

2024 年度陕西高等学校科学技术研究优秀

成果奖励推荐项目公示内容

一、成果名称：

复杂系统的建模动力学分析与智能优化计算应用研究

二、完成单位排序及贡献：

西安工业大学：全面负责制定项目的研究思路和框架以及项目的具体实施，领导项目组成员完成复杂系统的建模动力学分析与智能优化计算应用研究、方法分析，并利用智能优化计算方法进行生态系统平衡稳定性分析，构建生物数学模型实现复杂生物系统的动力学分析。

三、成果简介：

1. 成果的主要技术内容：

该项目属于人工智能领域，涉及数据挖掘、复杂系统建模、复杂系统动力学分析、生态系统平衡稳定性、生物数学等多学科交叉融合。

（1）复杂系统的建模及智能计算

现实中的一些复杂信息系统具有多源信息融合和复杂的特点，而现有的研究成果是运用不确定性理论解决了复杂信息系统某一方面的问题，并没有形成一种完整的理论体系满足复杂信息系统发展的实际需求。该项目先以一种特殊的复杂信息系统——复杂网络为研究对象，运用复杂网络理论、智能优化理论与方法、随机优化理论和大数据分析技术等多学科相融合的方法，提出了几种复杂系统建模的方法及在数字经济系统中的应用，研究了复杂信息系统的平衡稳定性问题和大数据的智能优化计算方法，构建了复杂信息系统的风险评估模型和知识发现模型，并应用于第三方支付粗糙复杂网络顾客消费特征的统计分析，为数字经济系统数据挖掘和决策提供了一种新的研究思路。

（2）复杂系统稳定性的动力学分析

基于大数据分析对生态系统进行动力学建模，得出模拟生态系统的非线性状态方程，通过智能优化计算对复杂生态系统的动力学行为研究，实现利用数学的理论知识分析来探寻生态系统的动力学行为，由此对系统表现出来的现象进行解释。为了建立更符合实际生态系统的模型，本项目提出了几种复杂生态系统建模

的方法及在其种群动力学中的应用,利用定性稳定理论研究系统平衡点的全局稳定性,利用分支理论讨论系统出现的各种分支;构建脉冲微分方程研究种群灭绝周期解的全局稳定性和持久性,利用分支理论研究了正周期解的存在性;基于反应扩散捕食系统,探讨了它们之间的相互作用和动态变化,对系统的动态行为,包括稳定性、持久性和分歧等方面进行了深入的研究分析。研究成果极大地丰富了生态学模型的理论基础,为生态学领域提供更多的理论支持和实践指导。

2. 成果的主要创新点:

通过细致的理论研究和全方位的实证验证,主要创新和发现点如下:

1) **定义了一种不确定性复杂信息系统——粗糙复杂网络。**基于该新的不确定性复杂网络发表 SCI 论文 3 篇(含高被引 1 篇、2 区论文 2 篇);建立粗糙复杂网络的构建算法,解决了具有双线性矩阵等式约束的非凸非光滑和最小化问题,获软件著作权 2 项。

2) **构建了粗糙复杂网络的知识发现方法。**该方法为不确定性复杂信息系统的深入研究提供了理论依据。通过粗糙集理论与时间序列分析等统计预测法交叉融合,为不确定性复杂信息系统大数据的挖掘提供了一种新的方法。基于该方法发表 SCI 论文 1 篇, CSSCI 论文 1 篇, CSCD 核心期刊论文 2 篇。

3) **构建了反应扩散捕食-食饵生态系统。**提出系统中两种生物的共存条件,且通过控制参数的变化来表示两种群的全局共存状态和共存状态的多重性,丰富了生态系统稳定性和种群动态的理论结论,有助于预测种群数量的变化以及生态系统的稳定性。基于该研究发表 SCI 论文 8 篇。

