

项目名称：图像模式的拓扑、逻辑及奇异性结构的表征理论和方法

主要完成人：唐远炎(澳门大学)、张太平(重庆大学)、尤新革(华中科技大学)、房斌(重庆大学)、尚赵伟(重庆大学)

提各单位意见：

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。按照要求，我单位和项目合作完成单位都已对该项目的拟提名情况进行了公示，目前无异议。

该项目的研究重点是人工智能的一个重要分枝：模式识别、计算机视觉和图像处理。项目团队针对图像模式的拓扑、逻辑及奇异性结构的表征理论和方法这一共性科学问题进行了十八年的系统研究，取得如下科学发现：1. 首次构造了图像模式形状自适应分析的新型小波函数，创新性提出了非张量积小波滤波器组的一般理论与方法；2. 首次提出了基于矢量微分变换和小波变换的图像模式不变量提取模型与方法，建立了噪声变化下图像模式鲁棒性表示的新模型和新方法；3. 首次将图像几何模式引入矩阵变换的目标函数，提出了保持拓扑结构非负矩阵变换理论和方法。

该项目发表 SCI 论文 100 余篇，获发明专利授权 15 项，计算机软件著作权 1 项。部分成果在国内外得到广泛应用，被 11 个美国专利引用，八篇代表性论文 SCI 他引 662 次，部分成果获国家教育部自然科学奖一等奖，重庆市自然科学二等奖和澳门特别行政区自然科学三等奖。

对照国家自然科学奖授奖条件，提名该项目申报 2019 年度国家自然科学奖二等奖。

项目简介：

从包含大量冗余和干扰信息的图像中如何提取计算机可识别的模式特征并进行有效计算是模式识别与人工智能等领域研究的核心基础理论。图像模式特征中包含拓扑、逻辑及奇异性等结构。这些结构的表征成为可计算、处理和识别的模式特征提取的关键，直接关系到图像后续理解，是计算机视觉、模式识别与人工智能等研究领域长期关注的科学问题。本项目围绕这一共性科学问题展开十八年的系统研究，取得如下科学发现：

1. 揭示了适用于图像模式形状自适应分析的小波函数应具有的特殊性质，即宽度、斜率、灰度位置及对称的不变性，首次构造了图像模式形状自适应分析的新型小波函数。提出了非张量积小波滤波器组的一般理论与方法，实现了对图像边缘、形状结构及中心线（骨架）的自适应刻画与定量表示，解决了传统小波分析对图像多尺度信息表示不完整和方向信息缺失的难题。

2. 发现了图像邻域间结构关系在噪声变化下的稳定性质，揭示了图像模式不变性与频域变换间的内在关系，首次提出了基于矢量微分变换和小波变换的图像模式不变量提取模型与方法，建立了噪声变化下图像模式鲁棒性表示的新模型和新方法，很好地解决了图像模式分析的鲁棒性问题。

3. 发现了在仿射变换下图像模式拓扑结构与逻辑结构之间的内在稳定性质，首次将图像几何模式引入矩阵变换的目标函数，提出了保持拓扑结构非负矩阵变换理论和方法，使图像代数模式与图像几何模式有机地融合，建立了保持图像几何拓扑模式的结构矩阵变换理论，解决了图像模式代数特征表示中几何拓扑特征和频域信息保持的问题。主要研究成果发表 SCI 论文 100 余篇，包括《IEEE PAMI》等国际权威期刊。Google 引用超过 1 万次，获发明专利授权 15 项，计算机软件著作权 1 项，被 11 个美国专利引用。其中：八篇代表性论文 SCI 他引用 662 次，总他引 1245 次。论文引用来自 47 个国家和地区的专家、学者，包括中国科学院院士、中国工程院院士、加拿大皇家科学院院士、英国皇家工程院院士、荷兰皇家艺术与科学院院士、IEEE Fellow、国际模式识别最高奖 K.S. Fu Prize 获得者、美国青年总统奖获得者、美国总统计算机视觉科学顾问委员会主席、两任《IEEE TPAMI》主编等。研究成果获教育部自然科学奖一等奖 1 项、重庆市自然科学奖二等奖 2 项、澳门特别行政区科学技术奖三等奖 2 项。被国际权威《Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision》收录在该手册的第二，三版。第一完成人被选为 IEEE Fellow 和 IAPR Fellow，首次在中国主办国际模式识别大会（ICPR）并任大会主席，担任 11 个国际会议主席，创办 SCI 国际刊物《IJWMP》，并担任 3 个 IEEE 汇刊编委和其他 3 个 SCI 期刊副主编。本项目的成果在国内外得到广泛应用，被 11 个美国专利引用，例如美国专利《Optical Character Reading Method and System for A Document with Ruled Lines and its Application》（专利号：US-2003/0123732-A1）。

