



系统耗散自组织理论应用层延拓 —— 多活性代理方法应用实例分析

王越¹, 马成¹, 贾丽娟^{1*}, 李炳照²

1. 北京理工大学信息与电子学院, 北京 100081

2. 北京理工大学数学与统计学院, 北京 100081

* 通信作者. E-mail: jlj@bit.edu.cn

收稿日期: 2019-05-30; 修回日期: 2019-08-08; 接受日期: 2019-09-16; 网络出版日期: 2019-12-16

国家自然科学基金 (批准号: 61421001) 资助项目

摘要 本文由人类社会总是由低级到高级进化的“自组织”机理论起, 讨论了在现实开放复杂巨系统环境下, 系统“自组织”与“他组织”的辩证关系及人类主导社会发展核心因素群表达. 并由若干实例说明在时空域复杂强约束对抗环境中, 系统本身“自组织”机理机能难以完成对系统服务功能的质变性动态调整要求, 表明系统“自组织”实践应用具有局限性, 从而引出了耗散自组织理论拓展——“多活性代理”理论方法. 即以实践领域高水平专家主导, 以“他组织”模式结合运用多活性代理理论方法, 主导信息系统服务功能在复杂严峻对抗环境中动态调整适应需求. 为了进一步探讨并支持实践应用, 我团队撰写了系列文章, 本文主要介绍理论概述、构造核心思路以及扼要分析系统构建、架构调整、单代理调整和增强管控代理能力 4 种应用模式. 本专刊其他两篇文章“基于多活性代理的高性能人工系统总体设计方法研究”和“基于多活性代理的人工系统架构调整方法”结合实例分别选择一种应用模式进行展开, 通过定性分析结合定量建模, 对应用模式加以验证说明.

关键词 复杂系统, 多活性代理理论, 耗散自组织理论

1 引言 —— 由人类社会进化公理论起

人类社会总是不断由简单向复杂、由低级向高级发展进化不可逆转, 这是人类认识社会发展的基础性公理. 在这之中, 社会是人的社会, 人为万物之灵主导社会发展, 加之人类趋利避害的本能进化思维可进一步推理: 人类必然要尽力研究、认识社会进步进化的基本规律, 用以推动社会的发展和人类生活的改善. 在现代, 尤其是 20 世纪科技进步推动社会快速发展以来, 系统理论建立并逐步发展, 普里戈金 (Prigogine) [1] 建立“耗散结构”理论和概念的同时建立了“自组织” (self-organization) 概念.

引用格式: 王越, 马成, 贾丽娟, 等. 系统耗散自组织理论应用层延拓 —— 多活性代理方法应用实例分析. 中国科学: 信息科学, 2019, 49: 1535–1544, doi: 10.1360/SSI-2019-0109
Wang Y, Ma C, Jia L J, et al. Application layer extension of system dissipative self-organization theory—example analysis of multi-living agent method (in Chinese). Sci Sin Inform, 2019, 49: 1535–1544, doi: 10.1360/SSI-2019-0109

“协同学”创始人哈肯 (Haken)^[2] 给出了“自组织”的定义: 如果一个体系在获得空间的、时间的或功能的结构过程中, 没有外界的特定干涉, 我们便说该体系是自组织的, 此定义已经被自组织科学共同体所公认。“特定”一词是指某种结构或功能并非外界强加给体系的, 而是以非特定的方式作用于体系的, 同时指明自组织过程绝非封闭。“组织”这个词语, 内涵概念有名词性作用, 是指某事物 (系统) 有序存在方式, 即其内部按一定结构和功能关系构成的存在方式。当用作动词时, 是指事物 (系统) 朝向空间、时间或功能上有序结构的演化过程。中文在字面上不能直接区分, 只能依上下文对照进行区分, 英文中 organization 表名词性, organizing 表动词性。演化过程可指组织层次上的演化, 也可指同一层次、水平服务性的上升变化。

在现实社会已发展成为开放复杂巨系统^[3]的现实条件下, 研究人类主导的人类社会持续发展进化, 需把人类及社会作为组成整体。社会是人的社会, 人是社会的人, 二者对立统一构成整体。在这个整体中, “自组织”进化发展模式是其核心模式, “自组织”科学经普里戈金、哈肯、詹奇 (Erich Jantsch) 等一批杰出科学家经多年努力研究, 已建立起了耗散自组织系统理论方法学科群, 由下列 6 种专门理论组成。耗散结构理论: 该理论是“自组织”系统所需条件集理论。协同学理论: 该理论是耗散“自组织”系统动力学理论, 是研究讨论系统如何保持“自组织”活力的重要方法, 涉及重要概念和原理。此外还有突变理论、超循环理论、分形理论和混沌理论。这些理论来自客观存在复杂运动的复杂表象, 经科学家提炼出理论框架, 大多涉及各种非线性特性, 想要通过定性与定量相结合的方法分析掌握其完整运动机理、机能, 在近期乃至未来仍然是一项艰难的任务。人类掌握尚且如此困难, 那么对于没有生命特征的人工系统而言, “自组织”应用最可能的远景是在人主导的人工智能结合上。人类主导人类社会发展进化的本性、本能已不断创造并实现, “他组织”模式也可有效应对各种负面突变, 进行系统的正常演化。

