

脑-控 智能车辆

毕路拯 范新安 滕 腾 著

清华大学出版社

毕路拯 范新安 滕 腾 著

脑-控 智能车辆

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍脑-控智能车辆的概念、主要体系结构和关键技术。全书由 10 章构成,内容自成体系。第 1 章介绍脑-控智能车辆产生的背景、概念、分类和发展趋势;第 2 章介绍脑-机接口技术;第 3 章到第 5 章介绍第一类脑-控智能车辆(基于任务层面共享控制的脑-控智能车辆),其中第 3 章介绍基于任务层面共享控制的脑-控智能车辆,特别介绍基于 P300 BCI 的目的地选择系统,该系统是第一类脑-控智能车辆的核心部分,第 4 章介绍基于混合 BCI 的目的地选择系统,第 5 章介绍环境因素对基于 BCI 的目的地选择系统影响;第 6 章到第 8 章介绍第二类脑-控智能车辆(基于运动控制的脑-控智能车辆),其中第 6 章介绍基于运动控制的脑-控智能车辆,特别介绍基稳态视觉诱发电位(steady state visual evoked potential, SSVEP)和 α 波的脑-控智能车辆的速度和方向控制方法,第 7 章介绍脑-控智能车辆运动控制系统建模,第 8 章介绍脑-控智能车辆运动的共享控制方法;第 9 章和第 10 章介绍第三类脑-控智能车辆(基于驾驶员或用户状态脑电识别的脑-控智能车辆),其中第 9 章介绍驾驶员紧急刹车意图的脑电表征,第 10 章介绍驾驶员紧急刹车意图的脑电检测。

本书可供自动化、计算机、机械、人工智能、生物医学、电子工程等专业的高等院校师生和相关专业的研究机构或企业的研发人员参考使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

脑-控智能车辆/毕路拯,范新安,滕腾著. —北京:清华大学出版社,2019
ISBN 978-7-302-51865-5

I. ①脑… II. ①毕… ②范… ③滕… III. ①智能控制—汽车—研究 IV. ①U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 285162 号

责任编辑:冯 昕
封面设计:常雪影
责任校对:赵丽敏
责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:11.75

字 数:283 千字

版 次:2019 年 2 月第 1 版

印 次:2019 年 2 月第 1 次印刷

定 价:48.00 元

产品编号:080552-01

脑-机接口(brain-computer interface, BCI)是不依赖于外周神经和肌肉组织等常规大脑输出通路的一种信息传导通道。脑-机接口研究的最初目的是帮助严重运动障碍的人控制外界设备以及和外界进行交流。近年来,脑-机接口在神经工程、康复工程以及人体效能增强等领域受到越来越多的关注。脑-机接口的用户群体也由残障人扩展到健康人。

虽然智能车辆和无人驾驶车辆技术越来越成熟,但它们仍然需要驾驶员或用户通过人车接口将控制命令或意图传递给车辆。如果能够利用脑-机接口技术通过“翻译”脑电信号获得驾驶员或用户的意图,那么就可以发展一种新的人车接口技术。利用这种新的人车接口技术,不管是健康人还是残障人都可以驾驶车辆。因此,脑-控智能车辆就孕育而生。

脑-控智能车辆是指通过脑-机接口技术和智能车辆技术相结合,建立的一种新的智能车辆。脑-控智能车辆的研究除了涉及传统的智能车辆技术外,还涉及神经信号处理及解析技术、人机协同技术以及脑与神经科学等多种技术和学科。

脑-控智能车辆可以使智能车辆更加人性化,使人和智能车辆更加和谐统一。在民用方面,脑-控智能车辆不仅可以帮助肢体残障人士驾驶车辆,从而扩展他们的移动范围,增强他们的生活独立性,而且可以帮助提高健康驾驶员的驾驶安全和驾驶性能。此外,脑-控智能车辆也可以通过脑-机接口技术将乘客的某些意图或状态融入到无人驾驶车辆中,从而使无人驾驶车辆更加智能,提高乘客的乘车舒适性和用户体验。在国防方面,脑-控智能车辆技术能用于军用车辆和移动武器装备中,提高士兵的作战能力。因此,脑-控智能车辆研究具有重要的应用价值和广阔的应用前景。

