

脑机接口领域的研发态势分析

傅俊英¹, 剧伟伟², 齐 静², 毛军文²

(1. 中国科学技术信息研究所, 北京 100038;

2. 北京脑科学与类脑研究中心, 北京 102206)

摘 要: 脑机接口作为脑科学和类脑智能研究的重要方向受到广泛关注。本文基于 2010—2021 年科学引文索引平台 (SCIE) 的脑机接口相关论文数据, 以及德温特创新平台 (DI) 收录的相关专利数据, 从脑机接口论文和专利的数量、国家分布、顶尖机构以及研究热点等角度, 分析了脑机接口领域的研究发展趋势、研发实力分布以及研究热点演变等。结果表明, 近十余年来, 全球脑机接口相关论文发表和专利申请数量均呈现逐年增长趋势, 研究热点也有了明显的变化, 目前以卷积神经网络为代表的算法研究较多。中国的脑机接口论文和专利数量居于世界前列, 但是相关论文的学术影响力较低, 而专利质量亦有待提高, 并应提升企业在研发中的参与程度。

关键词: 脑机接口; 论文; 专利; 研发态势分析

中图分类号: Q6; G255.53 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2022.07.009

脑机接口 (Brain Computer Interface, BCI) 是指在无外周神经系统和肌肉组织参与条件下, 通过计算机等电子设备采集转化大脑活动信号为输出控制信号, 进而在人或动物与外界设备之间创建的直接连接, 目的是实现脑与设备的信息交换^[1, 2]。脑机接口是脑科学和类脑智能研究的重要内容, 受到各国政府、企业的高度重视。2021 年 9 月, 中国科学技术部发布《科技部关于发布科技创新 2030—“脑科学与类脑研究”重大项目 2021 年度项目申报指南》^[3], 指出新型无创/微创脑机接口技术以及柔性脑机接口技术等是重要研究方向。随着神经科学、生物兼容材料、传感器和大数据等技术的进步, 脑机接口技术取得了许多突破性进展。2021 年 4 月, 马斯克的 Neuralink 公司通过植入脑机接口技术, 让一只猴子可以仅依靠大脑意念控制就能玩游戏^[4]。结合人工智能、神经生

物学以及外部技术的快速发展, 脑机接口更将取得长足进步^[5, 6]。本文基于论文和专利分析, 对脑机接口领域的发展态势进行了阐释。

1 数据来源与处理

本文采用科睿唯安公司的科学引文索引 (Science Citation Index Expanded, SCIE) 数据库对脑机接口领域的论文进行检索和分析。该数据源目前收录自然科学领域 8 200 余种全球高影响力的学术期刊, 数据最早可以回溯到 1900 年, 内容涵盖计算机科学、物理学、材料科学等 150 多个学科^[7]。本研究以该库论文数据为基础, 分析脑机接口领域的基础研究情况。同时, 本文采用科睿唯安公司德温特创新平台 (Derwent Innovation, DI) 对脑机接口领域的专利进行检索和分析。该数据源收录全球 100 多个国家/地区的专利信息, 包括 6 000 多万

第一作者简介: 傅俊英 (1972—), 女, 研究员, 主要研究方向为科学计量学和科技政策。

项目来源: 上海市科技计划项目“全球前沿技术发展趋势研究” (20692112800)。

收稿日期: 2022-03-10

个专利和近 3 000 万个同族专利等, 可以帮助了解世界最前沿的技术态势和最具竞争力的对手, 预测诸多商业发展态势等^[8]。本研究以该库专利数据为基础, 分析脑机接口领域的技术研发情况。检索时间范围为 2010 年 1 月 1 日—2021 年 8 月 2 日, 检索日期为 2021 年 8 月 2 日。

2 研究结果

2.1 脑机接口研究的发展趋势

2.1.1 脑机接口相关论文的发表情况

学术论文是重要的科技情报源, 期刊文献记载的一般都是学科领域的基础研究成果。SCIE 收

录的期刊中共发表脑机接口相关论文 8 444 篇。如图 1 所示, 2010—2021 年间, 全球脑机接口相关论文的发表数量呈现逐年增长趋势, 从最初发表的 272 篇直至 2020 年首次超过 1 000 篇。而论文数量的年增长率, 则出现起伏波动趋势。2011 年的年增长率达到最高值 38%, 这可能与之前的基数较低有关; 2013 和 2015 年均达到 20% 的高增长率, 这可能与脑机接口研究及其成果在当年的快速增长有关。而且, 全球首个专门的学术期刊《脑机接口》(Brain-Computer Interfaces) 在 2013 年创刊; 2015 年, 国际脑机接口协会成立, 旨在促进研发使人们能够通过大脑信号与世界交互的技术。

