

“不确定性人工智能的基础理论与应用”

申报 2020 年度湖南省自然科学奖公示内容

一. 项目名称

不确定性人工智能的基础理论与应用

二. 提名意见:

人工智能的研究成为当前热点, 本项目在国家自然科学基金等项目的支持下, 围绕不确定信息的有效获取、信息粒度的分辨及属性约简等科学难题, 提出了在线估计系统噪声协方差阵的自适应卡尔曼滤波算法、二型模糊集合的 FOU 划分法与相关族法分别解决了噪声统计特性先验知识的获取、二型模糊粒度的描述与动态分析问题、覆盖粗糙集属性约简问题, 同时将上述方法推广到复杂系统管理与控制工程应用中。

该项目获国家自然科学基金、湖南省教育厅科学研究项目、湖南省自然科学基金、复杂系统管理与控制国家重点实验室开放基金等支持, 8 篇代表作发表在 Information Sciences(IF:3.893), IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems(IF: 3.724), IEEE Intelligent Systems(IF: 2.3), Digital Signal Processing(IF: 2.241)等国际顶级期刊与国内权威期刊《自动化学报》(IF:2.62)上。研究成果获得国内外同行的广泛引用和高度评价。

同意推荐该项目申报湖南省自然科学奖。

三. 项目简介

当前, 随着社会各界对人工智能研究的持续关注, 人们发现以深度学习为基础的人工智能不具备可解释性, 在医疗及重大决策领域面临不可用的困境, 因此开展可建模、可分析、可解释的负责任的人工智能基础理论与应用研究至关重要。以模糊理论, 粗糙集等为基础的不确定性人工智能不仅具备可解释性, 能较好地处理不确定性信息, 表述不确定知识和推理过程, 还能模拟包括可变性在内的人类智能。本项目在国家自然科学基金的支持下, 在不确定信息的有效获取、信息粒度的二型模糊描述及属性约简等方面系统开展工作, 提出了在线估计系统噪声协方差阵的自适应卡尔曼滤波算法、二型模糊集合的 FOU 划分法与相关族法分别解决了噪声统计特性先验知识的获取、二型模糊粒度的描述与动态分析问题、覆盖粗糙集属性约简问题, 同时将上述方法推广到复杂系统管理与控制工程应用

中，取得了突破性成果。相关创新性成果和重要科学发现如下：

- (1) 针对不确定信息粒度难以描述问题，提出了 FOU 划分法，构建了区间与广义区间二型模糊粒度的描述方法，给出了基于二型模糊粒度的词计算与推理方法，分析了构成要素的关键性质，发展了基于社会媒体的不确定性信息的二型模糊表述与相关数据的可视化。
- (2) 针对不确定信息的难以有效获取问题，提出了在线估计系统噪声协方差阵的自适应卡尔曼滤波算法，确保了卡尔曼滤波算法的估计精度。
- (3) 针对科技合作相互关系的不确定性问题，采用模糊社区发现算法，从学者合作、机构合作和国家合作三个层面，分析合作模式及合作网络的不确定性，给出了合作关系不确定性的演化过程。
- (4) 针对不确定信息的属性约简问题，提出相关族方法，并设计低复杂度的特征选择算法，有效地提高了特征选择的计算速度。

四. 客观评价

1. 国际著名学者 Tufan Kumbasar 与 Hani Hagrass (IEEE Fellow) 在信息领域顶级期刊 IEEE Transactions on Fuzzy Systems 上发表的论文 “A self-tuning z-slices-based general type-2 fuzzy PI controller” 中对代表性论文 1 进行评述 “The internal structure of the IT2-FLC is similar to its type-1 counter-part. However, the major differences are that IT2-FLCs employ interval type-2 fuzzy sets (IT2-FSs) (rather than type-1 fuzzy sets) and the IT2-FLCs process IT2-FSs, and thus, the IT2-FLC has an extra type-reduction process”; 其要点是：区间二型模糊逻辑的外部结构类似于一型对应的部分。该文给出的区间二型模糊逻辑有一个特别的降型过程。
2. 国际著名学者 Luis Ibarra, Mario Rojas, Pedro Ponce, Arturo Molina 在国际期刊 Expert Systems with Application 上发表的论文 “Type-2 fuzzy membership function design method through a piecewise-linear approach” 中对代表性论文 1 评述：“The FOU can be assumed to be the union of underlying primary MFs, the boundary of expected variations, or the projection of the secondary MF along the primary one”，其要点是：该文将 FOU 看成是在每一点的隶属函数所构成的集合，预期变量的范围，或者是次隶属函数在主隶属函数对应区域上的投影。从不同的角度揭示了 FOU 的特点。
3. 中南大学王璞教授及其团队成员在国际顶级期刊 Plos One 上发表论文 “Framework for fusing traffic information from social and physical transportation data”，对代表性论文 2 发表评论 “Mo et al. used the theories of linguistic dynamic systems to analyze traffic information from traffic police micro-blogs.... The authors found that social media are more applicable in sensing road emergencies than traditional media.”，其要点是 “莫等人采用语言动力系统理论来分析从交警微博中获取的交通信息... 这些作者发现社会媒体在感知道路紧急状况比传统媒体具有更好的实用性。”

