

# 2017 年度国家自然科学奖公示内容

<b>项目名称</b>	脑信号分析算法与非侵入式脑机接口研究
<b>推荐单位（专家）意见</b>	
<p>该项目紧跟国际前沿，具有重要科学意义与应用前景。该项目针对脑机接口多自由度控制难点问题，提出了多模态方法，建立了多个面向应用的系统；针对脑机接口系统中高性能检测难点问题，提出了基于典型相关分析的频率方法和基于伪键的异步多模态检测方法；建立了多模态脑机接口轮椅控制系统，实现了轮椅的多功能脑操作；针对脑信号高噪声、高度动态变化、高维等难点问题，建立了基于稀疏表示的脑信号特征选择与信息解码系列算法等。该项目发表了大量国际权威期刊论文，论文被众多国际权威学者正面引用。相关成果丰富了脑机接口理论与关键技术，促进了脑机接口技术的应用。</p> <p>推荐该项目为国家自然科学奖二等奖。</p>	
<b>项目简介</b>	
<p>脑信号分析与脑机接口是目前国际上的学科前沿热点，涉及脑科学、医学、计算机、信号处理、传感器、自动控制等学科领域，具有重要科学意义与应用前景。特别是脑机接口可用于残疾人神经功能辅助与康复、增强人机接口等，是医疗助残、应对人口老龄化方面的前沿技术，符合国家战略需求。</p> <p>项目研究内容包括脑信号分析算法与非侵入式脑机接口系统两个方面，其中脑信号分析算法是脑机接口系统的重要环节与支撑，而脑机接口系统可以为脑信号分析算法提供验证。取得如下科学成果：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 针对脑机接口多自由度控制难点问题，提出了多模态方法及多个面向应用的系统。如提出了基于多模态脑机接口的二维光标控制方法及系统，在该系统中，我们从脑电中提取基于左右手运动想象的 <math>\mu</math> 节律信号，控制光标水平运动，提取视觉诱发 P300 信号，控制光标垂直运动。两个控制信号产生机制不同，几乎独立，在国际上首次实现了光标从随机起始位置到随机目标位置的控制；进一步实现了脑控鼠标，并研发了脑机接口网络浏览器、邮件发送系统与资源管理器，使用户可以用脑上网，书写收发电子邮件，管理文档等。</li></ol>	

2. 针对脑机接口系统中高性能检测难点问题，提出了基于典型相关分析的频率方法，实质性推动了稳态视觉诱发电位脑机接口信息传输速率的瓶颈问题的解决；提出了基于伪键的异步检测方法，并进一步建立了一种新型的基于 P300 和 SSVEP 的多模态脑机接口及异步脑开关，显著提高了系统检测性能，部分技术已进入相关医院临床试用。

3. 建立了多模态脑机接口轮椅控制系统，实现了轮椅的启动停止、加速减速、左转右转、前进后退等功能的脑操作。比较目前国内外报道的脑控轮椅，我们的多模态脑控轮椅的脑操控功能最多。该轮椅多次对外展示，引起了媒体和社会广泛关注，并已进入相关医院临床试用。

4. 针对脑信号微弱、高噪声、高度动态变化、高维等难点问题，建立了基于稀疏表示的脑电与功能核磁共振信号特征选择与信息解码系列算法；基于脑电数据特有时空频模式，从优化和贝叶斯统计机器学习的角度提出了系列高性能分析和解码方法；并将这些方法应用于脑机接口。

发表 SCI 期刊论文 78 篇，其中 IEEE 汇刊长文 30 篇，其发表论文的权威期刊包括 Proc. of the IEEE, IEEE Trans. PAMI, 美国科学院院刊 (IF: 9.7), Cerebral Cortex (IF:8.3), IEEE Sig. Proc. Magazine, NeuroImage 等，被授权 6 个发明专利。8 篇代表性论文被 SCI 和 ISTP 他引约 700 余次，Google 学术网引用约 1600 余次。得到了众多 IEEE Fellows、IEEE 汇刊主编或副主编、院士（美国科学院/工程院、德国科学院等）等国际权威学者的正面引用。项目成果丰富了脑机接口理论与关键技术，促进了其应用。第一完成人获得了教育部长江学者特聘教授等称号。