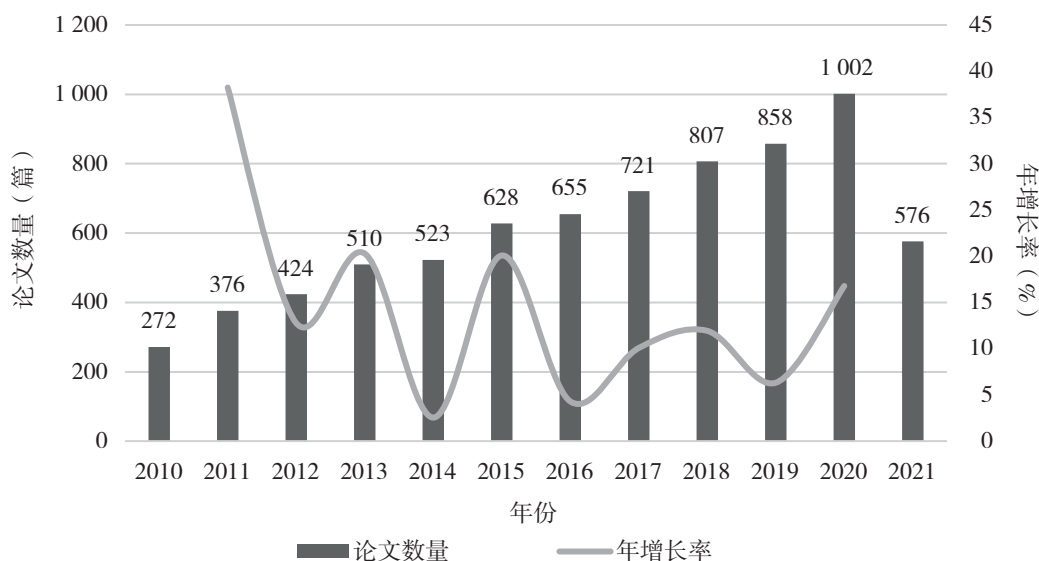


图 1 2010—2021 年脑机接口领域的论文发表情况

2.1.2 脑机接口相关专利的申请情况

专利是技术研发的成果和载体, 能够体现技术创新的水平和能力。在脑机接口领域, 全球所有类型专利的申请数量均呈现逐年增长趋势。共检索到脑机接口相关专利 7 452 件。由图 2 可见, 从 2014 年开始, 专利数量增加速度加快, 而在 2017 年之后增加速度更加迅猛。由于各国 / 地区的知识产权监管部门通常在收到专利申请的 18 个月后才将相关信息公开, 故 2020 年的部分专利申请尚未统计入内, 导致可检索到的专利申请数量较上一年稍有下降。

在发明专利、实用新型专利和外观设计专利三种类型专利中, 发明专利最具有创新价值和技术含量。脑机接口领域的发明专利占到所有专利的 89.16%, 表明该领域的专利成果整体上创造性、新颖性较高。而一个领域的发明专利授权率可以表征该领域专利技术创新的质量高低, 脑机接口领域发明专利的平均授权率为 45.53%, 略高于中国国内所有技术类别的授权率(41.61%)。从图 2 中可见, 自 2016 年开始, 专利授权数量与专利申请数量的差距加大, 且逐年明显, 这应该与专利平均 2~5 年的授权周期有关, 而与专利质量无关。

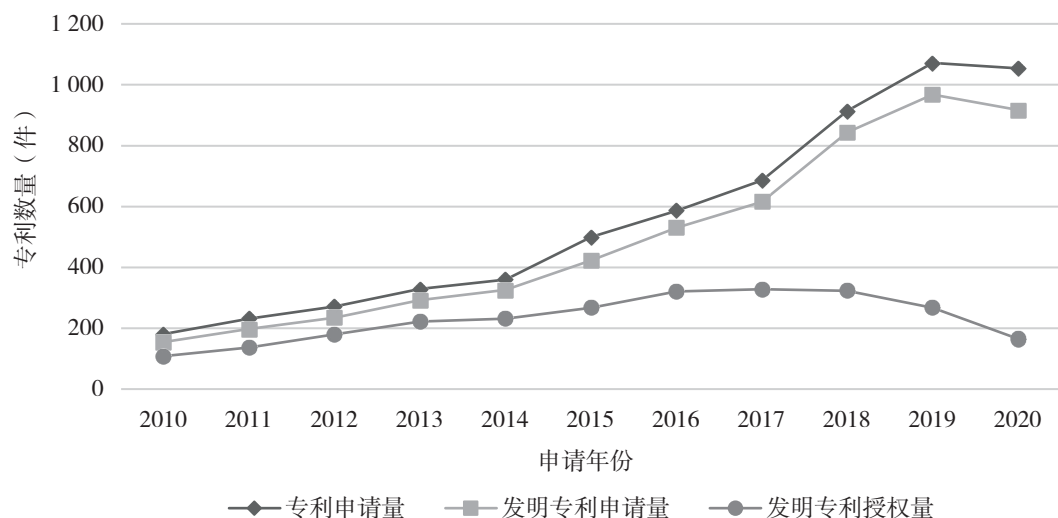


图2 2010-2020年脑机接口领域的专利申请及其授权的情况

2.2 脑机接口研发实力分布

2.2.1 脑机接口相关论文的国家分布情况

从图3可见,美国发表的脑机接口相关论文数量居全球首位,十余年间共发表2 077篇相关论文;中国居于其后。美国和中国的论文发表数量与其他国家拉开较大差距,表明这两个国家在脑机接口领域的理论研究居世界前列。除中国以外,其他9个国家,包括亚洲的日本和韩国,均为发达国家。

同时,美国在较大的论文发表数量基础上,还

保持着较高的篇均被引次数,表明美国在脑机接口领域不仅学术产出较多,而且学术影响力较大。中国的论文发表数量虽然仅次于美国,但其篇均被引用次数为前10国家中最低,表明中国目前在脑机接口领域的基础研究中,论文产出数量已不应是关注的重点,提升论文的质量和在学术界的影响力将成为下一阶段的主要任务。德国在脑机接口领域既有较多的论文发表,其篇均被引用次数也居全球首位,表明德国的脑机接口研究有着较大优势。