2 “自组织”与“他组织”辩证关系

2.1 “自组织”与“他组织”模式选用原理

人类社会和大自然在不停的运动中都可归纳为“系统运动”, 依据系统理论中“大小宇宙共同进化适者生存”的公理, 总是向复杂、高级方向发展。因此“复杂性”问题的研究、认识是一个普适性的核心问题, 也是人类长期努力奋斗想要掌握的重要问题。“自组织”理论方法学科群的内涵核心是研究掌握复杂性规律的演化发展, 而人主导的强时空约束前提下的重要复杂人工系统生存演化问题的核心, 同样是为了认识和掌握复杂性运动的机理规律。因此“自组织”理论方法学科群对人类掌握学习复杂性运动有普适性意义。而事物 (系统) “自组织”或“他组织”生存演化方式的选择, 需根据实际环境条件而定。当在强时空约束条件下, 针对人工系统化解严重对抗性矛盾场合, 多需人主动选择嵌入系统主导的“他组织”模式, 同时对主导的机理、方法和效能进行不断的研究提升, 以适应人类在复杂高级的进化中克服矛盾持续发挥作用。下面就“自组织”演化模式与“他组织”演化模式两者选用原理进行举例说明。

2.2 “他组织”演化实例介绍导引

在一些情况下, 我们需要把人和系统分开而论, 这是由于人脑在其起源上便有着其“聪悟”特性, 并且有着创造和学习的能力, 而人能够运用大脑的能力进行“自组织”系统的创造。结合“自组织”概念, 由人嵌入“自组织”系统所构成的“他组织”系统往往能够解决一些强约束环境下的复杂性问题。例如, 当人突发重大急病时主要科学模式是医生及医院的急症, 含抢救的“他组织”模式。又如我国重

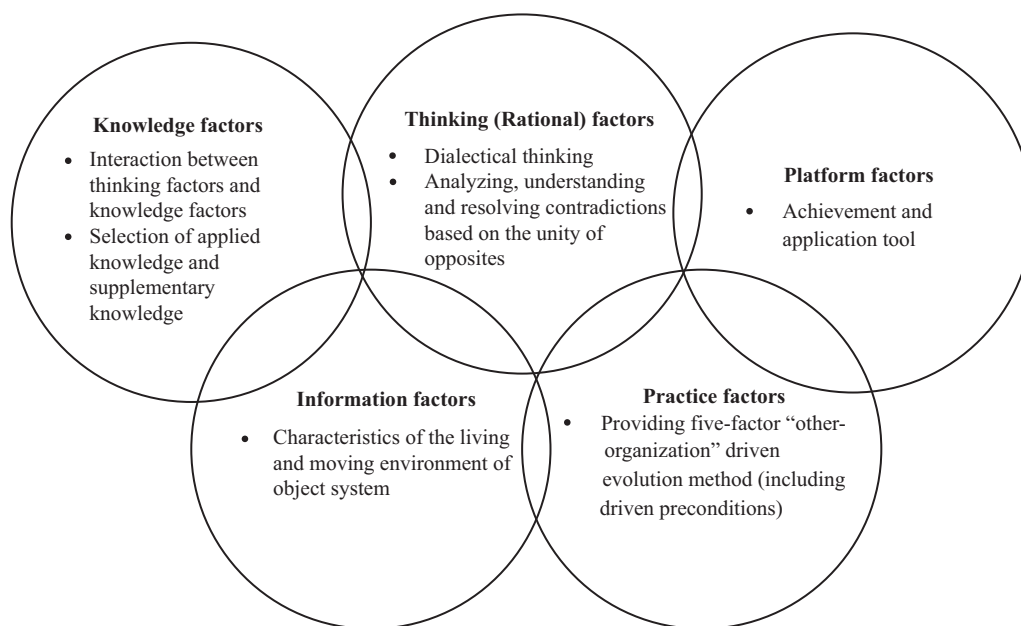


图 1 五因素综合“他组织”驱动演化模式示意图

Figure 1 Five-factor comprehensive “other-organization” driven evolution model diagram