#### 客观评价

(1) 8 篇代表性论文被 SCI 和 ISTP 他引约 700 余次，Google 学术网引用约 1600 余次。

(2) 引用我们工作的部分国际权威学者（不完全统计）。

IEEE Fellow: H. Adeli, T. Sejnowski, G. Cauwenberghs, T. P. Jung, Kenneth Kreutz-Delgado, C. T. Lin, S. W. Lee, K. M. Lee, A. Cichocki, Bin He, R. K Ward, Johan A.K. Suykens, S. k. Gao, E. N. Brown, K. N. Plataniotis, T. Adali, V. D. Calhoun;

IEEE 期刊主编/副主编: G. Cauwenberghs, T. P. Jung, Kenneth Kreutz-Delgado, Y. M. Chi, D. G. Zhang, C. T. Lin, S. W. Lee, K. M. Lee, A. Cichocki, Bin He,

G. R. Müller-Putz, J. d. R. Millán, K. R. Müller, T. Denison, Y. L. Liu, Y. W. Wang, D. J McFarland;

院士：K. R. Müller（德国科学院院士），Rabab K. Ward（加拿大皇家学会院士、加拿大工程院院士），T. Sejnowski（美国国家医学院、美国国家科学院、及美国国家工程院的院士、斯沃茨奖获得者，目前全世界仅存的10位三院院士之一），S. W. Lee（韩国科学院院士），E. N. Brown（美国科学院院士、美国工程院院士），G. Pfurtscheller（奥地利科学院院士），N. Birbaumer（德国莱布尼茨奖、爱因斯坦艾伯特世界科学奖、神经肌肉疾病研究奖获得者、德国科学与文学研究院院士）；

其他权威学者：无创式脑-机接口开创者、纽约州卫生局自适应神经技术国家中心主任、纽约州立大学公共卫生学院教授 J. R. Wolpaw；2007 韩国总统奖获得者，釜山国立大学 K. S. Hong 教授；国际救援体系学会副会长，日本京都大学 F. Matsuno 教授；美国国立卫生研究院事业发展奖 the NIH K01 Career Award (2007-2012)，美国自然科学基金委杰出青年学者奖 the NSF CAREER Award (2012-2017)，美国佐治亚大学 T. M. Liu 教授；美国国家精神卫生研究所基因组统计学首席教授 Y. Yao Shugart 教授。

(3) 引用我们工作的部分国际权威期刊（不完全统计）：Proc. of the National Academy of Sciences (IF: 9.7)，NeuroImage (IF: 6.3)、The Neuroscientis (IF: 6.8)、Proc. of the IEEE (IF: 4.9)、International Journal of Neural Systems (IF: 6.5)、J. of Neuroscience (IF: 6.3)、IEEE Signal Processing Magazine (IF: 5.9)、J. of Neural Engineering (IF: 3.3)、IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence (IF: 5.8)、IEEE Trans. Neural Systems and Rehabilitation Engineering (IF: 3.2)、IEEE Trans. Biomedical Engineering (IF: 2.4)、IEEE Trans. Signal Processing 等 IEEE 汇刊。

### 主要完成人情况

姓名	李远清	完成单位	华南理工大学	工作单位	华南理工大学
第 （一） 完成人	项目的主要实施者和组织者，项目策划者之一，负责确定研究内容及方案。对创新性成果 1、2、3、4 作出重要贡献，提出了基于稀疏表示的脑信号分析理论方法，提出了利用多模态脑机接口实现多自由度控制的设计理论与方法，设计了多模态脑控轮椅，成功实现了轮椅的方向和速度同时控制，是代表性论文 1、				