4) **构建了复杂系统的动态稳定性建模。**通过资源有限情况下的捕食模型,解决了非线性差分方程稳定性问题,推广了线性脉冲的理论,发现非线性脉冲控制的模型比线性脉冲的模型具有更复杂的动态行为。基于该研究发表 SCI 论文 3 篇, CSCD 核心期刊论文 1 篇。

与本成果相关的 8 篇代表性论文,依次发表在国内外知名的人工智能杂志和生物数学杂志《Applied Soft Computing》、《Knowledge-Based Systems》

《Journal of Intelligent & Fuzzy Systems》、《Open Mathematics》、《International Journal of Biomathematics》、《fractal and fractional》等期刊上。依次被国内外知名的高校华中科技大学、湖南大学、兰州大学、中国矿业大学、吉林大学等 80 余所大学和科研机构、期刊等引用。其中关于不确定性网络连通性指标的论文 From the connectivity index to various randi' c-type descriptors 发表在 SCI 期刊 Match-communication in Mathematical and in Computer Chemistry 上,为 2019 年的高被引论文(ESI 前 1%),这是关于一种广受化学家和数学家重视的拓扑指标。

3. 成果的推广应用情况：

(1) 该项目建立的面向优化算法的可解释深度学习网络模型，充分考虑了复杂信息系统规模庞大、节点种类繁多、连接关系复杂、结构动态变化、高维度等诸多特征，得到可解释深度学习网络模型，为复杂信息网络的资源筛选提供了一种新的研究思路和技术途径。该项目研究过程中在 Match-communication in Mathematical and in Computer Chemistry、Applied Soft Computing、Journal of Intelligent & Fuzzy Systems 等知名期刊发表代表性论文 7 篇；相关技术获国家软件著作权 2 项，专著出版 1 项；培养青年英才教师 2 名；培养硕士研究生 3 名。

(2) 该项目依据大数据分析和优化理论方法建模，模拟复杂的生态系统。考虑了自然生态系统的稳定性、人为脉冲干扰下生态系统的动态行为，以及基于种群扩散效应，研究了具有反应扩散的生态系统的性质，使模型更精确更合理模拟真实的生态系统，该项目为生态学领域提供更多的理论支持和实践指导，丰富了微分方程理论，为生态系统的持久健康发展提供理论指导。该项目在 Open Mathematics、International Journal of Biomathematics、fractal and fractional 等知名期刊发表论文 15 篇，培养硕士 12 名。

四、主要论文专著目录和主要知识产权证明目录：

论文目录：

序号	论文名称	刊名/出版社	发表时间	论文作者
1	Public opinion spread risk assessment model on third-party payment rough network	Applied Soft Computing	2020.07	曹黎侠，卫国，苏佳
2	A knowledge discovery model for third-party payment networks based on rough set theory	Journal of Intelligent & Fuzzy Systems.	2017.01	曹黎侠，，黄光球，柴伟文
3	第三方支付平台交易的粗糙博弈模型及算法研究	运筹与管理	2016.10	曹黎侠，黄光球

4	A class of bilinear matrix constraint optimization problem and its applications	Knowledge-Based Systems	2021.10	张文娟, 冯象初, 肖锋, 王旭东
5	From the connectivity index to various randi' c-type descriptors	Match-comunication in Mathematical and in Computer Chemistry	2018.09	马月德, 曹淑娟, 史永堂 Ivan Gutman , Matthias Dehmer , Boris Furtula
6	Dynamic behavior analysis of a prey-predator model with ratio-dependent Monod-Haldane functional response	Open Mathematics	2018.09	冯孝周, 宋毅, 安晓敏
7	Permanence, stability, and coexistence of a diffusive predator-prey model with modified Leslie-Gower and B-D functional response	Advances in Difference Equations	2018.06	冯孝周, 宋毅, Jianxin Liu, Guohui Wang
8	The Effects of Timing of Pulse Spraying and Releasing Periodson Dynamics of Generalized Predator-Prey Model	Journal of Intelligent & Fuzzy Systems.	2012.01	李畅通, 唐山一

专著目录:

序号	出版时间	著作名称	作者	出版单位

知识产权目录:

序号	授权项目名称	知识产权类别	国(区)别	授权号
1	微生物系统恒化器模型数值仿真计算软件 V1.0	软件著作权	中国	2021SR0491634

2	敬老公益平台系统 V1.0	软件著作权	中国	2021SR1336603
---	---------------	-------	----	---------------

五、客观评价：

1.以具有多源信息融合特性的复杂信息系统的建模为研究对象，首次提出粗糙复杂网络的概念，并上升到一种新的网络模式，构建了第三方支付粗糙复杂网络，研究了第三方支付粗糙网络的知识发现方法和舆情传播模型，为复杂系统的动力学分析和生物平衡稳定性研究奠定理论基础。

2.以复杂生态系统中的捕食者-食饵系统为研究对象，对系统的动态行为，包括稳定性、持久性、共存解、混沌和分歧等方面进行了深入的研究分析，研究了不同控制策略下生态系统中种群相互作用的机理，丰富了微分动力系统的理论研究，也为生态系统的保护和开发提供理论支撑。

该项目技术方法科学合理、方法通用性、可扩展性强，具有良好的应用价值和推广应用前景。该项目发表论文 20 篇，SCI 检索 20 篇（含高被引论文 1 篇，前 1%），撰写技术报告 3 份。该项目紧贴实际，体系完整，社会效益显著，对复杂系统领域技术融合发展具有促进作用。对于其他复杂信息网络、生态系统、生物网络等相关研究起到了参考和借鉴作用。

六、推广应用情况（技术发明、技术开发、技术推广和社会公益类项目必写）：

七、科学意义和科学价值（基础研究类必写）：

1. 该项目针对复杂系统的多源信息融合特性，给出了一系列优化理论和算法模型。提出的“粗糙复杂网络的概念和知识发现方法”，应用实例说明了建模和求解方法的有效性和可行性，此部分理论与方法研究，对商家和平台经济管理者做决策具有较强的指导意义；

2.研究了一类具有双线性矩阵等式约束的非凸非光滑和最小化问题，约束条件可以是乘法分解和加性分解的推广，并应用增广拉格朗日乘子法和近端交替线性化极小化方法有效地求解了该问题。应用实例表明，将许多实际问题可转化为该模型，并通过算法设计有效地解决，算法具有较好的收敛性和较短的时间，因而在可解释的深度学习网络模型中具有很好的应用价值。

3. 总结了过去 40 年 Randic 指数的发展及衍生出的各种不同形式的描述符。

包括高阶 Randic 指数、零阶 Randic 指数、D-L-S 推广、和-连通指数、几何-算数指数、和声指数、ABC 指数、Balaban 指数、Randic 矩阵、Randic 谱、Randic 能量等等。我们也指出了众多 Randic 类指数的一些很重要的应用。

4.文章 5 在齐次 Dirichlet 边界条件下建立了具有比例依赖的 Monod-Haldane 反应项的捕食-食饵模型，重点关注了模型的共存状态和分岔结构，并将其用于模拟一类生态系统。利用不动点指标理论得到两种生物的共存条件，且通过控制参数的变化来表示两种群的全局共存状态，最后得到共存状态的多重性。研究结果表明控制参数在满足某些条件时，捕食、食饵两种群具有两个共存状态。该文章通过建立一类新的模型提出了新的理论和观点，进行了深入的动态行为分析，丰富了生态系统稳定性和种群动态的理论结论。

5.研究了复杂生态系统对具有 B-D 反应项的捕食-食饵模型稳态问题的影响，并扩展到有界的全局分岔曲线；拓展了传统的捕食-食饵模型，这种拓展有助于更好地描述实际生态系统中的动态过程，提高了模型的适用性和预测能力；本研究有助于促进生态系统动力学理论的发展，为生态学领域的相关研究提供了新的思路和方法。