文献调研表明,脑-控智能车辆研究才刚刚起步。作为国际上脑-控智能车辆研究的主要开拓者之一,作者所在课题组依托国家自然科学基金面上项目和青年基金、教育部留学回国启动基金、教育部博士点基金和北京市自然科学基金等项目,围绕脑-控智能车辆的基础理论和关键技术开展研究,近些年在智能车辆、脑-机接口和人机交互等领域的国际权威期刊(IEEE 汇刊)上发表了 10 多篇高水平研究论文,得到了国际同行的高度评价与广泛引用。本书融合了课题组的代表性研究成果以及多篇北京理工大学优秀博士学位论文和优秀硕士学位论文的内容,介绍脑-控智能车辆的概念、主要体系结构和关键技术。全书由 10 章构成,内容自成体系。第 1 章介绍脑-控智能车辆产生的背景、概念、分类和发展趋势;第 2 章介绍脑-机接口技术;第 3 章到第 5 章介绍第一类脑-控智能车辆(基于任务层面共享控制的脑-控智能车辆),其中第 3 章介绍基于任务层面共享控制的脑-控智能车辆,特别介绍基

于 P300 BCI 的目的地选择系统,该系统是第一类脑-控智能车辆的核心部分,第 4 章介绍基于混合 BCI 的目的地选择系统,第 5 章介绍环境因素对基于 BCI 的目的地选择系统的影响;第 6 章到第 8 章介绍第二类脑-控智能车辆(基于运动控制的脑-控智能车辆),其中第 6 章介绍基于运动控制的脑-控智能车辆,特别介绍基于稳态视觉诱发电位(steady state visual evoked potential, SSVEP)和 α 波的脑-控智能车辆的速度和方向控制方法,第 7 章介绍脑-控智能车辆运动控制系统建模,第 8 章介绍脑-控智能车辆运动的共享控制方法;第 9 章和第 10 章介绍第三类脑-控智能车辆(基于驾驶员或用户状态脑电识别的脑-控智能车辆),其中第 9 章介绍驾驶员紧急制动意图的脑电表征,第 10 章介绍驾驶员紧急制动意图的脑电检测。

本书的出版,有助于智能车辆、脑-机接口、人体效能增强、人机混合智能、人因等领域的研究人员了解脑-控智能车辆所涉及的基础知识、关键技术和亟待解决的科学问题,促进相关研究领域的进展,推动相关学科的交叉与融合。

最后,感谢北京理工大学的吴平东教授、龚建伟教授和孙华飞教授,清华大学的王凌教授,中国兵器工业集团的赵小川研究员,美国密歇根大学的 Yili Liu 教授,新加坡南洋理工大学的 Cuntai Guan 教授,美国罗格斯大学的 Jingang Yi 教授,英国拉夫堡大学的 Wenhua Chen 教授,英国谢菲尔德大学的 Mahnaz Arvaneh 教授,德国柏林工业大学的 Matthias Roetting 教授等对相关研究工作给予的热心指导和建议;感谢清华大学出版社的大力支持;感谢参与研究的博士生连金岭、陆赟、费炜杰、李鸿岐和琚佳伟,硕士生尚君星、王知、甘国栋、罗妮妮、介科、杨学瑞、王翠娥、李云、王明涛、何腾欢、袁志涛、苏磊、和福建、王会康、王晓光和张经纬。另外,特别感谢国家自然科学基金(51575048; 61374192)和北京市自然科学基金(4162055)等项目对相关研究工作的资助。

由于脑-控智能车辆研究刚刚起步,加之作者水平有限,本书许多内容还有待完善和深入研究,对于不足之处,真诚地希望读者批评指教。

作 者

2018 年 8 月

第 1 章 脑-控智能车辆概述	1
1.1 智能车辆	1
1.1.1 智能车辆的定义	1
1.1.2 智能车辆的组成	1
1.2 脑-机接口	3
1.2.1 脑-机接口的定义	3
1.2.2 脑-机接口的组成	3
1.3 脑-控智能车辆	4
1.3.1 脑-控智能车辆产生的背景	4
1.3.2 脑-控智能车辆的定义和意义	4
1.3.3 脑-控智能车辆的组成	5
1.3.4 脑-控智能车辆的分类	5
1.4 脑-控智能车辆的展望	6
参考文献	7
第 2 章 脑-机接口技术	9
2.1 引言	9
2.2 脑电信号与脑-机接口范式	9
2.2.1 脑电信号简介	9
2.2.2 典型脑-机接口范式	10
2.2.3 其他脑-机接口范式	11
2.3 脑电信号采集及预处理	12
2.3.1 大脑功能分区	12
2.3.2 脑电信号采集	14
2.3.3 脑电信号预处理	16
2.4 脑电信号特征	17
2.4.1 时域特征	17