	4、6 的第一作者和通讯作者，是代表性论文 5 的通讯作者。					
	证明材料：代表性论文 1、4、5、6					
	<p>曾获得国家科技奖情况：</p> <p>1. 盲信号的分离和辨识理论及其应用，2009 年国家自然科学二等奖(排名第二)</p> <p>2. 盲信号处理及时间序列的频率振动和混沌重构的理论研究，2005 年教育部自然科学一等奖（排名第二）。</p>					
第 (二) 完成人	姓名	高小榕	完成单位	清华大学	工作单位	清华大学
	项目的组织者之一，对创新性成果 2, 4 有重大贡献，提出并实现了基于典型相关的稳态诱发电位脑机接口算法，目前该算法已是脑机接口主流方法之一，是代表作论文 2 的第一作者和通讯作者，代表性论文 3 和 8 的通讯作者。					
	证明材料：代表性论文 2、3、8					
	曾获得国家科技奖情况：无					
第 (三) 完成人	姓名	吴畏	完成单位	华南理工大学	工作单位	华南理工大学
	项目的主要实施者之一，负责研究方案和数据分析。对创新性成果 2、4 做出重要贡献，提出了脑电分类的迭代空域频域模式学习算法，提出了脑电节律信号分析的分层贝叶斯模型，提出了事件相关电位分析的混合效应贝叶斯模型，是代表性论文 7 的第一作者和通讯作者。					
	证明材料：代表性论文 7					
	曾获得国家科技奖情况：无					
第 (四) 完成人	姓名	龙锦益	完成单位	华南理工大学	工作单位	华南理工大学
	项目的主要参与者，参与研究内容与方案的确定、负责方法的实现与数据分析。对创新性成果 1、3 作出重要贡献，参与实现了利用多模态脑机接口进行多自由度控制的方法，参与设计与实现了多模态脑控轮椅的方向和速度同时控制，是代表性论文 5 的第一作者，是代表性论文 1 的主要完成人之一。					
	证明材料：代表性论文 1、5					
	曾获得国家科技奖情况：无					
第	姓名	宾光宇	完成单位	清华大学	工作单位	清华大学

(五) 完成人	项目的主要实施者和参与者之一，对本项目的创新性成果 2 有重要贡献，提出并实现了基于典型相关的稳态诱发电位脑机接口算法，目前该算法已是脑机接口主流方法之一，是代表作论文 3 的第一作者。
	证明材料：代表性论文 3
	曾获得国家科技奖情况：无

**代表性论文专著目录（不超过 8 篇）**

序号	论文专著名称	刊名	发表时间	通讯作者	第一作者	产权是否归国内所有
1	An EEG-based BCI system for 2-D cursor control by combining Mu/Beta rhythm and P300 potential	IEEE Trans. Biomed. Eng.	2010.7.8	Yuanqing Li (李远清)	Yuanqing Li (李远清)	是
2	A BCI-based environmental controller for the motion-disabled	IEEE Trans. Neural Syst. Rehab. Eng.	2003.7.28	Xiaorong Gao (高小榕)	Xiaorong Gao (高小榕)	是
3	An online multi-channel SSVEP-based brain-computer interface using a canonical correlation analysis method	J. of Neural Eng.	2009.6.9	Xiaorong Gao (高小榕)	Guangyu Bin (宾光宇)	是
4	A hybrid BCI system combining P300 and SSVEP and its application to wheelchair control	IEEE Trans. Biomed. Eng.	2012.6.6	Yuanqing Li (李远清)	Yuanqing Li (李远清)	是
5	A hybrid brain computer interface to control the direction and speed of a simulated or real wheelchair	IEEE Trans. Neural Syst. Rehab. Eng.	2009.6.26	Yuanqing Li (李远清)	Jinyi Long (龙锦益)	是
6	Voxel selection in	IEEE Trans.	2009.	Yuanqing	Yuanqing	是