4. 西班牙著名学者 Francisco G. Montoya, Raul Baños, Alfredo Alcayde 在国际知名期刊 *Energies* 上发表论文 “Power quality: Scientific collaboration networks and research trends” 对代表性论文 3 做出评价: In a recent investigation, an adaptive process noise covariance Kalman filter has been proposed for detecting the power quality disturbances.其要点是: 最近的研究提出了一种自适应过程噪声协方差卡尔曼滤波器来检测电能质量扰动。
5. 国际学者 Xiujuan Xu, Wei Wang, Yu Liu, Xiaowei Zhao, Zhenzhen Xu, Hongmei Zhou 在国际期刊 *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 上发表论文 “A bibliographic analysis and collaboration patterns of *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* between 2000 and 2015” 对代表作 4 做出评价: “Over the last decade, some researchers have analyzed bibliography from the data of T-ITS. ... Wand et al analyzed four years data of 2010-2013 with the method of clustering. They found that some enterprises made great contribution to this field, such as Toyota in Japan. 其要点是: 在过去十多年里, 一些科研工作者开始对在国际期刊 *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 上发表的论文的参考文献进行分析. ..., 王涛等人采用聚类法分析了 2010 年到 2013 年这四年发表的论文, 他们发现一些公司与企业在智能交通领域做出了杰出的贡献, 如日本的 Toyota。
6. 国际学者 J.A.Moral-Muñoz, M.J.Cobo, F.Chiclana, A. Collop, and E.Herrera-Viedma 在国际顶级期刊 *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 上发表论文 “Analyzing Highly Cited Papers in Intelligent Transportation Systems” 对代表作 4 进行评价 “Recently, a series of papers have been published that focus on the bibliometric impact of the ITS research field. ...Finally, Wang et al.(2014) measured the productivity and collaboration patterns of T-ITS between 2010 and 2013.” 其要点是: 近年来, 在智能交通领域, 人们围绕文献计算的影响因子发表了一些列相关论文, ..., 最后, 王涛等人对 2010 到 2013 年在 *IEEE Transactions on Intelligent Transportation* 上的论文产出率及合作模式开展调查研究。
7. 长沙理工大学郎广名教授和日本知名教授, 国际顶级期刊 *Knowledge-Based Systems* 期刊主编 Hamido Fujita 教授在 *Knowledge-Based Systems* 期刊联合发表论文 “Related families-based attribute reduction of dynamic covering decision information systems” 对代表性论文 5 做出评价: (1) Yang et al. provided related family-based methods for computing attribute reducts and relative attribute reducts for covering rough sets, which remove superfluous attributes while keeping the approximation space of covering information system unchanged. (2) Meanwhile, we see that the related families-based methods proposed by Yang are very effective for knowledge reduction of covering decision information systems, which bridge the gap where the discernibility matrix is not applicable. 郎广名教授和 Fujita 教授基于本团队提出的相关族方法设计了动态相关族属性约简算法, 并评价: (1) 杨田等人

提出了相关族方法对覆盖粗糙集进行属性约简与相对属性约简,在保持近似空间的同时去掉多余的属性。(2) 我们看到杨田等人提出的相关族方法对于覆盖决策信息系统的知识约简十分有效,它填补了经典方法区分矩阵无法完成的属性约简空白。充分肯定了相关族方法的有效性。

8. 南京审计学院黄兵教授和南京大学知名学者周献忠教授在国际顶级期刊 Information Sciences 联合发表论文“Hierarchical structures and uncertainty measures for intuitionistic fuzzy approximation space”对代表性论文 5 做出评价: The information granulation of objects in a universe because of an equivalent relation is an equivalence granular structure, where two distinct information granules (equivalence classes) are disjointed. However, two covering-relation-based information granules (tolerance classes) can intersect each other in an information granular structure induced by a covering relation.

其要点是:在一个论域上,等价关系将信息粒化为等价粒结构,两个信息粒之间没有交集。而基于覆盖关系的信息粒结构中,信息粒之间彼此可能会有交集,其结构更复杂(而相关族可对更复杂的粒结构进行约简)。