客观评价：

【1】中国工程院院士、北京航空航天大学赵沁平教授在国际权威学术期刊《IEEE IP》2007 年第 11 期上发表的代表性引文 1 中，对代表性论文 1 的矢量微分算子变换的图像模式不变性分析给予了充分肯定：“Most of current single face illumination manipulation methods such as Li et al. [22], Han et al. [23], and Xie et al. [24] are related to face recognition (Zhang et al. [25])”。

【2】加拿大皇家科学院院士、国际文本识别奠基人、IEEE Life Fellow、IAPR Fellow、加拿大康可迪亚大学 C. Y. Suen 教授在国际权威学术期刊《IEEE IP》2011 年第 7 期上发表的代表性引文 2 中引用代表性论文 1 和 2 高度评价了本项目的发现点 2：“Zhang et al. developed a novel technique called Gradientfaces by extracting the illumination insensitive measure from the gradient domain [4].”，“and logarithmic wavelet transform (LWT) [13], respectively. Among the methods of extracting the illumination insensitive/invariant features, the Retinex theory-based methods always perform better than the others.”。

【3】美国青年总统奖获得者、《IEEE PAMI》前主编、IEEE、IAPR、OSA、AAAS、ACM Fellow、国际模式识别最高奖 K.S. Fu Prize 获得者，美国马里兰大学 Rama Chellappa 教授在国际权威学术期刊《IEEE IP》2012 年第 7 期上发表的代表性引文 3 中，对代表性论文 1 的矢量微分算子变换的图像模式不变性分析给予了高度评价：“We also compare the performance of our method with several state-of-the-art illumination normalization based methods such as Gradientfaces (GF)[39].”。

【4】美国科学院院士、瑞典皇家科学院院士，萨克生物研究学院 Fred H. Gage 教授在国际权威学术期刊《Neuron》2008 年第 12 期上发表的代表性引文 4 中，对代表性论文 3 的代数与几何模式融合的矩阵变换方法给予了充分肯定“... enhance detection of local topological structure in facial feature detection (Zhang et al., 2008)”。

【5】新加坡国立大学的 IEEE Fellow，Shuicheng Yan 教授在国际权威学术期刊《IEEE IP》2014 年第 2 期上发表的代表性引文 5 中，对代表性论文 4 的矩阵指数变换的鉴别模式分析给予了高度评价：“To address the above issues, we propose a general exponential framework for dimensionality reduction, motivated by the work in [33]. In [33], Zhang et al. proposed exponential discriminant analysis (EDA), using matrix exponential to deal with the SSS problem of LDA. In the proposed framework, the matrix exponential can be considered as the cumulative sum of the similarity/transition matrices after the random walk over the feature similarity matrix. The

random walk makes the feature similarity matrix more reliable and suppresses the sensitivity to the size of neighbors. The fact that the matrix exponential is non-singular well deals with the SSS problem.”。

【6】德克萨斯州农工大学的 IEEE Fellow，Mladen Kezunovic 教授在国际权威学术期刊《IEEE PD》2012 年第 4 期上发表的代表性引文 6 中，将代表性论文 5 的模角分离理论应用到电力领域的相位估计，并给予了充分肯定：“Many techniques have been proposed to detect and further characterize the singularity of signals [21], [22]. This paper utilizes these principles and makes improvement for better resolving the specific problems raised in a power system.”。