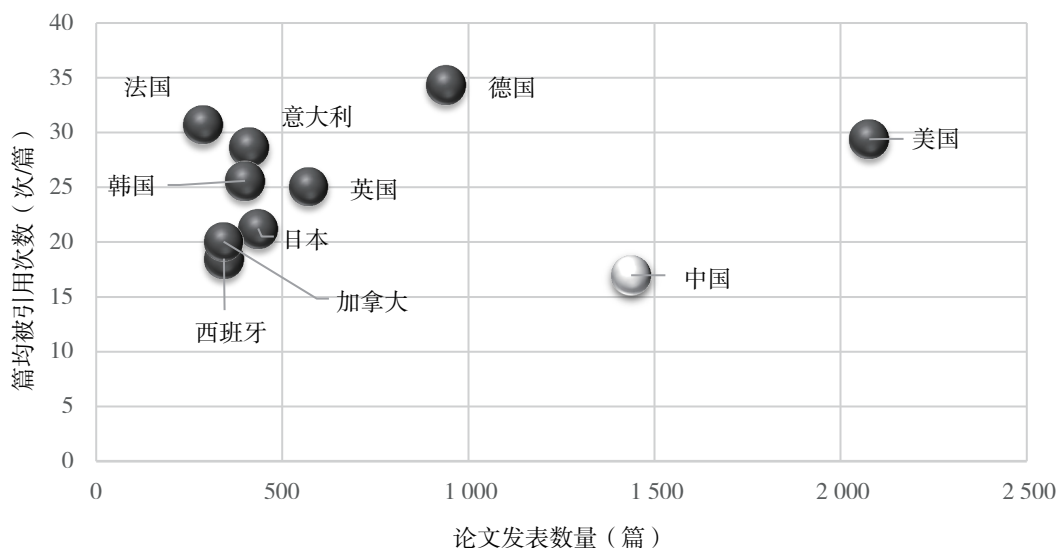


图3 2010-2021年脑机接口相关论文发表的前10国家情况

2.2.2 脑机接口相关论文的被引用情况

一般来说, 一个国家的论文数量占全球论文总量的比例, 与其高被引论文数量占全球高被引论文总量的比例应该是基本持平的。从表 1 可见, 美国发表的脑机接口相关论文数量在全球占比为 28.09%, 但其高被引论文数量在全球占比达到 42.97%, 两者相差 14.88%, 美国发表论文的学术

影响力可见一斑。德国的情况与此类似, 两者差值达到 13.78%。而中国与此正好相反, 以全球占比 19.43% 的论文发表数量, 仅占到全球高被引论文的 13.24%。西班牙和加拿大的情况与中国类似, 以上国家两比例的差值均呈现负值, 表明该三个国家所发表的学术成果没有达到预期的平均学术影响力, 其中以中国为甚。

表 1 2010–2021 年脑机接口论文发表前 10 国家的被引用情况

国家	发表论文数量	论文占全球比例 (%)	高被引论文数量	高被引论文占全球高被引论文比例 (%)	高被引论文占本国论文比例 (%)	高被引论文占比 - 论文全球占比 (%)
美国	2 077	28.09	159	42.97	7.66	14.88
中国	1 437	19.43	49	13.24	3.41	-6.19
德国	940	12.71	98	26.49	10.43	13.78
英格兰	570	7.71	35	9.46	6.14	1.75
日本	435	5.88	23	6.22	5.29	0.33
意大利	411	5.56	32	8.65	7.79	3.09
韩国	400	5.41	24	6.49	6.00	1.08
西班牙	343	4.64	9	2.43	2.62	-2.21
加拿大	342	4.62	8	2.16	2.34	-2.46
法国	286	3.87	17	4.59	5.94	0.73
全球	7 395	100	370	100	—	—

2.2.3 脑机接口相关论文的机构发表情况

如图 4 所示, 中国仅有 2 所机构进入全球脑机接口论文发表数量最多的前 15 机构, 中国科学院排名第 1; 美国有 4 所机构排名前 15 位, 英国有 3 所, 德国 2 所, 而奥地利、法国、韩国和加拿大各有 1 所机构入围。以上机构均为大学和研究机构。中国的脑机接口论文总量虽然居全球第 2 位, 但仅有 2 所机构突出, 比较而言, 英国和德国的顶尖机构优势更为明显。不过, 日本的论文总量居全球第 5 位, 却没有一个机构入围, 表明日本在脑机接口领域的研究更为分散。从论文的被引用情况来看, 中国科学院的论文发表数量虽然居全球第 1 位, 但其篇均被引用次数居前 15 机构中最低, 仅 16 次 / 篇。清华大学虽然论文发表数量仅居全球第 15 位, 但其篇均被引次数居全球第 3 位。篇均被引次数最高的为

德国柏林工业大学, 达到 60 次 / 篇, 其次为美国的斯坦福大学。这表明中国机构在加强产出脑机接口领域研究成果同时, 还需要进一步提高论文质量及其学术影响力。

2.2.4 脑机接口相关专利的技术来源地情况

根据专利技术的来源地可以获得该技术研发创新的优势国家 / 地区。从图 5 可见, 中国申请人申请了全球最多数量的脑机接口相关专利, 达到 3 444 件, 其中发明专利 3 051 件, 发明专利率为 88.59%, 略低于全球平均水平 (89.16%)。而美国共申请了 1 299 件专利, 发明专利率为 91.30%。从专利技术来源地看, 亚洲地区在脑机接口领域的研发实力较强, 中国、韩国、日本、印度和中国台湾 5 个国家 / 地区所申请的专利数量进入了全球前 10 位。其余的 5 个国家均为西方发达国家: 美国、以色列、加拿大、德国、荷兰。

