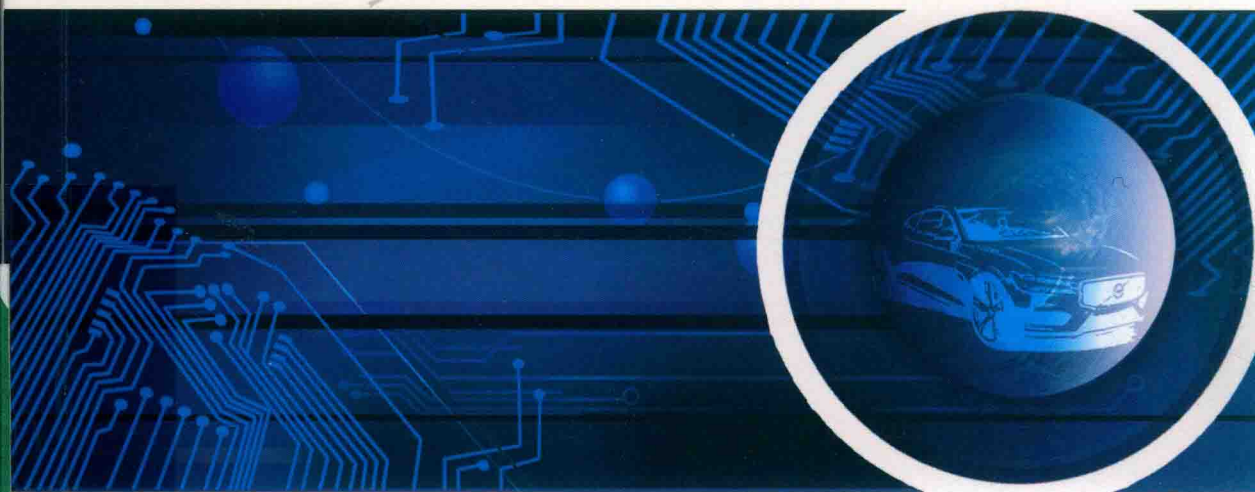


面向车辆行驶安全的 自动驾驶意图识别

◎ 李 敏 张西龙 张永亮 著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

面向车辆行驶安全的 自动驾驶意图识别

李 敏 张西龙 张永亮 著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

·长沙·

图书在版编目 (CIP) 数据

面向车辆行驶安全的自动驾驶意图识别 / 李敏, 张西龙, 张永亮著. —长沙: 中南大学出版社, 2019. 2

ISBN 978 - 7 - 5487 - 3556 - 4

I. ①面… II. ①李… ②张… ③张… III. ①汽车驾驶—自动驾驶系统—研究 IV. ①U463. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 032916 号

面向车辆行驶安全的自动驾驶意图识别

MIANXIANG CHELIANG XINGSHI ANQUAN DE ZIDONG JIASHI YITU SHIBIE

李敏 张西龙 张永亮 著

责任编辑 潘庆琳

责任印制 易红卫

出版发行 中南大学出版社

社址: 长沙市麓山南路

邮编: 410083

发行科电话: 0731 - 88876770

传真: 0731 - 88710482

印 装 长沙市宏发印刷有限公司

开 本 710 × 1000 1/16 印张 11.75 字数 234 千字

版 次 2019 年 2 月第 1 版 2019 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 3556 - 4

定 价 68.00 元

图书出现印装问题, 请与经销商调换

内容简介

本书共8章，提出通过对驾驶人的脑电信号分析及处理来识别驾驶人的驾驶意图，并输入到车辆CAN总线以实现自动驾驶。以驾驶人的脑电信号为研究对象，采用实验、理论和仿真相结合的方法，对脑电信号进行分析研究，并对驾驶人的驾驶意图进行识别。分析驾驶意图的产生、驾驶环境、脑电信号的处理，运用基于粒子群算法的支持向量机识别模型和神经网络识别模型识别驾驶意图，得出神经网络模型更有利于识别脑电信号的驾驶意图的结论。