大航天任务执行过程中发生的实例。我国主力远程运载火箭长征系列在执行任务期间,火箭已处于直立发射台面临近发射的关键时刻,现场技术人员发现火箭内液氧燃料在常温环境存在疑似泄漏情况。这是重大险情前兆,任务面临紧急撤销,现场人员准备紧急疏散。在此紧急情况下,我国两位航天科技权威专家任新民院士和屠守锷院士亲临发射台现场对长征运载火箭现场分析判断,作出“不影响正确完成任务执行,准时发射”的科学果断的正确应急判断,使航天任务顺利完成。

“他组织”成功完成任务的例子还有:美阿波罗 13 号宇宙飞船,在深空登月过程中突发事故。由于一个 27 伏直流电开关工作时突然打火花而引燃了飞船氧气存储设备,致使飞船大部分氧气丧失,“自组织”机能失效,无法完成登月计划。应急措施是:紧急召集后备乘组全体进入模拟运行仓,在仿真运行系统支持下对阿波罗 13 号宇宙飞船现时运行状态进行模拟,将登月飞船改为航天员乘组返回地球的救生船,安全返回地球。首创了在复杂极端深空且高速运动环境中,以专家主导嵌入系统的方式实现了复杂人工系统运行中发生严重对抗性矛盾,及时更改建立新型重要任务,并成功达成系统目的的壮举,在宇航史中具有重要意义!另一个人主导设计人工系统,在社会发展演化中持久生存发挥作用的范例是战国时期李冰父子设计建立的都江堰工程。该工程设计运行后即符合岷江地理水文规律和气象规律,历经两千年仍能发挥灌溉作用,是一个“他组织”人工系统成功生存运行范例。

2.3 现实社会人类主导社会发展核心因素群表达

人为万物之灵,依靠脑思维主导认识、实践能力引领社会发展进化。人类虽经亿万年漫长进化过程,但脑科学家一致认为人类脑智力水平(聪悟天赋水平)已经达到较高级水平且为稳定状态,即上溯后延二千年都无明显发展变化。在此情况下,人类社会如何在思维能力的主导下,不断由高级复杂往更高级复杂发展进化?人类学家及脑科学家已研究提出一个有效可持续发展核心因素群合力支持引导,即在思维(理性)因素、知识因素、信息因素、实践因素、平台因素的共同相互作用下,实现人类社会进化发展,这也是“他组织”所应遵循的根本性原理。其驱动演化模式表达如图 1 所示。

3 多活性代理方法理论简述及系统构建思路

3.1 多活性代理方法简介

在复杂严峻的系统运行环境中, 动态任务要求、严峻工作约束、高水平服务功能要求、激烈对抗性矛盾等因素冲击叠加性影响, 常常导致系统功能负向突变失效. 受到强时空域约束条件的制约, 寄希望于系统“自组织”来恢复系统功能往往是不现实的, 因此需要采取人主导的“他组织”方式进行恢复. 多活性代理方法^[4]就是达上述目的的一种方法. 理论以系统“活性”发挥保持为核心, 通过系统功能的分解和集成, 科学建立矛盾对立统一模型解决复杂系统问题. 理论包括系统功能模型及代理间协调协商和基于 Swarm 群体概念的系统多活性代理活性机理建模^[5], 利用活性代理功能定量分析表征活性度以及活性代理、多活性代理系统功能“活性”调整保持^[6]等, 并在分布式入侵检测系统构建^[7]和航天测控网体系架构构建^[8]等方向有了指导应用.

3.2 构建多活性代理方法实效应用核心思路

3.2.1 明确服务生存为系统存在第一前提 —— “活性”概念引入

以处复杂严峻运行环境下, 确保人工系统服务功能正常运行并获取实效为发展、设计、使用该系统的第一要求目标, 体现“活性”的存在. 基本思路是在人思维理性主导下, 在直接运作层以五因素综合“他组织”驱动演化模式下, 结合维纳“控制论”提出的应用反馈概念, 将多活性代理系统各分、子代理动态运行信息与任务执行信息对比, 发生功能偏差时则启动反馈调整功能纠正偏差, 从而实现系统功能的活性保持.

这里要对“活性”作一解释, “活性”意为保持发挥规定服务功能的能力, 用“活性度”即完成规定任务功能可能性 $F(Q, T | R_{\text{前提}})$ 定量表征^[6]. 其中 $R_{\text{前提}}$ 为系统功能实现的前提条件, Q 为系统完成精确性指标集, T 为系统完成敏捷性指标集.

