

推荐国家自然科学奖项目公示

| | |
|--|-----------------|
| 项目名称 | 神经网络的若干关键基础理论研究 |
| 推荐单位 | 教育部 |
| 推荐单位意见： <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。</p> <p>该项目重点对神经网络的收敛性、周期性振荡等动力学行为，子空间学习算法的收敛性以及神经网络的非线性增强本质机理等若干关键基础理论问题进行研究，获得了一系列系统性的研究成果，形成了若干集解决思路、研究方法和分析技巧为一体的理论分析框架，深刻揭示了神经网络的收敛性、稳定性等本质特征。项目代表性成果论文全部发表在该领域的国际一流学术期刊 <i>IEEE Transactions</i> 系列上，得到了美国、加拿大、德国、法国、澳大利亚、俄罗斯等数十个国家的研究学者的引用和评价，为神经网络的实际应用提供更为坚实的理论基础，对于促进神经网络理论研究和科技进步起到了积极的推动作用。项目取得的理论研究成果已经成功应用在了基于神经网络的情境驱动 3D 表情动画、多神经网络融合的入侵检测方法、基于神经网络的智能印章识别上，获得了多项国家发明专利。</p> <p>对照国家自然科学奖授奖条件，推荐该项目申报 2017 年度国家自然科学奖二等奖。</p> | |

项目简介:

神经网络历经几起几落的发展, 目前已成为人工智能领域的重要前沿研究方向。近些年, 在大数据和现代计算机强大计算能力的双重推动下, 神经网络已在语音识别、图像理解、机器翻译、自然语言处理、精准医疗、智能博弈等领域取得了举世瞩目的成功。然而, 神经网络的许多基础理论尚未建立完善。尽快建立该领域完善的基础理论, 进一步支撑成功的工程应用是该领域迫切需要解决的难题。

本项目在国家自然科学基金支持下, 经过十余年深入研究, 以建立完善神经网络基础理论体系为目标, 重点对神经网络的收敛性、周期性振荡等动力学行为, 子空间学习算法的收敛性以及神经网络的非线性增强本质机理等若干关键基础理论问题进行研究。主要科学发现如下:

1. 揭示了一类神经网络和模糊时滞控制网络内在的指数收敛性质, 提出了指数收敛估值的 Lyapunov 函数, 发现了神经元激活函数固有的一个积分变换不等式关系并基于此解决了神经元自抑制难以控制神经网络指数收敛的难题, 提出了时滞不确定性概念, 发现在一定条件下时滞对收敛性的影响主要是依赖时滞的上界, 与其具体形式无关, 发展了泛函微分不等式分析技巧解决了时滞不确定对模糊控制网络的稳定性影响, 构建了网络指数收敛系列准则。
2. 揭示了神经网络周期振荡的本质规律, 发现了当神经元激活函数和外部输入位于某类集合中时, 网络均可能存在稳定周期现象, 提出了神经网络的绝对周期性概念, 通过发展 *Poincaré* 映射, 建立了网络存在绝对周期的代数判据。进一步, 发现了神经网络基于局部抑制的不变集原理, 克服了神经网络中多周期振荡吸引子共存的困难, 获得了保证多周期振荡吸引子共存的简洁条件。
3. 发现了神经网络子空间学习算法的不变性原理, 提出了一套“不变性原理+DDT 方法+柯西收敛原理”的学习算法收敛性分析框架, 突破了 DCT 方法学习因子不能取常数的局限, 解决了多年来困扰若干著名学习算法的收敛性问题, 为神经网络子空间学习算法的实际应用和硬件实现提供了更为坚实的基础。
4. 揭示了无限时滞神经网络和分数阶微分对连续信号非线性增强的本质机理, 发现了无限时滞和分数阶微分与连续信号的内在关系, 提出了无限时滞细胞神经网络模型和一类分数阶微分掩模, 证明了无限时滞细胞神经网络能够收敛到局部饱和区域以保障网络的实际应用, 实现了复杂细节信息的非线性增强。