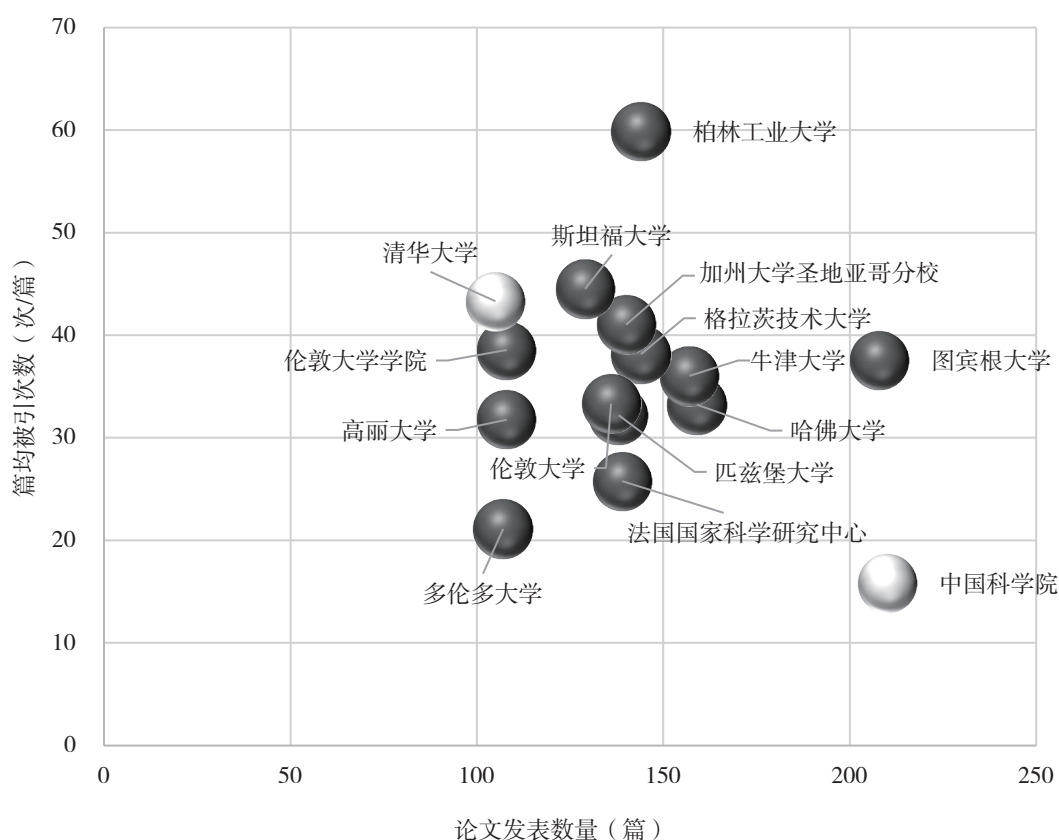


图 4 2010–2021 年脑机接口领域论文发表数量前 15 机构情况

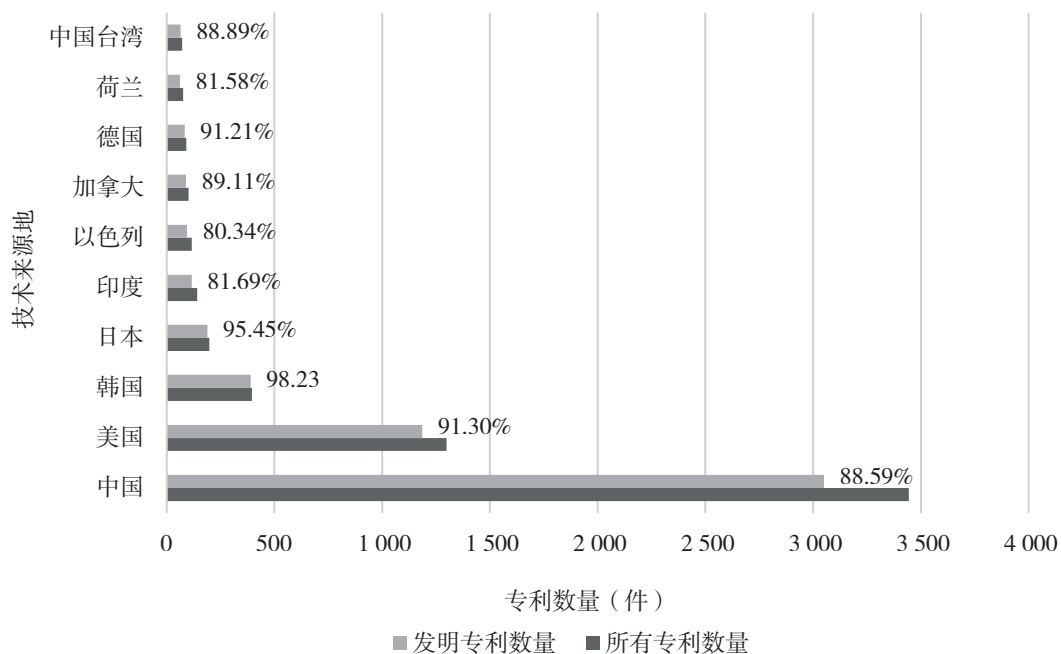


图 5 2010–2021 年脑机接口相关专利的技术来源地分布情况

注：图中百分比为发明专利率。

2.2.5 脑机接口相关专利的国际专利申请情况

一个国家的申请人在本国以外的国家/地区申请的国际专利, 一般来说, 是具有较高技术含量和较广阔市场前景的专利技术; 而且, 由于申请国际专利的费用较高, 加上翻译等工作流程比较耗时, 故国际专利的质量相对较高, 因此一个