五. 代表作目录

1. Mo Hong, Wang Feiyue, Zhou Min, Li Runmei, Zhiquan Xiao. Footprint of uncertainty for type-2 fuzzy sets[J]. Information Sciences, 272:96-110, 2014.
2. Mo Hong, Hao Xuexin, Zheng Hebin, Liu Zhuzheng, Wen Ding. Linguistic Dynamic Analysis of Traffic Flow Based on Social Media—A Case Study[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 17(9):1-6, 2016.
3. Xi Yanhui, Li Zewen, Zeng Xiangjun, Tang Xin, Liu Qiao, Xiao Hui. Detection of power quality disturbances using an adaptive process noise covariance Kalman filter[J]. Digital Signal Processing, 76: 34-49, 2018.
4. Wang Tao, Wang Xiao, Tang Shaohu, Liu Wenli, Liu Zhong, Xiu Baoxin, Shen Dayong, Zhao Xueliang. Collaborations Patterns and Productivity Analysis for IEEE T-ITS Between 2010 and 2013[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 15(6): 2360-2367, 2014.
5. Yang Tian, Li Qingguo, Zhou Bilei. Related family: A new method for attribute reduction of covering information systems[J]. Information Sciences, 271: 175-191, 2013.
6. 莫红, 王涛. 广义区间二型模糊集合的词计算[J]. 自动化学报, 38(5):707-715, 2012.
7. Xi Yanhui, Peng Hui, Mo Hong. Parameter Estimation of RBF-AR Model Based on the EM-EKF Algorithm[J]. 自动化学报, 43(9): 1636-1643, 2017.
8. Wang Tao, Liu Zhong, Xiu Baoxin, Mo Hong, Zhang Qingpeng. Characterizing the Evolution of Social Computing Research[J]. IEEE Intelligent Systems, 29(5): 48-56, 2014.

六. 完成人简介

1. 莫红, 女, 排名第一, 长沙理工大学电气与信息工程学院教授

● 对本项目的学术贡献:

本项目主要完成人, 研究了不确定信息粒度的描述方法, 提出 FOU 划分法,

给出了区间二型模糊信息粒及广义区间二型模糊信息粒度描述,实现了基于二型模糊信息粒的词计算与推理,发展了基于社会媒体的不确定性信息的二型模糊表述与相关数据的可视化。对重要发现点 1, 2, 3 有创造性贡献,为代表性论文 1, 2, 6 的第一作者。本人在该项研究中的工作量占本人工作量的 90%。

- 曾获科技奖励情况

2011 年,中国电工技术学会科学技术奖,一等奖,第五完成人

2013 年,湖南省自然科学奖,三等奖,第三完成人

2016 年,中国自动化学会自然科学奖,二等奖,第一完成人

2. 席燕辉, 女, 排名第二, 长沙理工大学电气与信息工程学院副教授

- 对本项目的学术贡献

主要研究了复杂非线性系统噪声统计特性的不确定性,提出了在线估计系统噪声协方差阵的自适应卡尔曼滤波算法,重构了 RBF-AR 模型的网络结构,建立了相应的自组织状态空间模型,提出利用最大期望(expectation-maximization, EM)方法优化卡尔曼滤波初始条件参数,这些创新性研究成果成为处理先验知识不确定性智能系统的关键突破,为解决实际复杂系统其噪声统计特性的高度不确定性提供了方法指导和发展方向。对重要发现点 2 有创造性贡献,为代表性论文 3、7 的第一作者。本人在该项研究中的工作量占本人工作量的 70%。

- 曾获科技奖励情况

2019 年,湖南省科学进步奖,一等奖,第八完成人

3. 王涛, 男, 排名第三, 中国人民解放军国防科学技术大学讲师

- 对本项目的学术贡献

研究了基于模糊决策分析的社会计算与智能交通领域协作模式及演化分析,验证了不确定性人工智能方法的跨领域应用价值。对第 N 个发现点有创造性贡献,对科学发现 1, 3 有创造性贡献,是代表性论文 4, 6, 8 的署名作者,本人在该项研究中的工作量占本人工作量的 85%。

- 曾获科技奖励情况

无

4. 杨田, 女, 排名第四, 湖南师范大学信息学院副教授

- 对本项目的学术贡献

研究了信息粒的模糊化特征,并基于邻域粒和模糊粒提出了相关族方法和快

速属性约简算法，可大幅提高特征选择效率。对重要发现 4 有创造性贡献，是代表性论文 5 的第一作者。本人在该研究中的工作量占本人工作量的 70%。

- 曾获科技奖励情况

2014 年，湖南省自然科学奖，一等奖，第三完成人

2016 年，中国自动化学会自然科学奖，二等奖，第三完成人

5. 王飞跃，男，中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室研究员

- 对本项目的学术贡献：

提出了语言动力学与社会计算理论与方法，发现二型模糊集合相关定义的补足并提出修改建议，是重要科学发现 1，3 的指导者，代表性论著 1 的署名作者，排名第二，对重要科学发现 1，3 做出贡献，本项目工作量占本人工作量 50%。

- 曾获科技奖励情况

2007 年，国家自然科学奖，二等奖，独立完成人

2016 年，中国自动化学会自然科学奖，二等奖，第二完成人

七. 主要完成人合作关系说明

第一完成人与第二、三、五位完成人均有论文合作，见代表性论文 1, 6, 7, 8；

第一完成人与第四、五完成人合作申报中国自动化学会自然科学奖；

第一完成人与第三完成人均在第五完成人的指导下攻读博士学位；第二完成人与第四完成人均在第五完成人指导下完成博士后工作；

第一完成人与其他各位完成人经常一同参加线上、线下的学术交流与讨论。