3.2.2 复杂系统通用架构组成模式

按处理复杂(系统)问题的科学方法惯例, 将复杂系统结构分解为多个承担完成分工任务的分系统, 再综合集成各分系统及各分功能, 构成完成复杂系统预定任务的系统架构, 同时需要将“活性”概念机能分别嵌入, 形成多活性代理分系统、子系统, 并最终集成为多活性代理系统整体构架, 明确地承担重要人工系统上述“系统第一要求目标”.

3.2.3 系统中对抗矛盾反向作用机理及其反制机理总览

系统服务功能的运行, 实际上就是系统与服务对象服务关系相互作用存在, 是一种“事物”的存在, 故其必有决定“存在”的数量和质量界限. 因此造成系统服务功能变异丧失(“活性”丧失), 是破坏此界限的机理总览. 因此就应以“反其道行之, 相反相成”的反向作用原理, 依照“矛盾对立统一”的基本概念、原理, 在上文所述五因素综合驱动模式的支持下, 找出对抗矛盾的具体作用机理, 并消除其在服务系统机理、机能中发挥的反向作用, 即系统服务功能活性调整保持的过程, 它的实施总体上是相关责任科技专家主导的“他组织”演化. 在这里强调: 思维中辩证思维方式结合系统服务环境特征评定, 并依据矛盾对立统一律指明矛盾对立面间必存在的对立统一关系结合对抗矛盾集作用, 建立定性定量相结合系统动态运行模型, 依此模型通过调整双方对立面存在, 前提条件集达到代表对抗矛盾之对立面, 在对立面间的对立统一关系运行中, 由占“主导主要地位”降落到“被动次要地位”表征化

表 1 人工系统可裁剪指标体系
Table 1 Scalable index system for artificial system

Performance dimension	Economic cost dimension	Application survival time dimension	Development space dimension
Performance fractional dimension	Development cost fractional dimension	Association performance fractional dimension	Principles of complex social development and evolution
Operational performance fractional dimension	Manufacturing cost fractional dimension	Association social environment fractional dimension	Coevolutionary survival of the fittest
Antagonistic performance fractional dimension	Using cost fractional dimension	Association competitive survival time fractional dimension	Reserved development space

解了對抗矛盾的對抗性負面作用机理、机能. 結合實踐挖掘、建模、定性和定量相結合等方法轉換化解矛盾, 其中驅動演化是實踐核心, 演化發展即化解重要矛盾前進, 後文將結合實例進一步說明.

4 多活性代理方法理論應用簡述

多活性代理理論在多年的實踐與發展中, 總結歸納出理論層向應用層的延伸拓展, 即多活性代理理論應用模式方法. 為便於理解 and 應用, 下面通過實例對理論應用模式方法作以解釋和分析.

4.1 模式 1: 多活性代理方法用於重要新型人工系統研發構建

具有先進服務功能的重要人工系統, 大多處在複雜嚴峻的環境中運行, 其中包括了任務性質動態變化、對抗性負向挑戰的應對以及持續穩定服務要求等. 在此類系統的研發設計中, 須加強總體思維, 緊抓全局性、系統性重點服務功能穩定落實及對應主要矛盾的深入分析及化解措施. 工作模式應首先採取自“頂(層)”向“下(較低具體事物層)”進行, 策劃總體方案構架, 即對應多活性代理系統構成系統架構, 後繼分解任務為多個活性代理(內含分、子代理), 隨後需進行由“下”往“上”的綜合集成性反思反饋. 含義為在時空域強約束前提下, 多活性代理系統完成服務功能的可能性概率表征“活性度”, 由多活性代理系統服務精確度、準確度因素 Q , 及服務完成時間敏捷度 T , 同前提條件 $R_{前提}$ 組成. 總體性研發中, 應採用系統(任務)活性度 $F(Q, T | R_{前提})$ 作為系統架構及服務功能設計等重要事項選定決策的準則依據.

系統服務功能研發選定中, 要求系統服務功能具有魯棒性以自動應對環境急速變化. 在這種情況下, 多活性代理系統分(子)代理及採用技術的選用應針對事物皆有優缺點的對立矛盾性質, 利用系統服務功能特徵, 抑止分(子)代理中內含負向特徵發生作用, 等價於充分發揮正向作用. 研發過程中同步建立表征多活性代理系統的動態服務過程, 內含矛盾對立統一的動力學模型, 用以定性和定量分析決策系統架構及服務性能指標的確定. 系統架構內應包括功能可調節環節(含軟件驅動技術調整).

同時為滿足系統服務功能, 應遵循內含多分、子維度的多維度人工系統可裁剪指標體系^[9], 如表 1 所示.