国家的国际专利比例成为专利质量的指标之一。从图 6 可见, 中国的专利申请数量虽然远远高于其他国家, 但中国的国际专利比例仅为 3.83%, 远低于以色列的 100%, 甚至低于同为发展中国家的印度的 12.07%。另外, 韩国的国际专利比例也不高。

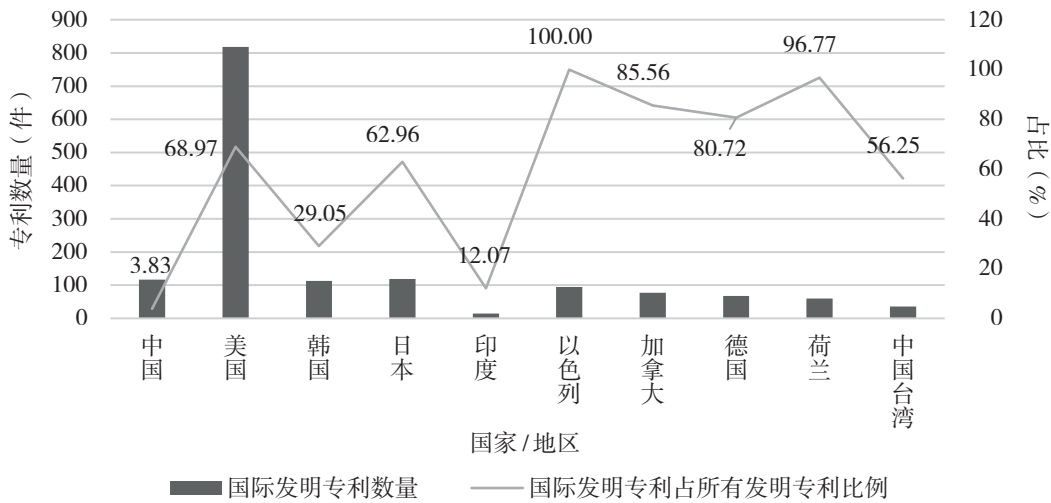


图 6 2010-2021 年脑机接口专利前 10 技术来源地的国际专利

2.2.6 脑机接口相关专利的机构申请情况

从表 2 可见, 脑机接口专利的前 20 位申请机构中, 美国占到 11 个, 而且第 1 和第 2 位全是美国的企业, 美国共有 7 家企业进入全球机构 20 强。中国有 5 个机构进入, 分别为天津大学、西安交通大学、华南理工大学、杭州电子科技大学、北京工业大学, 全部为

大学。此外, 荷兰、日本、以色列、加拿大各有 1 家机构的脑机接口专利申请数量进入全球前 20 位, 除日本外, 其他 3 个国家的机构均为企业。企业是将科技成果转化产品的直接执行者, 技术研发应以企业为主体。中国的脑机接口研发占优势的机构全为大学, 表明离技术的实际开发应用还有一定距离。

表 2 2010-2021 年脑机接口专利申请数量排名前 20 机构

序号	全球机构名称 (英文)	全球机构名称 (中文)	专利数量 (件)
1	Boston Scient Neuromodulation Corp	波士顿科学神经调控公司 (美国)	605
2	Medtronic Inc	美敦力公司 (美国)	372
3	Univ Tianjin	天津大学 (中国)	162
4	Univ California	加州大学 (美国)	119
5	Calithera Biosciences Inc	Calithera 生物科学公司 (美国)	119
6	Univ Leland Stanford Junior	斯坦福大学 (美国)	97
7	Xi'an Jiaotong Univ	西安交通大学 (中国)	94
8	Univ South China Tech	华南理工大学 (中国)	93

续表

序号	全球机构名称（英文）	全球机构名称（中文）	专利数量（件）
9	Univ Hangzhou Dianzi	杭州电子科技大学（中国）	90
10	Univ Texas	得州大学（美国）	79
11	Cardiac Pacemakers Inc	心脏起搏器股份公司（美国）	79
12	Sapiens Steering Brain Stimulation BV	Sapiens Steering Brain Stimulation 公司（荷兰）	73
13	IBM	IBM 公司（美国）	65
14	Beijing Univ of Tech	北京工业大学（中国）	66
15	Univ Osaka	大阪大学（日本）	65
16	Univ Columbia	哥伦比亚大学（美国）	62
17	Brainsway Ltd	Brainsway 公司（以色列）	62
18	Neurosky Inc	神念科技（美国）	60
19	Interaxon Inc	Interaxon 公司（加拿大）	59
20	Autonomix Medical Inc	Autonomix 公司（美国）	59

2.3 脑机接口研究热点演变

为了了解脑机接口领域在最近十余年间的研究热点及其变化情况,将2010—2021年按每2年一段划分为6个时间段,分别选取该时间段内的高被引论文进行引文耦合分析得到主题类似的聚簇,