2.4.2	频域特征	17
2.4.3	时频特征	18
2.4.4	空间域特征	18
2.4.5	脑网络特征	19
2.5	脑电信号特征选择和提取	22
2.5.1	χ^2 特征选择	22
2.5.2	AUC 特征选择	22
2.5.3	顺序前向浮动搜索算法	23
2.5.4	主成分分析特征提取	24
2.6	脑电信号分类算法	25
2.6.1	Fisher 线性判别法	25
2.6.2	支持向量机	27
2.6.3	人工神经网络	28
2.6.4	卷积神经网络	29
2.6.5	胶囊网络	30
	参考文献	30
第 3 章	基于任务层面共享控制的脑-控智能车辆	38
3.1	引言	38
3.2	基于任务层面共享控制的脑-控智能车辆的系统结构	38
3.3	基于抬头显示系统的用户界面	39
3.4	基于 BCI 的目的地选择系统	43
3.4.1	BCI 模式选择	43
3.4.2	视觉刺激	43
3.4.3	BCI 算法	43
3.5	实验	46
3.5.1	实验平台	46
3.5.2	被试者及实验条件	49
3.5.3	实验过程	49
3.6	结果分析	50
3.6.1	模型测试轮数分析	50
3.6.2	模型训练轮数分析	51
3.6.3	通道分析	51
3.7	总结	52
	参考文献	52
第 4 章	基于混合 BCI 的脑-控车辆目的地选择系统	54
4.1	引言	54
4.2	脑-控车辆目的地选择系统	54

4.2.1	模式选择	54
4.2.2	基于混合 BCI 的目的地选择系统结构	54
4.3	刺激及 BCI 算法	55
4.3.1	视觉刺激	55
4.3.2	BCI 算法	56
4.4	系统性能模型	57
4.4.1	系统准确率计算模型	57
4.4.2	系统限制条件	57
4.4.3	完成任务的时间计算模型	57
4.5	实验	58
4.5.1	被试者	58
4.5.2	实验过程	58
4.5.3	实验条件	59
4.6	结果分析	60
4.6.1	SSVEP BCI 性能分析	60
4.6.2	系统结果分析	61
4.7	总结	65
	参考文献	66
第 5 章	环境因素对脑-控车辆目的地选择系统的影响分析	67
5.1	引言	67
5.2	实验设计	68
5.2.1	实验条件	68
5.2.2	实验过程	70
5.3	环境因素对系统性能的影响	71
5.3.1	系统性能	71
5.3.2	主观评价	71
5.4	影响规律的生理学机理	72
5.4.1	EEG 表征	72
5.4.2	P300 幅值变化	73
5.4.3	P300 潜伏期变化	75
5.4.4	讨论	75
5.5	总结	77
	参考文献	77
第 6 章	基于运动控制的脑-控智能车辆	79
6.1	引言	79
6.2	脑-控智能车辆的系统结构	79
6.3	基于 BCI 的人车接口系统	80

6.3.1	BCI	81
6.3.2	接口模型	82
6.4	系统性能分析	83
6.4.1	实验平台	83
6.4.2	实验设计	85
6.4.3	脑-控车辆的性能分析	87
6.4.4	脑-控车辆的驾驶训练分析	90
6.5	总结	92
	参考文献	92
第7章	脑-控智能车辆运动控制系统建模	94
7.1	引言	94
7.2	脑-控智能车辆运动控制系统模型	94
7.2.1	基于 QN-MHP 的脑-控驾驶员模型	95
7.2.2	BCI 模型	101
7.2.3	接口模型	102
7.2.4	道路和车辆模型	102
7.2.5	脑-控车辆模型	102
7.3	模型验证	103
7.3.1	实验	103
7.3.2	仿真	104
7.3.3	模型验证	104
7.4	结果分析	110
7.4.1	仿真条件	110
7.4.2	仿真结果及分析	110
7.4.3	更新量的选择分析	113
7.5	总结	115
	参考文献	115
第8章	脑-控智能车辆运动的共享控制方法	118
8.1	引言	118
8.2	基于模型预测控制的共享控制方法	118
8.2.1	共享控制系统结构	118
8.2.2	辅助控制器的设计	119
8.3	辅助控制器的仿真分析与参数优化	123
8.3.1	仿真平台	123
8.3.2	MPC 辅助控制器的参数分析	124
8.3.3	性能测试	129
8.4	辅助控制器的实验验证	132