需分析掌握指標體系具體指標間不相容矛盾, 正確認識處理. 同時結合指標體系, 對多活性代理系統架構組成、功能集成進行定性定量相結合建模分析, 在全面滿足指標體系前提下確定多活性代理系統總體方案(含分代理、子代理等). 本模式應用實例體現在國際間廣泛採用的多裝備對空作戰末端

防御系统中, 经分析计算得出其服务功能活性度达 0.9, 即摧毁 90% 敌方攻击实体, 具体过程见本系列文章“基于多活性代理的高性能人工系统总体设计方法研究”一文。

4.2 模式 2: 调整多活性代理系统架构, 质变性提升系统服务能力

在复杂系统的运行环境尤其是对抗环境中, 负向因素对系统的破坏往往是巨大的、惨烈的甚至是不可再生的, 即量变无法发挥作用。经矛盾分析, 确认因系统架构关键部分服务功能不能化解对抗矛盾, 导致服务功能变异、丧失致使任务失败, 则应按多活性代理系统理论方法调整系统架构, 提升服务机理、机能, 恢复服务功能。这里的调整包括嵌入新的代理、子代理, 切换代理功能以及构建新的自组织架构等, 这些都是在系统层面对架构布局进行的调整。

实例分析: 1961 年我军击落台湾的美制 P2V-7 型夜间低空电子侦察机的对抗斗争过程, 是一个调整我方作战系统架构模式构成新的系统自组织机理机能, 从而在对抗矛盾中转占优势的过程。详细斗争机理及斗争过程建模定量分析见本系列文章“基于多活性代理的人工系统架构调整方法”一文, 在此只作扼要说明。

P2V-7 侦察机具有四台发动机, 其中两台为喷气发动机, 提供高速飞行动力, 另两台为螺旋桨发动机, 提供低速高机能以回避对方攻击, 两者构成形式上对立存在且能灵活切换, 形成飞行功能上的有机统一。该侦察机上还配备有地形全景雷达, 避免超低空飞行时撞击地物, 以及电子侦查信息全纪录设备, 在我歼击机火控雷达对该侦察机后方进行跟踪扫描瞄准时可进行紧急报警, 提醒 P2V-7 驾驶员采取紧急应对措施。由于当时空空导弹攻击尚未实用, 从敌机后方抵近并用机炮攻击是空战主要模式, 此设备可抵御我方战机自后方进行攻击。归纳 P2V-7 入侵侦查对抗过程的优势如下: 陆上超低空飞行, 由于地球地面具有一定曲率, P2V-7 可有效落在地面远程搜索警戒雷达对空扫描波束直线传播的盲区, 外加低空中众多地物的回波也干扰了地面雷达对 P2V-7 的回波信号判断。P2V-7 第二项决定性优势在于, 当 P2V-7 驾驶员发现被歼击机跟踪瞄准时, 立即关闭两台喷气发动机使侦察机飞行速度降为原来的 $1/4$, 同时操纵飞机作小半径急转弯机动飞行, 超出了我方歼击机火控雷达角度跟踪极限。计算表明, P2V-7 开始转弯机动飞行仅 3.8 s 后已超出我方歼击机火控雷达角度跟踪 $\pm 15^\circ$ 的范围进而丢失射击目标攻击失败。进一步分析, 我方作战分系统功能稳定地进行质变发展提升短期内难于实现, 例如火控雷达采用 PD 体制提升地杂波环境中探测能力, 改进歼击机结构使机载火控雷达角度跟踪范围扩大, 空战攻击采用空空导弹, 发射后不管控 (fire-forget), 全自动控制飞行模式等。由以上简明分析可得出结论, 我方对美制 P2V-7 超低空电子侦察机入侵作战失利的关键在于系统层作战机理在对抗斗争中不能有效破解对方核心优势, 从而使我方后续系统作战自组织机能处劣势地位, 造成 P2V-7 多次入侵大陆完成侦查飞行安全返回台湾, 我方作战失败。

理论分析和当时作战斗争结果都证明: 需要由我作战系统总体架构调整, 以达到作战机理、机能之优势态势。进一步研究, 建立作战斗争新机理、机能应充分运用“矛盾对立统一律”相反相成原理, 达到高效对抗斗争的有利结果。例如, P2V-7 夜间优良的低空侦查飞行性能使我军在无高机动、高速小转弯半径的歼击机进行超低空飞行抵近攻击作战时效能必定不佳, 但若针对 P2V-7 超低空飞行特征利用自动化小口径高炮群在较远距离集火射击就可达很高击毁概率。实施中, 我方改用小口径自动化高炮取代歼击机, 同时在夜间执行对敌火力摧毁也需雷达引导, 但此时担任导引的雷达系统应有别于歼击机火控雷达, 即采用雷达-探照灯系统。探照灯雷达在预警雷达网引导下截获跟踪敌机, 并联动控制小口径高炮群, 探照灯 (闭灯) 随动雷达, 当敌机临近预定距离时, 突然开灯照亮敌机, 高炮群对暴露的低空敌机突然集火射击形成“突击”一举击落 P2V-7 侦察机。机上 14 人组成的全能情报军官组全体毙命, 迫使美制 P2V-7 退役, 台湾“黑蝙蝠”中队解散, 对大陆入侵侦查情报收集以失败告终。