本书可供信号处理、车辆、交通领域的科技人员、管理人员阅读，也可供安全科学与工程等专业的师生参考。

前 言

传统的交通安全研究主要以车辆状态和道路环境信息作为主要因素。近年来,随着主动安全研究的深入,驾驶意图在主动安全控制中的作用日益得到重视,驾驶意图识别逐渐成为交通安全的研究热点。而脑-机接口(brain-computer interface, BCI)是一种不依赖于外周神经和肌肉组织等常规的大脑信息输出通道,运用工程技术手段采集脑电信号并进行特征提取和识别后转化为某种控制信号,从而在大脑和外部设备间建立起直接连接通路来实现信息交流和控制的新途径。

本书的主要特色是采用理论分析与实验、仿真相结合的方法对大脑不同区域的脑电信号进行研究分析。具体研究内容如下:

(1)建立模拟驾驶实验平台和脑电信号采集系统。提出基于脑-机接口的驾驶意图的识别方法,车辆在左转、右转、直行等驾驶行为前识别驾驶人的驾驶意图,为辅助驾驶和智能驾驶及交通安全提供理论支持。为此,设计用于采集脑电信号的模拟驾驶实验,搭建模拟驾驶实验平台,建立脑电信号采集系统,根据大脑功能分区,分别采集驾驶人在左转、右转、直行前指定时间窗内4个大脑区域的8通道和16通道脑电信号。

(2)对采集的脑电信号进行分析处理、提取特征参数。选取驾驶意图时间窗为在左转、右转、直行前3 s内的脑电信号,采用傅立叶变换、功率谱分析、小波理论和小波包理论及独立分量分析等方法,分别对不同大脑功能区域的信号进行处理分析,提取 θ 波段、 α 波段、 β 波段和 γ 波段的能量、能量占比等反映该波段特征的特征参数,并将提取的特征参数作为输入驾驶意图识别模型的参数。

(3)建立支持向量机驾驶意图识别模型,并采用粒子群算法对支持向量机识别模型的关键参数进行优化。将提取的脑电信号各个波段特征参数作为支持向量机识别模型的输入数据,采用粒子群算法以支持向量机识别模型目标函数值为适应度对支持向量机识别模型的关键参数进行优化,对驾驶人意图按左转和右转、直行和左转、直行和右转进行分类识别。

(4)建立神经网络驾驶意图识别模型,并采用粒子群算法对神经网络识别模

型的关键参数进行优化。将提取的脑电信号各个波段特征参数作为神经网络识别模型的输入数据,采用粒子群算法以神经网络识别模型目标函数值为适应度对神经网络识别模型的关键参数进行优化,对驾驶人意图按左转和右转、直行和左转、直行和右转进行分类识别。

(5)对建立的基于粒子群优化算法的支持向量机识别模型和神经网络识别模型进行仿真验证,对两个模型的识别结果进行对比分析。将识别的驾驶意图转换为相应的指令,控制车辆自动驾驶。

本书在撰写过程中得到了北京理工大学王武宏教授,青岛理工大学岳丽宏教授、曲大义教授、潘福全教授的细心指导。在此,对他们为本书所做出的贡献表示衷心的感谢。

本书的出版得到了山东省自然科学基金项目“基于脑电信号处理技术的深度学习模型及驾驶意图识别方法研究”(编号:ZR2019MEE072)、国家自然科学基金项目“磁激励下近换热面区域磁性纳米粒子流动及传热机理研究”(编号:51806114)、国家自然科学基金项目“胶东半岛金属矿山浅层巷道地温效应调控风流温度的节能机理研究”(编号:51874187)、国家自然科学基金项目“金属矿山深井湿热治理及二次资源循环利用一体化研究”(编号:51204100)、国家自然科学基金项目“道路车流簇态势特性解析及其稳态响应机理研究”(编号:51678320)、中国博士后科学基金特别资助项目“金属矿山地温效应治理井下高温及冻井的节能机理研究”(编号:2014T70658)、山东省科技发展计划项目“山东省金属矿山矿井地热水循环利用关键技术研究”(编号:2014GSF116020)、山东省重点研发计划项目“V型海底隧道交通流运行特性与交通事故发生机理研究”(编号:2018GGX105009)、山东省自然科学基金项目“基于多源信息的交叉口交通违章监控对驾驶人与交通安全影响机理研究”(编号:ZR2016EEM14)、青岛市科技计划资助项目“胶东半岛金属矿山深部开采地热资源转换利用关键技术研究”(编号:14-2-4-95-jch)等资助。在此一并表示感谢。