6.基于智能优化计算方法，在假设释放天敌比喷洒杀虫剂更频繁条件下的生态系统，提出了害虫根除周期解存在和稳定的阈值条件，进一步以 Holling- II 型 Lotka-Volterra 捕食-食饵系统为例，研究了不同脉冲时间的干预，模型结果证实了该复杂系统具有害虫和天敌共存的现象。该文章丰富了生态系统稳定性和种群动态的理论结论，有助于预测种群数量的变化以及生态系统的稳定性，为人类合理开发生态资源提供理论保证。

八、主要完成人员情况：

姓名	排名	职务/职称	工作单位	完成单位	对项目的主要学术和技术创造性贡献
冯孝周	1	教授	西安工业大学	西安工业大学	负责制定项目的研究思路和框架以及项目的具体实施，安排项目组成员分工
曹黎侠	2	教授	西安工业大学	西安工业大学	负责整个项目实施过程中方案设计、方法讨论及结果分析等。
马月德	3	讲师	西安工业大学	西安工业大学	负责复杂网络建模研究及应用
李畅通	4	讲师	西安工业大学	西安工业大学	负责复杂生态系统的建模和稳定性研究

张文娟	5	副教授	西安工业大学	西安工业大学	负责采集数据、深度学习，智能优化计算研究
时 华	6	讲师	西安工业大学	西安工业大学	负责整个项目实施过程中软件的开发和系统设计。

九、完成人及完成单位合作关系说明：

（简要叙述完成人（完成单位）在项目中的合作经历，包括合作时间、方式、产出及证明材料等。）

序号	合作方式	合作关系人及排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	共同撰写技术总结报告	冯孝周 1 李畅通 4	2020.9-2021.8	《破片参数数据处理分析软件》软件	合同或结项报告
2	共同撰写技术总结报告	冯孝周 1 李畅通 4 时华 6	2020.4-2022.3	《复杂微生物系统恒化器模型构建与共存解定性分析及数值验证的研究》结项报告	立项合同或结项证明
3	共同撰写技术总结报告	曹黎侠 1 马月德 3	2016.1-2017.9	《基于粗糙集的复杂网络博弈理论与应用研究报告》	基于粗糙集的复杂网络博弈理论与应用结项报告
4	共同完成软件开发	冯孝周 1 曹黎侠 2 时华 6	2018.12-2021.09	软件开发	微生物系统恒化器模型数值仿真计算软件 V1.0
5	共同完成软件开发	冯孝周 1 时华 6	2018.12-2021.09	系统开发	敬老公益平台系统 V1.0
6	共同撰写技术总结报告	张文娟 5	2021.3-2023.5	《面向优化算法的可解释深度学习网络模型研究》研究报告	结项证明
7	共同撰写	曹黎侠 2 张文娟 5	2018.1-2	《第三方支付粗糙	

	技术总结 报告		019.12	网络顾客消费特征的统计分析》研究报告	结项证明
--	------------	--	--------	--------------------	------

十、知情同意证明：

（申报奖励项目的支撑材料，其中论文、专著、专利等成果的第一作者（著者、发明人、设计人、专利权人）并非本奖励项目的主要完成人或完成单位，需征得第一完成人或完成单位同意，方可使用该成果。）

论文《From the connectivity index to various randi' c-type descriptors》已附通讯作者曹淑娟同意证明。

2024年度陕西高等学校科学技术研究

优秀成果奖知情同意证明

陕西省教育厅：

西安工业大学曹黎侠老师主持申报的项目《不确定性复杂信息系统优化理论及应用研究》，拟申报 2024 年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖，报奖成果 8 篇论文（中，其中有 1 篇本人为第一作者，本人同意不作为本次申报奖励的主要完成人，没有异议。

特此证明。

附：（本人为第一作者或通讯作者的论文）

1. Y. Ma, S. Cao, Y. Shi, I. Gutman, M. Dehmer, B. Furtula: From the Connectivity Index to Various Randi' c-Type Descriptors[J], MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry, 80(1) (2019) 85-106.
(SCI:000439752800002)

签名：曹淑娟

2024 年 3 月 6 日