再对聚簇主题进行解读, 获得每个时间段的研究热点 (见图 7)。

脑机接口领域的研究热点随着时间的推移有着明显的变化。诱发脑电在 2010 年左右的研究热点以 P300 为主；在 2012 年左右以稳态视觉诱发电

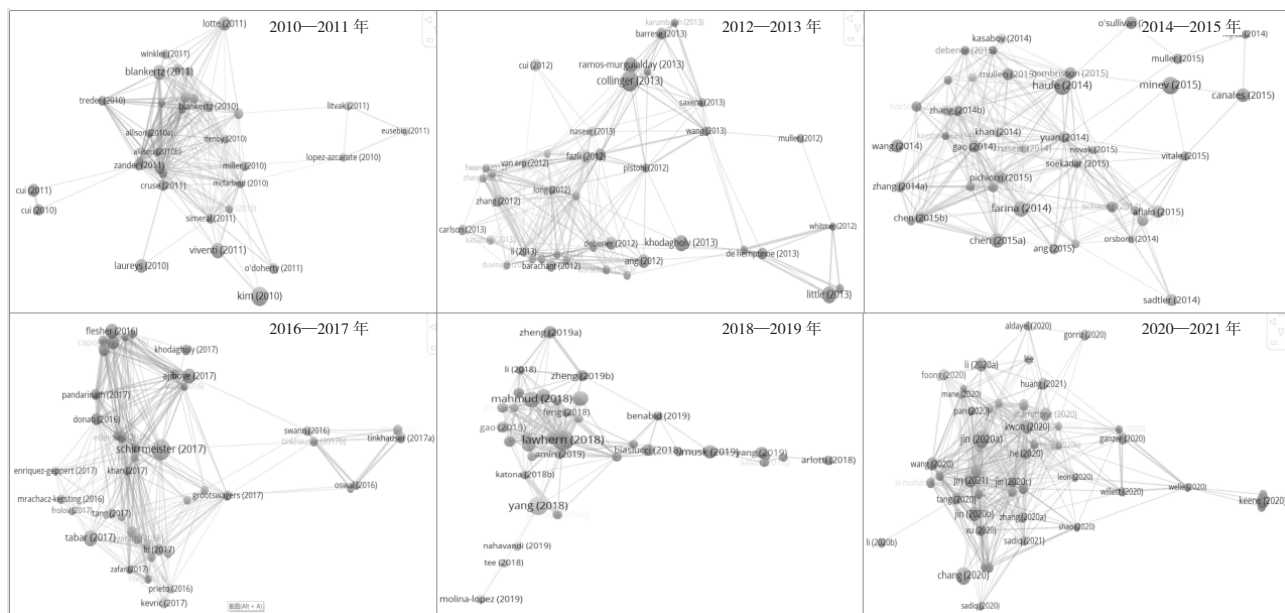


图 7 2010—2021 年间脑机接口领域的热点论文聚簇图

位 (SSVEP) 为主; 其后还有运动相关皮层电位 (MRCP) 相关研究; 近两年以颜色、触觉刺激作用研究为热点。植入式脑机接口一直是脑机接口领域的热点, 从 2014 年开始碳纤维电极获得较多关注; 石墨烯纤维电极自 2018 年开始成为热点内容; 生物相容性的柔性有机材料是目前的研发热点。信号获取方面, 脑电图 (EEG) 和近红外光谱 (NIRS) 开始被分别研究, 之后两者被结合使用; 越来越多的可穿戴脑机接口被关注。信号处理提取分类的模式和算法占研究热点的比重越来

越高, 在 2010 年仅少量的公共空间模式 (CSP) 和卷积神经网络 (CNN) 研究是热点, 但近两年, 更多种类的算法 (如深度学习网络和黎曼几何分类器) 被关注, 而且很多研究将多种算法结合使用以提高分类准确度。最后, 在应用方面, 脑机接口对运动障碍 (如中风、帕金森病、肌萎缩侧索硬化症、意识障碍等疾病) 的诊断治疗, 轮椅/假肢/机器人等的控制一直是研究的热点; 近年, 学习机理、情绪识别、脑功能研究如大脑重构等也受到高度关注。具体情况见表 3 所示。