8 篇代表性论文 SCI 他引 570 次, Google 学术他引 854 次; 单篇最高 SCI 他引 149 次, 单篇最高 Google 学术他引 242 次。第一完成人因在神经网络收敛性分析上的贡献当选 IEEE Fellow, 历任 IEEE TNNLS 和 IEEETC 副编辑; 第三完成人获国家杰出青年科学基金, 任 IEEE TNNLS 副编辑; 第四完成人获国家优秀青年科学基金, 任 IEEE TCDS 副编辑。部分成果获 2012 年度教育部自然科学一等奖。

客观评价：

本项目发表的论文得到了美国、加拿大、德国、法国、澳大利亚、俄罗斯等数十个国家的研究学者的引用和评价。

1. 针对发现点 1，本项目于 1999 年提出的方法，引起了本领域许多科学家的关注，如 IEEE Fellow、神经网络先驱奖获得者 J. Wang 教授进一步发展了本项目提出的方法，获得了网络的指数收敛率下界；IEEE Fellow、日本脑科学研究所、神经网络创始人之一 Amari 教授和我国著名神经网络专家陈天平教授进一步扩大了本项目方法获得的指数收敛上界；加拿大工程院院士、Xiaoping Liu 教授将本项目中的模糊时滞控制网络研究进一步拓广到 H^∞ 控制。
2. 针对发现点 2，IEEE Fellow、“IEEE 计算智能学会”会刊主编 Kay Chen Tan 教授，在其论文中使用整段篇幅，介绍了本项目的研究成果；发表在国际神经网络学会会刊 Neural Networks 上的论文，评价本项目提出的“基于局部抑制的‘不变集’方法对多稳定分析非常有效”；IEEE Fellow、悉尼科技大学 W. X. Zheng 教授，发展了本项目提出的方法，在 IEEE TNN、Neural Networks 等神经网络领域国际著名期刊上陆续发表 4 篇论文，研究了一系列不同神经网络的多稳定性。
3. 针对发现点 3，IEEE Circuits and Systems Society Newsletter 副编辑、澳大利亚西澳大学 Herbert Iu 教授指出本项目研究的不变集问题“非常具有挑战性”。IEEE Fellow、UIUC 的 Meyn 教授评价本项目在 Oja 子空间学习算法收敛性的工作完成了“复杂的证明”。IEEE Fellow、加拿大 Concordia 大学著名神经网络专家 Swamy 教授，在 2014 年出版的专著中用一整段评价本项目提出的方法“保证了 GHA 的全局收敛性，显著地加速了学习算法收敛”。
4. 针对发现点 4，IEEE Trans. Neural Networks、IEEE Trans. Circuits & Systems 副编辑、意大利 M. Forti 教授评价本项目的成果“建立了时滞 Hopfield 神经网络和 Lipschitz 连续细胞神经网络平衡点的全局稳定性和全局指数稳定性的奠基性结果”。

代表性论文专著目录:

| 序号 | 论文专著名称/ 刊名/ 作者 | 影响 因子 | 年卷页 码 | 发表时间 年月日 | 通讯 作者 | 第一 作者 | 国内 作者 | 知识 产权 是否 归国 所有 |
|----|---|----------|--------------------------|-------------|----------|----------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | Stability of Fuzzy Control Systems with Bounded Uncertain Delays/IEEE Transactions on Fuzzy Systems/Z. Yi and P. A. Heng | 8.746 | 2002 年 10 卷 92 页 | 2002-02-01 | 章毅 | 章毅 | 章毅 | 是 |
| 2 | Convergence Analysis of Cellular Neural Networks with Unbounded Delay/IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications/Z. Yi, P. A. Heng, and K. S. Leung | 2.403 | 2001 年 48 卷 680 页 | 2001-06-01 | 章毅 | 章毅 | 章毅 | 是 |
| 3 | Absolute periodicity and absolute stability of delayed neural networks/IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications/Z. Yi, P. A. Heng, P.Vadakkepat | 2.403 | 2002 年 49 卷 256 页 | 2002-02-01 | 章毅 | 章毅 | 章毅 | 是 |
| 4 | Estimate of exponential convergence rate and exponential stability for neural networks/IEEE Transactions on Neural Networks/Z. Yi, P. A. Heng, A. W. C. Fu | 4.291 | 1999 年 10 卷 1487 页 | 1999-11-01 | 章毅 | 章毅 | 章毅 | 是 |
| 5 | Multiperiodicity and Attractivity of Delayed Recurrent Neural Networks with Unsaturating Piecewise Linear Transfer Functions/IEEE Transactions on Neural Networks/L. Zhang, Z. Yi and J. Yu | 4.291 | 2008 年 19 卷 158 页 | 2008-01-14 | 章毅 | 张蕾 | 张蕾, 章毅, 于佳 丽 | 是 |
| 6 | Convergence analysis of a deterministic discrete time system of Oja's PCA learning algorithm/IEEE Transactions on Neural Networks/Z. Yi, M. Ye, J. C. Lv and K. K. Tan | 4.291 | 2005 年 16 卷 1318 页 | 2005-11-07 | 章毅 | 章毅 | 章毅, 叶茂, 吕建 成 | 是 |
| 7 | Dynamics of Generalized PCA and MCA Learning Algorithms/IEEE Transactions on Neural Networks/D. Peng and Z. Yi | 4.291 | 2007 年 18 卷 1777 页 | 2007-11-05 | 章毅 | 彭德中 | 彭德 中, 章毅 | 是 |
| 8 | Fractional Differential Mask: A Fractional Differential-Based Approach for Multiscale Texture Enhancement/IEEE Transactions on Image Processing/Y. F. Pu, J. L. Zhou and X. Yuan | 3.625 | 2010 年 19 卷 491 页 | 2009-11-24 | 周激流 | 蒲亦非 | 蒲亦 非, 周激 流, 袁晓 | 是 |

主要完成人情况:

1. 章毅, 排名 1, 院长, 教授, IEEE Fellow, 工作单位: 四川大学, 完成单位: 四川大学, 是该项目主要负责人, 对发现点 1、2、3、4 均有重要贡献, 具体提出了指数收敛估值的 Lyapunov 函数, 提出了时滞不确定性概念, 提出了一套神经网络子空间学习算法收敛性分析框架, 提出了神经网络的绝对周期性概念, 提出了基于局部抑制的不变集方法, 提出了无限时滞细胞神经网络模型。
2. 周激流, 排名 2, 校长, 教授, 工作单位: 成都信息工程大学, 完成单位: 四川大学, 对发现点 4 有重要贡献, 具体提出了一类高精度计算分数阶微分掩模。
3. 吕建成, 排名 3, 教授, 国家杰青, 工作单位: 四川大学, 完成单位: 电子科技大学, 对发现点 3 有重要贡献, 具体获得了多个 PCA 神经网络学习算法的收敛性条件, 建立了 SDT 和 DDT 学习算法的联系。
4. 张蕾, 排名 4, 教授, 国家优青, 工作单位: 四川大学, 完成单位: 电子科技大学, 对发现点 2 有重要贡献, 具体提出了基于局部抑制的不变集方法和神经网络多周期振荡吸引子的存在条件。
5. 彭德中, 排名 5, 教授, 工作单位: 四川大学, 完成单位: 电子科技大学, 对发现点 3 有重要贡献, 具体获得了 MCA 神经网络学习算法收敛性的 DDT 条件。

完成人合作关系说明：

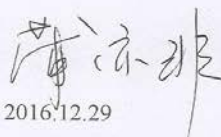
本项目第一完成人是项目负责人，四川大学计算机学院（软件学院）院长。本项目第二完成人在项目完成期间是四川大学计算机学院教授，与第一完成人合作发表与本项目相关的多篇论文，并以本项目中的部分成果，共同获得 2012 年度教育部自然科学一等奖。本项目第三、四、五完成人在参与本项目期间是第一完成人的博士生，并以本项目中的部分成果，共同获得 2012 年度教育部自然科学一等奖。

知情同意证明：

知情同意书

本人蒲亦非 (Yifei Pu) 同意论文“Fractional Differential Mask: A Fractional Differential-Based Approach for Multiscale Texture Enhancement”的通信作者周激流 (Jiliu Zhou) 将该论文用于申报 2017 年度国家自然科学基金“神经网络的若干关键基础理论研究”。

本人签名：



日期：2016.12.29