	fMRI data analysis based on sparse representation	Biomed. Eng.	6. 26	Li (李远清)	Li (李远清)	
7	Classifying single-trial EEG during motor imagery by iterative spatio-spectral patterns learning (ISSPL)	IEEE Trans. Biomed. Eng.	2008. 6. 16	Wei Wu (吴畏)	Wei Wu (吴畏)	是
8	BCI competition 2003-data set IIb: enhancing P300 wave detection using ICA-based subspace projections for BCI applications	IEEE Trans. Biomed. Eng.	2004. 5. 24	Xiaorong Gao (高小榕)	Neng Xu (徐能)	是

#### 完成人合作关系说明

李远清（主要完成人一）和项目组其他成员科研合作多年，如完成了或正在进行多个合作科研项目，合作发表了众多高水平期刊论文，合作申请了多项发明专利等。具体介绍如下：

高小榕（主要完成人二）与李远清（主要完成人一）团队一直保持着科研合作关系，共同承担了国家高技术研究发展计划(863 计划)课题（基于视听觉和神经反馈的脑机一体技术研究，2012-2015，837 万）。

吴畏（主要完成人三）2003 年进入清华大学医学院神经工程实验室攻读硕士学位，导师为高小榕（主要完成人二），2006 年继续在该实验室攻读博士学位。吴畏于 2012 年进入华南理工大学工作，并加入李远清（主要完成人一）研究团队至今。

龙锦益（主要完成人四）、是李远清（主要完成人一）的博士研究生，其毕业后留校工作。迄今为止，上述成员的科研合作一直在密切进行，成果丰富，见代表性论文和知识产权。

宾光宇（主要完成人五），是高小榕（主要完成人二）的博士研究生，毕业后在北京

工业大学工作。

两个团队近年来有多篇合作论文在 IEEE PAMI, NeuroImage 等权威期刊发表（本项目主要论文 15, NeuroImage, 2014.3; Probabilistic common spatial patterns for multichannel EEG analysis, IEEE PAMI, 2015.3）。

### 知情同意证明

现华南理工大学李远清教授等申报 2017 年度国家自然科学基金类《脑信号分析算法与非侵入式脑机接口研究》，使用了以下作者发表的 8 篇论文：

1. 余天佑以第三作者、俞祝良以第四作者发表的论文《An EEG-based BCI system for 2-D cursor control by combining Mu/Beta rhythm and P300 potential》；
2. 徐丁峰以第二作者、程明以第三作者、高上凯以第四作者发表的论文《A BCI-based environmental controller for the motion-disabled》；
3. 闫铮以第三作者、洪波以第四作者、高上凯以第五作者发表的论文《An online multi-channel SSVEP-based brain-computer interface using a canonical correlation analysis method》；
4. 潘家辉以第二作者、王斐以第三作者、俞祝良以第四作者发表的论文《A hybrid BCI system combining P300 and SSVEP and its application to wheelchair control》；
5. 王洪涛以第三作者、余天佑以第四作者、潘家辉以第五作者、李峰以第六作者发表的论文《A hybrid brain computer interface to control the direction and speed of a simulated or real wheelchair》；
6. PraneethNamburi 以第二作者、俞祝良以第三作者、Cuntai Guan 以第四作者、冯建峰以第五作者、顾正晖以第六作者发表的论文《Voxel selection in fMRI data analysis based on sparse representation》；
7. 洪波以第三作者、高上凯以第四作者发表的论文《Classifying single-trial EEG during motor imagery by iterative spatio-spectral patterns learning

(ISSPL)》;

8. 徐能以第一作者、洪波以第三作者、缪小波以第四作者、高上凯以第五作者发表的论文《BCI competition 2003-data set IIb: enhancing P300 wave detection using ICA-based subspace projections for BCI applications》。

以上论文作者均已知悉和同意此次报奖，对将产生的成果和奖励无异议。