8.4.1	实验平台及实验过程	132
8.4.2	实验结果	133
8.5	总结	135
	参考文献	136
第 9 章	紧急状况下驾驶员制动意图的脑电表征	137
9.1	引言	137
9.2	实验	137
9.2.1	实验条件	138
9.2.2	实验过程	141
9.3	脑电表征	142
9.3.1	事件相关电位分析	142
9.3.2	功率谱特性	145
9.3.3	脑连通性分析	146
9.4	总结	149
	参考文献	149
第 10 章	紧急状况下驾驶员制动意图的脑电检测	152
10.1	引言	152
10.2	特征选择	152
10.3	不同类型特征分类性能评价	153
10.3.1	ERP 特征	153
10.3.2	功率谱特征	155
10.3.3	功能性脑网络特征	159
10.3.4	效用性脑网络特征	160
10.3.5	各类特征分类性能对比	163
10.4	基于最优特征的解析模型分析	163
10.5	基于脑电解析模型的脑-控驾驶员紧急制动意图检测系统	165
10.5.1	伪在线测试	165
10.5.2	脑-控驾驶员紧急制动意图检测系统伪在线测试	165
10.6	融合环境信息与脑电解析模型的驾驶员紧急制动意图检测系统	171
10.6.1	环境信息与脑电解析模型的融合方法	171
10.6.2	基于融合系统的驾驶员紧急制动意图检测系统伪在线验证	172
10.7	基于嵌入式系统的驾驶员制动意图检测平台	172
10.8	融合环境信息和脑电解析系统的紧急制动检测系统的性能测试	174
10.8.1	在线实验范式	174
10.8.2	实验结果及分析	175
10.9	总结	176
	参考文献	177

1.1 智能车辆

车指的是陆地上通过轮子转动实现位置移动的机动车及非机动车的总称,辆则是一种计量单位^[1]。现在,车辆则是对机动车和非机动车的总称。随着科学技术的不断进步和人类社会的发展,在未来的生活中,“车辆”一词将涵盖海陆空多方面的载具,例如舰船、地面车辆及飞行器等。

随着车辆保有量的大量增加和道路交通环境的日益复杂,交通安全、公路通行能力、车辆燃油消耗等问题变得日益突出。为了解决这些问题,研究人员开始探索智能交通系统的相关技术,通过结合信息科学技术与传统交通运输设备,建立人-车辆-道路三者融合的综合运输系统。在这三者中,对车辆功能进行智能化改进已经成为当下的研究热点。

1.1.1 智能车辆的定义

智能车辆是在传统车辆的基础上,通过融合计算机、现代传感、信息融合、通信、人工智能及自动控制等技术,实现环境感知、规划决策、多等级辅助驾驶等功能于一体的综合车辆系统^[2]。无人驾驶车辆则是智能车辆发展的最终方向。

1.1.2 智能车辆的组成

通俗地讲,智能车辆区别于传统车辆的关键在于“智能化”,实现该功能需要包括一套完整的信息获取、处理及输出系统,各部分之间的关系如图 1.1 所示。数据采集系统用于采集环境信息以及车辆当前的状态信息,然后将这些信息汇总到信息处理系统当中,并由该系统对信息进行评价及决策,最终将决策结果输出,其中输出的结果包括反馈给驾驶员的视觉、听觉等内容以及实现动作控制的底层控制系统。

我们可以将各部分之间的关系形象地比喻成眼睛和耳朵、大脑、嘴巴及手脚。有了“眼睛”和“耳朵”,智能车辆就可以获取外部及自身信息;有了“大脑”,智能车辆就可以对这些

信息进行处理并发出控制命令；有了“嘴巴”，智能车辆就可以提醒用户；有了“手脚”，智能车辆就可以执行“大脑”的决策命令。通过这几部分的串联，智能车辆就会像人一样具有一套完整的信息获取、处理及执行功能，也就更能体现其“智能”的特性。