【7】IEEE Fellow、四川大学的 Yi Zhang 教授在国际权威学术期刊《IEEE SMC-B》2007 年第 10 期上发表的代表性引文 7 中，对代表性论文 6 的基于新型小波函数的图像模式形状自适应分析给予了充分肯定：“Generally, a good thinning image should have the following characteristics [17], [20]: 1)It conform swith the custom of human perception;2)it is the median of object; 3) it retains the original connectivity; 4) it has high thinning rate (TR); and 5) it is of low computation time expense.” 和 “some unconventional ones [13], [15], [17], [18] are also presented.”。

【8】美国 Johns Hopkins 大学的 Youngmi Hur 教授在国际权威学术期刊《IEEE IT》2013 年第 6 期上发表的代表性引文 8 中，对代表性论文 7 的基于新型非张量积小波变换的图像模式分析给予了高度评价：“Although there have been many methods for constructing nonseparable multi-D wavelets [3] – [16], constructing nonseparable multi-D wavelet systems is highly nontrivial.”。注：[15]是代表性论文 7。

代表性论文专著目录：

序号	论文专著 名称/刊名 /作者	年卷页 码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表 时间 (年 月 日)	通讯 作者 (含 共 同)	第一 作者 (含 共 同)	国内 作者	SCI 他 引 次 数	他 引 总 次 数	论文 署名 单位 是否 包含 国外 单位
1	Face Recognition Under Varying Illumination Using Gradientfaces /IEEE Transactions on Image Processing/Taiping Zhang, Yuan Yan Tang, Bin Fang, Zhaowei Shang, Xiaoyu Liu	09 年 18 卷 2599-2605 页	2009 年 11 月 01 日	唐远炎	张太平	张太平, 唐远炎, 房斌, 尚赵伟, 刘晓宇	191	393	否
2	Multiscale facial structure representation for face recognition under varying illumination/ Pattern Recognition/Pattern Recognition//Taiping Zhang, Bin Fang, Yuan Yuan, Yuan Yan Tang, Zhaowei Shang, Donghui Li, Fangnian Lang	09 年 42 卷 251-258 页	2009 年 07 月 01 日	张太平	张太平	张太平, 房斌, 袁媛, 唐远炎, 尚赵伟, 李东晖, 郎方年	101	204	否
3	Topology preserving non-negative matrix factorization for face recognition/IEEE Transactions on Image Processing/Taiping Zhang, Bin Fang, Yuan Yan Tang, Guanghui H. He and Jing Wen	08 年 17 卷 574-584 页	2008 年 04 月 01 日	唐远炎	张太平	张太平, 房斌, 唐远炎, 何光辉, 文静	73	126	否
4	Generalized Discriminant Analysis: A Matrix Exponential Approach/IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Part B/Taiping Zhang, Bin Fang, Yuan Yan Tang, Zhaowei Shang, Bin Xu	10 年 40 卷 186-197 页	2010 年 02 月 01 日	张太平	张太平	张太平, 房斌, 唐远炎, 尚赵伟, 胥斌	73	134	否

5	Characterization of Dirac-Structure Edges with Wavelet Transform/IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics—Part B: Cybernetics/Yuan Y. Tang, Lihua Yang, Jiming Liu	2000 年 30 卷 93-109 页	2000 年 01 月 01 日	唐远 炎	唐 远 炎	唐远 炎, 杨 力华, 刘 际明	32	95	否
6	Skeletonization of ribbon-like shapes based on a new wavelet function/IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence /Yuan Yan Tang, Xinge You	03 年 25 卷 1118- 1133 页	2003 年 09 月 01 日	唐远 炎	唐 远 炎	唐远 炎, 尤新 革	61	103	否
7	A Blind Watermarking Scheme Using New Nontensor Product Wavelet Filter Banks /IEEE Transactions on image processing /Xinge You, Liang Du, Yiu-ming Cheung, Qiuhui Chen	10 年 19 卷 3271- 3284 页	2011 年 12 月 01 日	尤新 革	尤 新 革	尤新 革, 杜 亮, 张晓 明, 谌秋 辉	63	100	否
8	Robust face recognition via occlusion dictionary learning /Pattern Recognition/Weihua Ou, Xinge You, Dacheng Tao, Pengyue Zhang, Yuanyan Tang, Ziqi Zhu	14 年 35 卷 1559- 1572 页	2014 年 04 月 01 日	尤新 革	欧 卫 华	欧卫 华, 尤新 革, 张鹏 越, 唐远 炎, 朱 子奇	68	90	是
合 计							662	124 5	