表 3 2010—2021 年间脑机接口领域研究热点的演化情况

年份	研究热点
2010—2011	诱发脑电: 激发事件相关电位 (ERP) 如 P300 拼写器与眼动控制关系; 激发 ERP 如 P300 的棋盘格范式 (CBP) 植入式脑机接口: 脑深部刺激 (DBS) 电极; 小型长期植入的皮质内微电极阵列; 植入生物材料超薄电子器件; 超薄柔性硅纳米薄膜晶体管集成电极阵列 信号获取: 近红外光谱 (NIRS); 三通道干电极脑电图 (EEG); EEG 数据收集和处理工具 信号处理提取分类: EEG 信号的伪迹消除; 规范化公共空间模式 (CSP); 稀疏公共空间模式 (SCSP); 收缩线性判别; 卷积神经网络 (CNN) 应用: 真实和虚拟环境; 控制机器人手臂或神经假体运动; 脑控轮椅 (BCW); 运动障碍患者康复训练; 恢复人工躯体感知; 帕金森病患者脑部活动记录; 脑机接口准确性的人口学特征; 脑机接口盲的神经生理学预测因子和处理
2012—2013	诱发脑电: 诱发稳态视觉诱发电位 (SSVEP) 的心理拼写系统; 诱发 SSVEP 的多频率序列编码 (MFSC); 结合 P300 和 SSVEP 的混合脑机接口 植入式脑机接口: 嵌入超薄有机薄膜中的有机电化学晶体管; 皮质内微电极的电生理以及与血脑屏障 (BBB) 状态的关系; 植入式神经接口微系统 信号获取: NIRS 可增强 EEG 分类准确性; Emotiv 耳机的脑电图数据记录能力 信号处理提取分类: L1 正则化多向典型相关分析; 滤波器组公共空间模式 (FBCSP) 算法; 贝叶斯特征提取算法; 黎曼几何算法; 进化的尖峰神经网络 (eSNN); 一个基于 MATLAB 的开源工具箱 (脑机接口 LAB) 应用: 在三维 (3D) 物理空间中控制直升机; 基于运动想象控制模拟或真实轮椅; 帕金森病发病机理以及治疗性 DBS; 步态训练和中风病人康复
2014—2015	诱发电位: 运动相关皮层电位 (MRCP) 检测 植入式脑机接口: 聚合物光纤探针材料; 软神经植入物; 多电极植入物; 碳纳米管 (CNT) 纤维电极; 基于皮层电图 (ECoG) 的微系统及其神经记录 信号获取: 智能、可穿戴、无线、生活方式 EEG (如耳朵佩戴 cEEGrid 电极阵列); 功能近红外光谱 (fNIRS); 混合近红外光谱脑电图 (NIRS-EEG) 信号处理提取分类: 独立分量分析 (ICA) 伪影去除; 稀疏滤波器组公共空间模式 (SFBCSP); 线性判别分析 (LDA); 典型相关分析 (CCA) 合并单个脑电校准数据; 典型相关分析 (FBCCA); 多集典型相关分析 (MsetCCA); 联合频率相位调制方法及单个校准数据识别算法; 尖峰神经网络 (SNN) 体系结构 (NeuCube) 分类算法 应用: 学习的神经活动模式; 认知动力学研究; 单个运动皮层神经元研究; 神经可塑性; 中风患者的治疗 (如运动功能恢复)

续表

年份	研究热点
2016—2017	植入式脑机接口：亚细胞大小的慢性植入记录电极；皮质内微电极阵列和由空间选择性硬膜外植入物与脉冲发生器组成的脊髓刺激系统；体感皮层的皮质内微刺激；碳纤维微电极阵列材料；超柔性开放式网状电子探针材料 信号处理提取分类：稀疏贝叶斯方法（SBLaplace）；受限玻尔兹曼机器（RBM）的深度学习方法；深层神经网络（DNN）和分层相关传播（LRP）结合；CNN 算法及其和堆叠式自动编码器（SAE）的结合使用 应用：学习的机理；控制人工假肢 / 控制四旋翼直升机 / 智能轮椅；帕金森病患者发病机制（如丘脑底振荡活动），及其治疗性 DBS/ 药物治疗（如多巴胺能药物）的效果和治疗机制；脑机接口训练中风患者，如控制外骨骼辅助治疗；肌萎缩侧索硬化症（ALS）患者训练
2018—2019	植入式脑机接口：柔性独立石墨烯纤维 -（GF-）基微电极阵列（带有薄铂涂层）材料；小型柔性电极“线程”阵列；皮质内微刺激（ICMS）；神经探针神经元样电子学（NeuE）的仿生设计 信号获取：由聚合物和碳纳米管形成的柔性可拉伸晶体管阵列可穿戴脑机接口材料 信号处理提取分类：具有不同特征和结构 CNN 的多层 CNN 方法；新型 CNN 算法（BN3）；CNN 与变分自动编码器（VAE）结合；基于修改滤波器 CSP 的优化 CNN；时空卷积神经网络（ESTCNN）；紧凑卷积神经网络 EEGNet；深度卷积神经网络和深度残差学习方法；正则化公共空间模式（RCSP）；长短时记忆（LSTM）网络；小波神经网络；任务相关成分分析（TRCA）；基于相关性的时间窗口选择（CTWS）算法；基于相关的信道选择（CCS）方法；多核 ELM（MKELM）；带有径向基函数（RBF）核的支持向量机（SVM）分类器；时间约束稀疏组空间模式（TSGSP）；稀疏组表示模型（SGRM）；基于特定主题多元经验模式分解（MEMD）的滤波方法（SS-MEMDBF）；迁移学习 应用：学习的神经重组；EEG 或结合眼动的情绪识别；激活瘫痪患者四肢神经的假体外骨骼；外骨骼机器人系统闭环控制方法；自适应脑深部刺激（aDBS）治疗帕金森病；驾驶员疲劳检测和心理状态
2020—2021	诱发脑电：颜色特性（红、绿、蓝）在 ERP- 脑机接口系统的作用；扩展触觉刺激方法的触觉 P300 脑机接口范式 植入式脑机接口：石墨烯纤维（GF）电极；激光切割碳纤维阵列电极；忆阻器与金属薄膜氧化钛微电极配对 信号获取：柔性干电极阵列材料；可穿戴脑机接口检测监控系统；结合 EEG 和眼电图（EOG）的信号；紧凑型 EEG 和 fNIRS 结合信号 信号处理提取分类：运动前脑电的时域和频域特征；运动想象（MI）EEG 信号的自动精确去噪、识别、分类框架；伪影子空间重建（ASR）方法；混合尺度 CNN 结构；基于 CNN 的无校准或主题无关框架；连续小波变换（CWT）和简化卷积神经网络（SCNN）的结合算法；CNN 结合递归神经网络；针对 CNN 的不同数据增强（DA）方法；基于遗传算法的超参数优化方法应用于 CNN、前馈神经网络（FFNN）和递归神经网络（RNN）；基于深度神经网络的新型解码框架 Spike Image Decoder（SID）；判别典型模式匹配（DCPM）算法；基于稀疏贝叶斯的极限学习机（SBELM）算法；多级线性递减惯性权重（MLDW）- 粒子群优化（PSO）特征选择方法；长短时记忆（LSTM）网络；基于滤波器组公共空间模式（FBCSP）的卷积长短时记忆（C-LSTM）网络；卷积重复注意力模型（G-CRAM）；结合 XDAWN 空间滤波器和黎曼几何分类器（RGC）的迁移学习方法；流形嵌入知识转移（MEKT）方法；结合主成分分析（PCA）、独立成分分析（ICA）、线性判别分析（LDA）和邻域成分分析（NCA）的方法；加权线性判别分析（WLDA）；分段频谱滤波（SSSF）方法；基于双谱的信道选择（BCS）方法；欧几里德空间脑电数据对齐方法 应用：脑机接口在增强现实（AR）中的使用；个体间 P300 变异性的脑重建研究；生理因素（如左右利手）对感觉运动节律（SMR）分布和脑机接口控制的影响；控制多方向手臂伸展 / 移动式壁面爬行清洗机器人；意识障碍（DOC）患者情感识别、临床诊断和预后；估计和预测癫痫；上肢中风康复

