解者, 甚至无知者, 提供一个借口, 使其科学化合法化, 凡事“模糊模糊就行了.”我想这也是为什么

Zadeh 的伯克利同事 Kahan 声称模糊逻辑是“科学的可卡因(the cocaine of science)”, 它会使科学工作者从思索和追求的“痛苦”中解脱出来<sup>[8]</sup>.

担心毕竟只是担心, 专刊上的文章已足以说明这些担心是多余的. 反过来 Kahan 似乎该担心基于模糊理论研究的思考和分析现在是不是太“痛苦”了.

### 3.3 模糊系统研究和应用的定位问题: 一般系统与复杂系统

Zadeh 最初是因为对复杂系统的研究而提出模糊逻辑的概念. 但是目前模糊理论在复杂系统中的应用还十分有限, 并且多数工作都是描述或表示性的, 很少有深入的分析性的结果. 当然, 这里很大的一个因素是复杂系统本身定位的不明确.

有人曾用库恩(Thomas Kuhn)的范例转移(Paradigm Shift)的概念来强调模糊逻辑出现的意义<sup>[18]</sup>. 但我认为, 从经典逻辑到模糊逻辑的“转移”, 必须伴随着一个应用层次从低到高的转移, 而不能停留在同一个应用层次. 这个层次的转移, 就是从简单系统到复杂系统的转移. 这就象从牛顿力学到爱因斯坦相对论力学的“转移”一样, 其意义只能通过相应地从低速到高速, 或从弱引力到强引力的“转移”来体现.

实际上, 虽然 Mamdani 和 Assilian 的第一个模糊控制系统是一个关于小锅炉的控制问题, 但后来紧接的几个应用都是关于较大的复杂系统, 如烧窑系统的控制和操作、废水处理、地铁系统、直升飞机等. 希望这个方向的工作能够加强, 并从单纯应用上升到较高的理论分析水平.

## 4 后 记

孔子说过:“三十而立, 四十而不惑, 五十而知天命.”这话显然不符合模糊原理. 但“而立”、“不惑”、“天命”却都是货真价实的模糊术语. 我三十岁的时候, 好像真的有一种而立的感觉, 可现在眼见就跨入四十的门槛, 不但没有不惑的感觉, 反而对许多原来清楚的事越来越糊涂, 学究地讲就是“模糊”. 《感悟》引起我对研究的领域和方向、学者的成绩和评价、真理的认识和意义的许多感想. 只是这里不是发挥的地方. 不过, 我真心希望更多的学者能用自然的语言来谈一下他们对研究的一些思想性的看法, 模糊一点非正式一点也可以, 相信有时这比充满数学方程的文章对研究更有促进, 以便使学术研究能够保持持续地繁荣昌盛.

## 参 考 文 献

- 1 王立新. 模糊系统: 挑战与机遇并存——十年研究之感悟. 自动化学报, 2001, 27(4): 585~590
- 2 Gupta M M, Saridis G N, Gaines B R. Fuzzy Automata and Decision Processes. New York: North-Holland, 1977
- 3 Wang Fei-Yue, Kim Hung-Man. Implementing adaptive fuzzy logic controllers with neural networks: A design paradigm. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 1995, 3(2): 165~180
- 4 Wang Fei-Yue. Modeling, analysis and synthesis of linguistic dynamic systems: A computational theory. In: Proc IEEE International Workshop on Architecture for Semiotic Modeling and Situation Control in Large Complex Systems, Monterey, CA, 1995. 173~178
- 5 王飞跃. 词计算和语言动力学系统的计算理论框架. 模式识别与人工智能, 2001, 14(4): 377~384
- 6 Zadeh L A. Fuzzy logic=Computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1996, 4(2): 103~111
- 7 Zadeh L A. From circuit theory to system theory. In: Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 1962, 50: 856~865
- 8 McNeill D, Freiburger P. Fuzzy Logic, Simon & Schuster. New York: N. Y., 1993

- 9 Zadeh LA, Desoer C A. Linear System Theory—The State Space Approach. New York; McGraw-Hill Book Co. , 1963
- 10 Zadeh LA. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, 1973, **3**(1):28~44
- 11 Benjamin A C. Science and vagueness. *Philosophy of Science*, 1939, 6: 422~431
- 12 Saridis G N. Analytic formulation of the principle of increasing precision with decreasing intelligence for intelligent machines. *Automatica*, 1989, **25**(3):461~467
- 13 Aristotle. The Nicomachean Ethics. Trans. by J. E. C. Welldon. London; Macmillan, 1892
- 14 Max Black. Vagueness; An Exercise in Logical Analysis. *Philosophy of Science*, 1937,4: 427~455
- 15 Beverley Kent, Charles S. Peirce: Logic and the Classification of the Sciences. Kingston & Montreal; McGill-Queen's University Press, 1987
- 16 Zadeh L A. The Birth and Evolution of Fuzzy Logic, speech presented on acceptance of the 1989 Honda Prize, 1989
- 17 Nilsson N J. On Logical Foundations of Artificial Intelligence: A Response to the Reviews by S. Smoliar and J. Sowa, *Artificial Intelligence*, 1989, **38**(1):132~133
- 18 Thomas Kuhn. The Structure of Scientific Revolutions. Chicago; University of Chicago Press, 1962

**王飞跃** 1990年于美国伦塞利尔理工学院获计算机与系统工程博士学位. 1990年起在美国亚利桑那大学先后任副教授、副教授和正教授. 1999年作为中国科学院和国家计划委员会引入海外杰出人才之一, 在中国科学院自动化研究所智能控制和系统工程中心至今. 现为英文《Intelligent Control and Intelligent Automation》丛书主编, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Part B) 等杂志编委. 主要研究领域为智能系统和复杂系统的建模方法以及控制机制. 曾任1997年 IEEE Intelligent Control 会议 Program Chair, 2001年 IEEE Systems, Man, and Systems 大会 Program Chair, 将任2003年 IEEE Intelligent Transportation Systems 国际大会 General Chair 和2004年 IEEE Intelligent Vehicles 会议 Co-Program Chair.