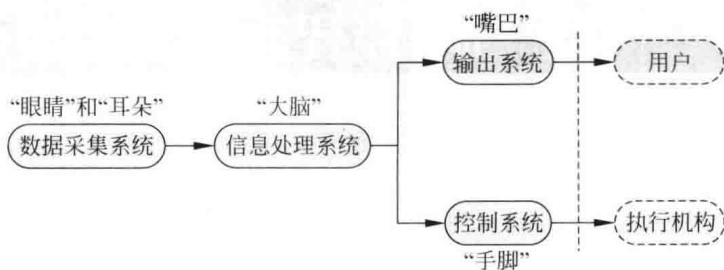


图 1.1 智能车辆的组成及各部分之间的关系

1. 数据采集系统

数据采集系统是车辆实现智能化的基础。在智能车辆技术中，数据采集功能主要通过各种传感器实现。该系统主要包括两种类型，一是环境感知系统，二是车辆状态采集系统。

环境感知系统用于采集车辆周围信息，包括道路信息、周边车辆、行人及交通信号灯和标志信息。其常用的传感器包括超声波传感器、红外线传感器、激光雷达、毫米波雷达及立体视觉摄像机等。车辆状态采集系统则是用于采集车辆当前的状态信息，包括位置、速度、加速度等信息，通常所用的传感器包括全球定位系统(global positioning system, GPS)、编码器及加速度仪等。

2. 信息处理系统

信息处理系统的功能是将传感器采集的大量环境及车辆状态信息进行融合决策，并根据当前交通状况作出最优的控制决策。在智能车辆技术中，信息处理系统是车辆实现智能化控制的核心。随着计算机技术的发展，适合车载使用的工业计算机取得了很大程度的进步，无论是在计算复杂程度及实时性方面都可以较好地保证智能车辆的正常运转。

3. 输出系统

输出系统主要用于反馈给用户视觉、听觉及触觉提示。这类提示的功能是在某些特定条件下警示驾驶员或者在驾驶条件较为恶劣的环境中辅助驾驶员获取车辆周围的交通状况。例如，疲劳监测系统检测到驾驶员处于困倦状态，则会发出声音警醒驾驶员，帮助其恢复状态或提醒其靠边停车。

4. 控制系统

控制系统指的是底层控制系统，用于根据信息处理系统的决策控制车辆横向控制机构(转向盘)、纵向控制机构(制动及加速踏板)、换挡控制机构及灯组系统的状态变化。这类命令通常作用于电机、气(液)压缸、电路开关等执行机构，通过该系统可以直观地表现车辆的“智能化”程度，是实现智能车辆技术的硬件保证。

通过对车辆智能化技术的研究和开发，可以提高车辆的控制与驾驶水平，保障车辆行驶的安全畅通和高效。对智能化的车辆控制系统的不断研究完善，相当于延伸扩展了驾驶员

的控制、视觉和感官功能,能极大地促进道路交通的安全性。智能车辆的主要特点是以技术弥补人为因素的缺陷,使得即便在很复杂的道路情况下,驾驶员也能自动地操纵和驾驶车辆绕开障碍物,使车辆沿着预定的道路轨迹行驶。

1.2 脑-机接口

1.2.1 脑-机接口的定义

20世纪70年代,Vidal首次提出了脑-机接口(brain-computer interface, BCI)的概念,并且指出BCI技术是一种涉及神经科学、信号检测、信号处理以及模式识别等多个学科的交叉技术^[3,4]。1999年,第一届脑-机接口国际会议给出了BCI的定义:“脑-机接口是不依赖于外周神经和肌肉组织等常规大脑输出通路的一种信息传导通道”^[5]。大多数BCI研究的重点是帮助严重残疾的用户发送消息或命令。然而随着技术的发展,一些机构已经开始为健康用户提供基于BCI的游戏,而更多的机构也参与到BCI新用途以及受众的开发和研讨。2012年,脑-机接口专家Wolpaw重新定义了BCI,即“BCI是一种测量中枢神经系统(central nervous system, CNS)反应,并将其转化为输出的系统。BCI可以被用于取代、恢复、增强、补充或者改善CNS的输出,从而改变CNS与其外部或内部环境之间持续的相互作用”^[6]。

众多研究者在BCI方面已经做了大量的工作,并取得了很多有价值的成果。发展到现在,BCI系统已经在以下领域中得到了应用^[6]:

(1) 取代由于损伤或疾病而丢失的CNS指令输出功能。如通信交流(拼写系统、网页浏览系统)和电动轮椅控制等。

(2) 恢复CNS已经丧失的指令输出功能。如功能性电刺激瘫痪患者的肌肉使其恢复运动机能。

(3) 增强CNS指令输出功能。如监控长时间任务下的大脑,辅助解决长期工作注意力降低的问题(如长时间驾驶)。

(4) 对CNS指令输出进行补充。如通过控制机器人,为人类提供第三只手(机器人)。

(5) 改善CNS指令输出功能。如使用BCI进行中风患者的康复治疗,通过从受损皮质层检测和增强信号,并刺激手臂肌肉或者控制矫正器,从而改善手臂运动功能。

1.2.2 脑-机接口的组成

典型的BCI包含脑电信号采集和脑电信号处理,其中脑电信号处理包含信号预处理、特征提取和分类(解码)。虽然一些BCI系统不包含所有部分,也有一些将两部分或者三部分实现到一个算法中,但是大部分的BCI系统从概念上讲包含脑电信号采集、信号的预处理、特征提取以及分类。BCI的原理框图见图1.2。信号采集系统用于采集人的头皮脑电(electroencephalogram, EEG)信号,脑电信号处理则负责将EEG信号“翻译”为相应的命令。有关EEG信号、脑-机接口的组成和涉及的技术细节见第2章。

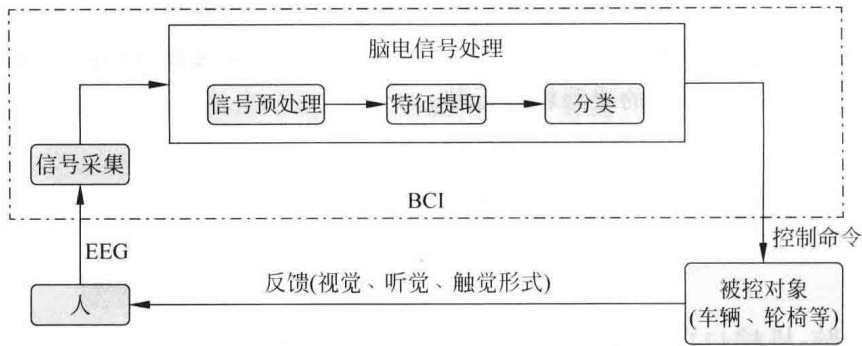


图 1.2 脑-机接口(BCI)的组成及原理框图

1.3 脑-控智能车辆

1.3.1 脑-控智能车辆产生的背景

虽然智能车辆和无人驾驶车辆越来越成熟,但它们仍然需要驾驶员或用户通过人车接口将控制命令或意图传递给智能车辆。对于正常人,他们可以通过用手或脚操控转向盘、按钮、手柄、操作杆或触摸屏等方式将控制命令或意图传递给智能车辆。这些转向盘、按钮、手柄、操作杆和触摸屏就是传统的人车接口。但是残障人(特别是身体有严重运动障碍的人)无法使用这些传统的人车接口,而这些有运动障碍的人同样想尽可能地掌控自己的运动,提高自己的独立生活能力^[7-9]。语音识别和眼动跟踪或许是可选的人车接口方式,然而语音识别对于永久性或暂时性失声的人并不适用,并且车内噪声和其他乘客说话对语音识别的效果有很大影响;而眼动跟踪需要用户对眼部,甚至头部有较强的神经肌肉控制能力,并且车辆的振动对眼动跟踪性能有很大影响。

如果能够利用脑-机接口技术通过“翻译”脑电信号获得驾驶员或用户的意图,那么就可以发展一种新的人车接口技术。利用这种新的人车接口技术,不管是健康人还是残障人都可以驾驶车辆。因此,脑-控智能车辆就孕育而生。

1.3.2 脑-控智能车辆的定义和意义

脑-控智能车辆是指通过脑-机接口技术和智能车辆技术相结合,研制的一种新的智能车辆。脑-控智能车辆的研究除了涉及传统的智能车辆技术外,还涉及神经信号处理及解析等多种技术以及脑与神经科学等多个学科。

脑-控智能车辆可以使智能车辆更加人性化,使人和智能车辆更加和谐统一。这里的人包括驾驶员和乘客、健康人或肢体残障者。在民用方面,它们不仅可以帮助肢体残障者驾驶车辆,从而扩展他们的移动范围,增强他们的生活独立性,而且可以帮助提高健康驾驶员的驾驶安全和驾驶性能。此外,脑-控智能车辆也可以通过脑-机接口技术将乘客的某些意图或状态融入到智能车辆以及无人驾驶车辆中,从而使无人驾驶车辆更加智能,提高乘客的乘车舒适性和用户体验。在国防方面,脑-控智能车辆技术能用于军用车辆和移动武器装备