3 结论

脑机接口相关论文和专利的数量呈现逐年增长趋势。该领域的研究热点随着时间的推移有着明显的变化，植入式脑机接口热点多为新型生物柔性

电极材料；可穿戴脑机接口系统越来越成为关注热点；脑电图、近红外光谱、眼电图等大脑活动信号趋于结合采集使用；多种算法特别是深度学习方法不断提出，而且也趋于结合使用以提高识别准确性。

美国、中国和德国发表的相关论文数量较多。其中德国论文的学术影响力较高, 高被引论文占比超过 10%; 美国的高被引论文比例比预期值高出较多; 中国论文发表数量虽然仅次于美国, 但其篇均被引用次数为前 10 国家中的最低。全球脑机接口领域发表论文数量最多的机构为中国科学院, 但其篇均被引用次数居全球前 15 位机构中最低; 清华大学的学术影响力较之而言表现更好。中国和美国申请的脑机接口相关专利较多, 但中国的国际专利比例过低, 且企业参与技术研发程度不够充分。这表明中国目前在脑机接口领域, 不论是基础研究还是技术研发方面, 论文和专利等成果的产出数量已经不应该再成为关注的重点, 而应注重提升学术研究和技术创新的质量, 针对脑机接口目前在实际应用中的瓶颈(如有效信号的获取和分类准确性的提高等问题)开展创新性高质量研发。■

参考文献:

- [1] Wolpaw J R, McFarland D J, Vaughan T M, et al. Brain-computer interface research at the wadsworth center[J]. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 2000, 8(2): 222-226.
- [2] 任岩, 安涛, 领荣. 脑机接口技术教育应用: 现状、趋势与挑战[J]. 现代远距离教育, 2019(2): 71-78.
- [3] 科技部. 科技部关于发布科技创新 2030—“脑科学与类脑研究”重大项目 2021 年度项目申报指南的通知[EB/OL]. (2021-09-16) [2022-01-19]. https://service.most.gov.cn/kjjh_tztg_all/20210916/4583.html.
- [4] 陈彩娴, 陈大鑫. 马斯克脑机接口最新突破: 猴子用意念玩游戏[EB/OL]. (2021-04-19) [2022-01-19]. <https://xw.qq.com/partner/vivoscreen/20210413A0CJ9J/20210413A0CJ9J00?vivoRcdMark=1>.
- [5] 李鹏海, 许敏鹏, 万柏坤, 等. 视觉诱发电位脑-机接口实验范式研究进展[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(10): 2340-2351.
- [6] 李宴哲. 脑-机接口系统中脑电信号采集与特征识别[D]. 太原: 山西大学, 2010.
- [7] 科睿唯安. Web of Science 核心合集[DB/OL]. [2022-01-19]. <https://solutions.clarivate.com.cn/products/web-of-science/web-science-core-collection/>.
- [8] 科睿唯安. 德温特创新平台[DB/OL]. [2022-01-19]. <https://solutions.clarivate.com.cn/products/derwent-innovation/>.

Analysis of the Development Trend in the Field of Brain Computer Interface

FU Jun-ying¹, JU Wei-wei², Qi Jing², MAO Jun-wen²

(1. Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038;

2. Chinese Institute for Brain Research, Beijing 102206)

Abstract: Brain Computer Interface (BCI) receives the extensive concern as one of the most important research topics of brain science and brain-inspired intelligence. BCI research tendency, distribution of research ability, and evolution of research hotspots were analyzed from different aspects including numbers of BCI papers and patents, distribution of countries and top institutions, as well as research hotspots based on the papers retrieved in the SCIE database, and patents collected in the DI database from 2010 and 2021. The results showed the increasing trend of the numbers of BCI papers as well as BCI patents year by year. Hotspots varied in recent decade, and studies on algorithm that was represented by Convolutional Neural Networks (CNN) at present proliferated. Numbers of papers published by China's authors and patents applied by China's applicants took places in the front ranks of the world, while it's scientific impact of papers was rather low, and it's patent quality as well as enterprises' participation in R&D was needed to improve.

Keywords: Brain Computer Interface; paper; patent; analysis of the development trend