4.3 模式 3: 单活性代理级活性调整保持, 高效支持系统正常服务功能

激烈对抗矛盾运行环境中, 对方在分析掌握我方多活性代理系统机理、机能后, 往往选择利用我方某分代理机理、机能, 造成破坏我方多活性系统重要功能, 达到攻击局部破坏全局的效果. 我方可采用“反其道而行之, 相反相成”原理, 通过改变对方利用的机理、机能, 达到反对称的“局部调整, 破坏对方全局性攻击效果”. 即在多活性代理系统中, 在不改变多代理系统架构及自组织机理的前提下, 通过改变单代理数量、性能提高系统整体活性.

实例分析: 1955 年美国洛克希德公司研发出一款采用普惠公司 J57-P-37 型发动机的高空侦查机即 U-2 侦察机. 该机翼展达 24.38 m, 升限 21000 m, 航程 3540 公里, 能在 15000 m 高空拍摄长 4300 公里、宽 200 公里的摄影照片, 其性能特性可使其有效避开各种高炮、战斗机的拦截, 自研发后执行了多次侦察任务, 为美军及相关国家地区获取了大量重要战略情报.

20 世纪 60 年代, 由美国提供给台湾的 U-2 侦查机多次入侵大陆极重要国防地区窃取了大量重要战略情报, 且手段猖獗, 给大陆造成巨大的国际舆论压力. 1962 年 9 月 9 日, 我军导弹防空部队首次在江西省南昌市郊击落一架 U-2 侦察机. 但在一个月后再次对另一架 U-2 侦察机拦截过程中, 却充满了矛盾对抗的曲折性, 下面对过程详细分析.

在经历首次被击落后不久, 台湾再次使用 U-2 侦察机对大陆进行袭扰. 我导弹部队按照前次部署进行拦截, 但三发导弹均未能命中目标, 使台 U-2 侦察机成功返台而大肆庆功宣扬, 负面影响严重. 由于我军使用的红旗 -1 型导弹命中率在 90% 以上, 三发齐射未命中的几率很低, 因此判断台方采用了电子对抗的方式, 而非系统故障或操作因素. 经过导弹系统设计人员与导弹部队共同讨论认定台方电子对抗机理为: U-2 侦察机上装载的应答式干扰装置将红旗 -1 型导弹发射系统所使用的照射雷达扫描信号截获后, 伪装处理返还给导弹发射系统, 使系统接收到错误时空位置, 进而导致形成错误“制导信号”, 导致导弹偏离目标.

用多活性代理系统理论来描述我方的对抗过程是: 按照多活性代理理论系统架构可将红旗 -1 型导弹系统分解为各功能代理, 包括雷达代理、发射代理、管控代理等, 导弹发射系统有其自组织机理机能. U-2 侦察机对导弹系统的干扰只针对雷达发射天线子系统, 虽没有对系统整体进行破坏, 但却使系统整体功能失效. 我方分析矛盾现象, 先由知己弱点后反推达知彼攻击机理, 再用反其道而行之相反相成的辩证思维方式, 按照本模式运行机理, 调整雷达代理分代理的运行方式, 取消跟踪天线发射扫描只保留接收状态扫描, 从而切断了 U-2 侦察机应答式干扰来源, 形成了新的有利于我方的对立统一关系集. 形成的结果是, 自 1963 年 11 月 1 日至 1967 年 9 月 8 日, 相继击落台方 4 架 U-2 侦察机, 迫使 U-2 退出台现役战机序列, 侦查分队解散, 中断高空入侵大陆侦察, 对抗取得巨大胜利.

4.4 模式 4: 增强主要运动体对象自动、自主敏捷管控能力达质变新水平

在多活性代理系统中, 管控代理有着其特殊且不可替代的作用. 由多活性代理理论的哲学原理可知, 多活性代理系统强调人(管控代理)发挥“自组织”机理以外的分析、处理、调控作用. 在矛盾对抗系统中, 由于复杂的作用关系以及对立面打击, “自组织”机能往往首先遭到打击, 此时系统受到来自环境中意外反向冲击而严重偏离原定服务规律, “自组织”机能被破坏. 若系统具有现场感知运行状态合规能力或由人主导的“他组织”管控功能嵌入, 则可恢复系统服务功能. 当然, 随着信息技术和控制科学、计算机科学等科学的发展, 机器、计算机能够按照人的设定, 对系统加强进一步的控制, 增强其管控能力, 从而使人机结合的系统达到质变新水平.