中,提高士兵的作战能力。

1.3.3 脑-控智能车辆的组成

如图 1.3 所示,脑-控智能车辆主要由两部分组成,即智能车辆和基于脑-机接口技术的人车接口系统。

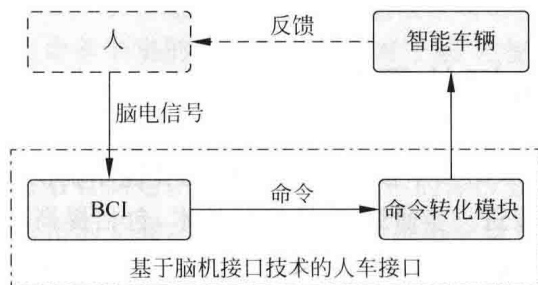


图 1.3 脑-控智能车辆的组成

1. 智能车辆

智能车辆是脑-控智能车辆的基础,不同类型的脑-控智能车辆对车辆本身的智能程度有不同要求:有的脑-控智能车辆需要车辆具有环境感知能力;有的脑-控智能车辆则需要车辆能够自主驾驶。

2. 基于脑-机接口技术的人车接口系统

基于脑-机接口技术的人车接口系统是脑-控智能车辆的核心部分,主要包括脑-机接口和命令转化模块。脑-机接口通过“翻译”脑电信号获得驾驶员或用户的意图,主要包括脑电信号采集、预处理、特征提取和分类器。命令转化模块将解析的命令或意图转化为适合控制车辆的命令。对于一些脑-控智能车辆,命令转化模块只是将命令的表达形式进行变换;而对于另一些脑-控智能车辆,命令转化模块则可能是复杂的辅助控制器。

1.3.4 脑-控智能车辆的分类

目前,脑-控智能车辆可以分为基于过程(运动)控制的脑-控智能车辆、基于任务层面共享控制的脑-控智能车辆、基于辅助驾驶任务操控的脑-控智能车辆和基于驾驶员或用户状态检测的脑-控智能车辆四类。

1. 基于过程控制的脑-控智能车辆

基于过程控制的脑-控智能车辆是指用户不通过四肢,而是通过脑-机接口“翻译”脑电信号获得直接控制车辆运动的命令(如加速、减速、左转和右转)的一类脑-控智能车辆。

2. 基于任务层面共享控制的脑-控智能车辆

基于任务层面共享控制的脑-控智能车辆是指用户不通过四肢,而是通过脑-机接口“翻译”脑电信号从用户界面显示的驾驶任务中选择期望的任务(如目的地),并将该任务传输给智能导航系统,由智能导航系统实现对智能车辆运动控制的一类脑-控智能车辆。

3. 基于辅助驾驶任务操控的脑-控智能车辆

基于辅助驾驶任务操控的脑-控智能车辆是指用户能够通过四肢驾驶车辆,同时能够通过脑-机接口“翻译”脑电信号完成辅助驾驶任务(如打开或关闭 GPS)的一类脑-控智能

车辆。

4. 基于驾驶员或用户状态检测的脑-控智能车辆

基于驾驶员或用户状态检测的脑-控智能车辆是指通过脑-机接口“翻译”脑电信号识别驾驶员或乘客的状态并将检测的状态融入车辆的智能控制系统中,从而使智能车辆能够根据人的状态调整车辆状态的一类脑-控智能车辆。

1.4 脑-控智能车辆的展望

既然基于脑-机接口技术的人车接口系统是脑-控智能车辆的核心,那么为了更好地发展脑-控智能车辆,首先需要进一步研究脑-机接口技术,包括提高脑-机接口性能和可靠性、发展新的脑电采集装置以及完善脑-控技术的评价标准。另外,考虑到和其他脑-控系统相比,脑-控智能车辆在交互内容、模式以及环境等方面存在根本的不同,并且脑-控智能车辆的动力学特性更复杂、速度更快、安全性要求更高,因此,为了更好地发展脑-控智能车辆,还需探索脑-机接口与其他技术的融合,发展适合脑-控的车辆设计方法,探索脑-控驾驶训练方法。具体如下:

1. 提高脑-机接口性能和可靠性

脑-机接口性能和可靠性极大地影响着脑-控智能车辆的整体性能和可靠性。现有脑-机接口在性能和可靠性方面存在以下不足:①只能输出有限数量的命令;②准确率和响应时间受限;③同一脑-机接口性能在不同受测者之间以及同一受测者的不同时间段存在很大的变化。因此,提高脑-机接口性能和可靠性是促进脑-控智能车辆研究的重要问题。该问题的具体研究方向包括:

1) 改进伪迹滤除方法。

和传统的面向残障人在室内使用的脑-机接口系统不同,由于在驾驶过程中,健康驾驶员或用户的肢体、躯干和头部等都会移动,并且脑-控智能车辆运行在室外的环境,车辆在行驶的过程中会颠簸,因此脑-控智能车辆的脑-机接口系统面临着更严重的干扰和伪迹。为了发展脑-控车辆,需要深入而系统地研究在各种驾驶环境条件下各种因素对脑-机接口性能的影响并改进伪迹滤除方法。

2) 探索新的脑电表征和特征选择方法。

现有脑-机接口系统的脑电表征主要在时域、频域和空间域进行,主要采用欧式度量并且特征选择方法相对单一。针对脑-控智能车辆,需要探索新的脑电表征(如脑连通性),尝试不同的优化方法进行特征选择(如序列前向搜索、进化计算技术等)。

3) 建立新的脑电解析模型。

现有脑-机接口系统的解析模型主要是线性模型,为了提高脑-控车辆的性能,还需应用非线性学习机和深度学习方法(包括卷积神经网络和胶囊网络)建立脑电解析模型。

4) 探索新的适合车辆控制的脑-机接口模式。

现有脑-控车辆的脑-机接口主要以单模式为主。为了提高脑-控车辆的性能,还需探索混合脑-机接口模式和连续运动命令的脑电解析等。

2. 改进脑电采集设备

现在大部分脑电采集设备都使用湿电极,这种电极需要被试者佩戴脑电帽并且使用前都需要进行皮肤清理和使用脑电膏。对于残障人,这些并不是问题。然而对于健康的驾驶员和用户,他们会感觉不舒服,不愿意使用脑电采集系统。虽然近年来开发的无线脑电采集设备以及干电极,可以不用进行皮肤清理以及使用脑电膏,从而部分解决了上述问题,然而,目前利用干电极采集的脑电信号质量仍然无法和湿电极采集的信号质量相比。因此,如何提高使用干电极脑电采集设备采集的脑电信号质量对于脑-控智能车辆的发展是一个重要问题。

3. 完善脑-控技术的评价方法

目前的脑-控研究都是各自制定评价方法,没有统一的评价方法来比较不同研究之间的优劣。这样不利于脑-控技术的发展,并且也会造成各种研究资源的浪费。因此,制定完善的脑-控技术评价方法有助于脑-控技术的发展,同时也有助于脑-控车辆的发展。评价方法的制定应该从被试者、测试环境以及性能指标等多方面考虑。

4. 发展脑-机接口与其他技术的融合技术

由于脑-机接口技术存在不足,现有的脑-控智能车辆只能在比较低的速度下行驶,并且车辆整体性能也极大地受制于脑-机接口的性能。因此,融合脑-机接口技术与其他技术,实现多技术优势互补,是促进脑-控车辆发展的另一个重要问题。该问题的研究可以从融合脑-机接口技术与智能控制技术(如自主导航、环境感知等)以及驾驶行为预测技术等方面展开。

5. 研究适合脑-控的智能车辆设计方法

脑-控驾驶和四肢驾驶的实现形式是完全不同的,因此现有四肢驾驶的车辆并不一定适用于脑-控操作。设计适合脑-控操作的车辆有助于从车辆设计角度减少脑-控操作性能对车辆控制性能的影响。因此,设计适合脑-控操作的智能车辆就成为脑-控智能车辆发展过程中需要解决的问题。设计适合脑-控操作的智能车辆首先需要深入分析脑-控操作的内在机理以及脑-控操作和车辆运动之间的关系,然后根据这些分析设计适合脑-控操作的交互界面、传动以及电控等。

6. 探索脑-控驾驶训练方法

脑-控驾驶需要进行系统的训练才可以满足用户以及社会的需要。脑-控驾驶训练方法的研究不仅能够有助于脑-控驾驶性能的提高,也能够促进脑-控车辆的实用化。因此,探索脑-控驾驶训练方法也是脑-控车辆发展过程中需要解决的另一个问题。该研究需要结合实验室研究结果以及脑-控驾驶员的实际操作结果进行综合探索分析。

参考文献

- [1] 刘昭度. 汽车学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [2] 陈慧岩, 熊光明. 无人驾驶汽车概论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014.
- [3] VIDAL J J. Towards direct brain-computer communication[J]. Annual Review of Biophysics and Bioengineering, 1973, 2: 157-180.