

2024 年度江西省自然科学奖提名项目公示

项目名称：小波理论及其数值技术求解分数阶微分方程

提名者：省教育厅

提名意见：

本项目一方面，基于第二类、第三类和第四类 Chebyshev 小波以及 Laguerre 小波，通过小波算子矩阵法和分数阶积分公式法以及配置法，给出对流扩散方程、变系数时间分数阶对流扩散方程和奇异边值问题的高精度数值解，获得了稳定而快速的小波数值技术；另一方面，在约化子空间中建立了广义多分辨率结构，得到了空间信号的一个金字塔分解和类似标架展开。5 篇代表作经检索库 Web of Science 检索为 2023 年 JCR 指标学科分区一区，Web of Science 核心合集被引频次总次为 184 次，他引 170 次，研究成果被国内外学术界公认和引用。

提名等级：一等奖

项目简介：

本项目属于基础数学和计算数学交叉学科研究领域，研究方向是小波分析理论及其数值技术在微分方程数值解中的应用。本项目主要研究内容：（1）一方面，基于 Chebyshev 小波的对流扩散方程、变系数时间分数阶对流扩散方程和具有混合边界条件的分数阶 Volterra-Fredholm 积分微分方程数值解的研究，另一方面，基于 Laguerre 小波的线性和非线性奇异边值问题数值解的研究；（2）基于约化子空间的广义多分辨率结构的小波标架构造理论研究。

本项目主要科学发现点及科学价值有：

（1）提出了基于小波数值技术的微分方程数值解法：基于第二类、第三类 Chebyshev 小波以及 Laguerre 小波，分别导出了其积分算子矩阵。基于第四类 Chebyshev 小波，导出了其分数阶积分公式，并获得了第二类、第三类 Chebyshev 小波展开的一致收敛性分析和误差估计，

以及第四类 Chebyshev 小波和 Laguerre 小波展开的误差估计。再结合配置法，给出了对流扩散方程、变系数时间分数阶对流扩散方程、具有混合边界条件的分数阶 Volterra-Fredholm 积分微分方程以及线性和非线性奇异边值问题的高精度数值解。数值实验显示了所建立的小波数值技术的有效性和高精度性。研究结果可为小波作为一种高效的数值计算工具在数值计算及求解工程科学领域中的复杂数学模型提供有效的数值计算技术。

(2) 建立了小波标架的构造理论：在一般约化子空间引入了广义多分辨率结构概念，得到了广义多分辨率结构存在的充分必要条件，得到了空间信号的一个金字塔分解和类似标架的展开。研究结果进一步丰富小波在其理论方面的发展。

本项目研究成果的 5 篇代表作论文经检索数据库 Web of Science 按 2023 年 JCR 指标学科分区均为一区，Web of Science 核心合集的“被引频次”总次为 184 次，他引 170 次，其中代表作 2[Applied Mathematics and Computation, 2016, 280:11-29]单篇 SCI 他引 53 次，该文工作获得同行专家的肯定，例如，Cairo University 学者 Nasser Hassan Sweilam 等人在论文 [Chaos, Solitons & Fractals, 2021, 144:110736]第 2 页指出该工作中的谱方法是科学计算和应用数学中使用的最强大的技术之一。

代表性论文专著目录

序号	论文（专著）名称/刊名	作者（按发表顺序）	年卷页码（××年××卷××页）	发表时间（年月日）	第一署名单位是否在赣单位
1	利用第二类 Chebyshev 小波求解对流扩散方程的数值解/应用数学与计算	周凤英，许小勇	2014 年 247 卷 353-367 页	2014-10-01	是
2	第三类 Chebyshev 小波配点法求解变系数分数阶对流扩散方程/应用数学与计算	周凤英，许小勇	2016 年 280 卷 11-29 页	2016-04-20	是
3	$L^2(\mathbb{R}^d)$ 中约化子空间上的广义多分辨率结构/中国科学	周凤英，李云章	2013 年 56 卷 619-638 页	2013-03-01	是

4	利用 Laguerre 小波求解线性和非线性奇异边值问题数值解/差分方程进展	周凤英, 许小勇	2016 年 20 16 卷 1-17 页	2016-01-25	是
5	Chebyshev 小波方法求解混合边界条件分数阶 Volterra-Fredholm 积分微分方程/国际计算机数学杂志	周凤英, 许小勇	2019 年 96 卷 436-456 页	2018-09-20	是

主要完成人情况

排名	姓名	职务	职称	工作单位	对本项目的贡献
1	周凤英	无	副教授	江西科技师范大学	基于第二类、第三类和第四类 Chebyshev 小波和 Laguerre 小波, 得到小波整数阶和分数阶积分算子矩阵和分数阶积分公式, 结合配置法, 给出了对流扩散方程、变系数时间分数阶对流扩散方程、具有混合边界条件的分数阶 Volterra-Fredholm 积分微分方程和奇异边值问题的高精度数值解的稳定而快速算法, 以及第二类 Chebyshev 小波展开的一致收敛分析和误差估计, 二维第三类 Chebyshev 小波展开的一致收敛分析和小波系数衰减估计。在一般约化子空间中, 建立了广义多分辨率结构, 并基于此, 得到了空间信号的一个金字塔分解和类似标架展开。
2	许小勇	无	副教授	东华理工大学	基于第二类、第三类和第四类 Chebyshev 小波以及 Laguerre 小波配置法, 运用 Matlab 编程, 实现对流扩散方程、变系数时间分数阶对流扩散方程、具有混合边界条件的分数阶 Volterra-Fredholm 积分微分方程和奇异边值问题的若干数值实验。