主要完成人情况表：

姓名	唐远炎	排名	1	技术职称	教授
工作单位	澳门大学				
完成单位	澳门大学				
对本项目技术创造性贡献		在模式识别与图像分析领域长期开展研究，提出了图像模式几何拓扑特征的代数表示与提取的理论与方法；图像模式奇异性特征提取的理论与算法；以及图像模式特征自适应计算的理论与算法。对科学发现点 1-3 做出了贡献，见代表论文 1,2,3,4,5,6,8。参与本项目的工作量占本人全部工作量的 90%。			
曾获国家科技奖励情况		无			

姓名	张太平	排名	2	技术职称	教授
工作单位	重庆大学				
完成单位	重庆大学				
对本项目技术创造性贡献		从 2005 年攻读唐远炎教授的博士研究生起，参加唐教授的课题组一直作为核心成员开展模式识别与图像分析的研究，共同提出了图像模式几何拓扑特征的代数表示与提取的理论与方法。对科学发现点 1 做出了贡献，见代表性论文 1,2,3,4。参与本项目的工作量占本人全部工作量的 70%。			

曾获国家科技奖励情况	无
------------	---

姓名	尤新革	排名	3	技术职称	教授
工作单位	华中科技大学				
完成单位	华中科技大学				
对本项目技术创造性贡献	从 2000 年攻读唐远炎教授的博士研究生起，参加唐教授的课题组一直作为核心成员开展模式识别与图像分析的研究，共同提出了图像模式不同结构奇异性特征分析、小波函数构造及骨架化特征分析的理论与算法。对科学发现点 2 做出了贡献，见代表性论文 6,7,8。参与本项目的工作量占本人全部工作量的 70%。				
曾获国家科技奖励情况	无				

姓名	房斌	排名	4	技术职称	教授
工作单位	重庆大学				
完成单位	重庆大学				
对本项目技术创造性贡献	从 1997 年在唐教授指导下攻读博士学位起，参加唐教授的课题组一直作为核心成员开展模式识别与图像分析的研究，共同提出了图像模式几何拓扑特征的代数表示与提取的理论与方法。对科学发现点 1 做出了贡献，见代表性论文 1,2,3,4。参与本项目的工作量占本人全部工作量的 70%。				

曾获国家科技奖励情况	无
------------	---

姓名	尚赵伟	排名	5	技术职称	教授
工作单位	重庆大学				
完成单位	重庆大学				
对本项目技术创造性贡献	从 2006 年起读唐远炎教授的博士后，参加唐教授的课题组一直作为核心成员开展模式识别与图像分析的研 究，共同提出了图像模式几何拓扑特征的代数表示与提取的理论与方法。对科学发现点 1 做出了贡献，见 代表性论文 1,2,4。 参与本项目的工作量占本人全部工作量的 70%。				
曾获国家科技奖励情况	无				

完成人合作关系说明：

第一完成人与其他四位完成人都系师生合作。具体如下：

第二完成人张太平系第一完成人的博士研究生，也是第一完成人的合作同事，合作时间 2005 年 10 月至今。

第三完成人尤新革系第一完成人的博士研究生，同时第一完成人也是其在香港浸会大学、澳门大学访问学者的合作导师，合作时间从 2000 年 10 月至今。

第四完成人房斌系第一完成人博士研究生，也是第一完成人在重庆大学的合作同事，合作时间 1998 年 9 月至今。

第五完成人尚赵伟系第一完成人在澳门大学博士后访问学者，也是第一完成人在重庆大学的博士后及合作同事，合作时间 2008 年 7 月至今。