实例分析: 1990 年 9 月 3 日, 我国发射一颗“风云一号”(FY-1B) 实验气象卫星, 用于天气预报、

气象和地球形态科研. 但该卫星于 1990 年 11 月 3 日、1991 年 2 月 14 日、1991 年 5 月 19 日 3 次遭到空间高能粒子轰击^[10], 产生单粒子翻转问题, 致使星上控制计算机逻辑错误. 但地面“遥测遥控”系统无法及时联系, 只有当卫星在偏离程度不断叠加, 多圈环绕地球运行至北半球上空时才能进行遥测, 上送的遥控指令由星上控制设备执行, 采取耗用星上动力喷射的方式调整卫星姿态, 虽挽救了卫星但使其寿命大幅度降低. 下面对高能粒子轰击事件进行详细分析.

按照多活性代理结构功能划分, 在卫星的多活性代理系统中, 管控代理由星上管控子代理和地面测控站管控子代理组成. 星上控制子代理由计算机及其自组织机理构成, 地面测控站管控子代理由测控人员、测控计算机、模拟系统等构成. 高能粒子轰击事件发生后, 星上管控子代理计算机发生逻辑错误, 致使整个卫星系统活性大幅降低. 监控代理发现事件后, 启用测控人员主导的地面测控站管控子代理对卫星姿态进行纠正. 经过多天的不懈奋斗, 卫星终于重新恢复正常. 但由于当时我国卫星测控站仅西安一处, 对卫星监控范围小、监控调整时间短, 且卫星姿态调整动力喷射系统燃料有限, 致使卫星寿命大大降低.

由此实例可以说明:

- (1) 此次事件是人主导的“他组织”发挥功能的成功实例, 证明了在复杂环境中人主导的“他组织”能够在严酷、特殊的情况下发挥挽救系统生命的作用.
- (2) 系统的管控代理, 在系统中往往起着不可替代的核心作用, 是“自组织”及“他组织”核心.
- (3) 实例说明增强自动、主动敏捷管控能力对提高系统活性起着重要作用, 可逐渐减弱“他组织”的程度, 增强系统自动化程度, 这也是系统发展的前瞻性目的.

4.5 应用模式小结

由以上 4 种通用应用模式实例, 可归纳出基础活性纠正、保持机理: 人在社会发展核心因素群的支持下, 应用维纳教授 Cybernetics 控制论首先提出反馈模式 + 运行信息实时获取认知, 实施多层次多种模式及时的“活性”调控保持, 以支持人类通过多活性代理方法理论, 加强主导人类社会生存进化的正面演化.

5 结束语

因文章篇幅限制, 作者团队将前两种应用模式另附加专文简介, 用以对多活性代理理论运行模式在建立模型基础上作定性及定量的较详细分析, 又因作者能力水平所限, 诚希有关专家学者批评指正和水平科技专家对多活性代理系统方法进行发展及实际应用!

参考文献

- 1 Prigogine I, Stengers I. Order Out of Chaos: Man's New Dialogue With Nature. New York: Bantam Books Inc., 1984
- 2 Haken H. Synergetics. IEEE Circ Dev Mag, 1977, 28: 412-414
- 3 Qian X S, Yu J Y, Dai R W. A new discipline of science—the study of open complex giant system and its methodology. Chin J Nat, 1990, 1: 3-10, 64 [钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域 —— 开放的复杂巨系统及其方法论. 自然杂志, 1990, 1: 3-10, 64]
- 4 Wang Y. A novel method of constructing complex information system—multi-living agent method. Eng Sci, 2006, 8: 29-32 [王越. 复杂信息系统构建的新方法 – 多活性代理方法. 中国工程科学, 2006, 8: 29-32]
- 5 Wang Y, Tao R, Li B Z. Using the multi-living agent concept to investigate complex information systems. Sci China Ser E-Inf Sci, 2008, 38: 2020-2037 [王越, 陶然, 李炳照. 基于多活性代理的复杂信息系统研究. 中国科学 E 辑: 信息科学, 2008, 38: 2020-2037]

- 6 Wang Y, Tao R, Li B Z, et al. Multi-living agent methods for the function enhancement of the information system. *Sci Sin Inform*, 2013, 43: 821–841 [王越, 陶然, 李炳照, 等. 信息系统功能增强的多活性代理方法研究. *中国科学: 信息科学*, 2013, 43: 821–841]
- 7 Wang Y, Tao R, Zhang H. Research on distributed intrusion detection system based on multi-living agent. *Sci China Inf Sci*, 2010, 53: 1067–1077 [王越, 陶然, 张昊. 基于多活性代理的分布式入侵检测系统构建分析研究. *中国科学: 信息科学*, 2010, 40: 613–623]
- 8 Wu J G. Research on TT&C network system architecture based on multi-living agents theory. Dissertation for Ph.D. Degree. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2018 [吴建光. 基于多活性代理理论的航天测控网体系架构研究. 博士学位论文. 北京: 北京理工大学, 2018]
- 9 Wang Y. *System Theory and Artificial System Design*. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2019. 257–260 [王越. 系统理论与人工系统设计学. 北京: 北京理工大学出版社, 2019. 257–260]
- 10 Ye Z H, Chen G F, Zhu G W, et al. Detection results of space particle environment over Fengyun-1 (B) satellite. *Sci China Ser A*, 1993, 23: 538–544 [叶宗海, 陈贵福, 朱光武, 等. 在“风云一号(B)”卫星上空间粒子环境的探测结果. *中国科学 A 辑*, 1993, 23: 538–544]

Application layer extension of system dissipative self-organization theory—example analysis of multi-living agent method

Yue WANG¹, Cheng MA¹, Lijuan JIA^{1*} & Bingzhao LI²

1. *School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;*

2. *School of Mathematics and Statistics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China*

* Corresponding author. E-mail: jlj@bit.edu.cn

Abstract Starting from the mechanism of “self-organization” which implies that human society always evolves from a lower to a higher level, this paper discusses the dialectical relation between “self-organization” and “other-organization” and the expression of the core factors of human-dominated social development in the realistic environment of open complex giant system. Several examples show that it is difficult for the self-organization mechanism of the system to fulfill the dynamic adjustment requirements of system’s service functions, which indicates that the system’s self-organization function has limitations when practically applied in the time-space complex and strong constraint antagonism environment, thus leading to the expansion of dissipative self-organization theory—the multi-living agent theory method. It is the dominant information system service function that dynamically adjusts and adapts to requirements in the complex and severe environment dominated by high-level experts in the field of practice, using the other-organization mechanism and the multi-living agent theory. In order to further explore and support practical application, our team has written a series of articles. This article mainly introduces the theoretical overview, the core idea of construction, and four application modes of multi-living agent theory including system construction, architecture adjustment, single agent adjustment, and capability enhancement of management and control agent. The other two articles, “A general design method for artificial system based on multi-living agent theory” and “Artificial system architecture adjustment method based on multi-living agent”, respectively verify one of the application modes through qualitative analysis and quantitative modeling.

Keywords complex system, multi-living agent theory, dissipative self-organization theory



Yue WANG was born in 1932 in Danyang, China. He received his B.S. degree in radar engineering at Xidian University, Xi'an, China, in 1956. He was the president of the No. 206 Institute of China North Industries Group Corporation, and the president of Beijing Institute of Technology from 1993 to 1997. He is now the honorary president and a professor of Beijing Institute of Technology. He is an academican of both the Chinese Academy of Sciences

and the Chinese Academy of Engineering. His research interests include signal processing and information system theory and technology.



Cheng MA was born in 1985. He received his B.E. degree in surveying and mapping engineering at the PLA Information Engineering University, Zhengzhou, China, in 2007. He works as an engineer in a research institute. Since 2017 he has been pursuing his M.S. degree at Beijing Institute of Technology. His research interests include complex system theory, agent-based system engineering, and surveying and mapping complex systems.



Lijuan JIA received her Ph.D. degree in electric and electronic engineering from Kyushu University, Japan, in 2002. From 2002 to 2005, she was a lecturer at the Department of Electrical and Electronic Engineering, Kyushu University, Japan. Since 2005, she has been an associate professor of the School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology. From 2013 to 2014, she was a visiting scholar

at the Department of Electrical Engineering, University of California, Los Angeles, USA. Her research interests include multi-agent system theory, distributed adaptive networks, and statistical signal processing.



Bingzhao LI was born in 1975. He received his B.S. degree from Shandong Normal University in 1998, and his M.S. and Ph.D. degrees from Beijing Institute of Technology, in 2001 and 2007, respectively. He is currently a professor at the School of Mathematics and Statistics, Beijing Institute of Technology, Beijing, China. His current research interests include system theory and the mathematical method in signal

and image processing.