最后,感谢本书引用的参考资料的作者,感谢编辑对本书的出版所付出的努力。由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

李敏

2018.8.25

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.2 研究目的及意义	(6)
1.3 主要研究内容	(7)
第2章 车辆行驶安全与驾驶意图分析	(9)
2.1 概述	(9)
2.2 车辆行驶安全与驾驶行为分析	(9)
2.2.1 车辆行驶安全及影响因素分析	(9)
2.2.2 驾驶行为分析	(13)
2.3 驾驶意图分析	(15)
2.3.1 车辆行驶安全与驾驶意图分析	(15)
2.3.2 驾驶意图分析	(16)
2.3.3 驾驶意图识别	(16)
2.4 脑-机接口技术研究	(18)
2.4.1 脑-机接口技术的运用及发展	(18)
2.4.2 脑-机接口技术的国内外发展状况	(23)
2.4.3 智能驾驶技术的发展	(24)
2.5 小结	(28)
第3章 脑-机接口数据采集与分析	(29)
3.1 概述	(29)
3.2 实验方案设计	(29)
3.2.1 实验原理	(29)
3.2.2 实验设备组成	(30)

3.3 实验目的及实验方法	(32)
3.3.1 实验目的	(32)
3.3.2 实验方法	(33)
3.3.3 实验过程	(36)
3.3.4 驾驶意图数据测量的电极测试选择	(38)
3.3.5 实验环境与脑电波测试	(38)
3.3.6 脑电数据的分配及分析	(38)
3.4 小结	(39)
第4章 驾驶意图的脑电信号特征提取处理技术	(40)
4.1 概述	(40)
4.2 驾驶意图原理	(40)
4.2.1 驾驶行为概述	(40)
4.2.2 驾驶意图概述	(41)
4.2.3 驾驶意图时窗的选择	(43)
4.3 脑电信号中的非平稳信号处理技术	(44)
4.3.1 傅立叶变换	(44)
4.3.2 功率谱	(54)
4.3.3 小波变换和小波包变换	(64)
4.3.4 枕部的8个电极的情况分析	(94)
4.4 小结	(103)
第5章 基于粒子群算法的支持向量机的驾驶意图识别	(105)
5.1 概述	(105)
5.2 支持向量机算法原理	(105)
5.2.1 驾驶意图与支持向量机	(105)
5.2.2 支持向量机算法原理	(106)
5.3 粒子群算法分析	(109)
5.3.1 粒子群算法	(110)
5.3.2 粒子群算法的支持向量机框图	(111)
5.4 基于粒子群算法的支持向量机的驾驶意图识别分析	(113)
5.5 小结	(115)
第6章 基于粒子群算法的神经网络驾驶意图识别	(116)
6.1 概述	(116)

6.2 神经网络及其优化技术	(116)
6.2.1 神经网络模型	(117)
6.2.2 神经网络优化技术	(121)
6.3 基于粒子群算法的神经网络驾驶意图分析	(122)
6.3.1 三种区域的识别分类	(122)
6.3.2 驾驶意图识别分类(8 通道)	(132)
6.4 驾驶意图识别效果分析	(135)
6.5 小结	(136)
第 7 章 基于脑 - 机接口的自动驾驶系统设计	(137)
7.1 概述	(137)
7.2 脑 - 机接口与 CAN 总线系统设计	(137)
7.2.1 CAN 总线基本知识	(137)
7.2.2 驾驶意图脑电信号的处理	(139)
7.2.3 整体系统设计	(140)
7.3 脑 - 机接口与 CAN 总线系统的模块化设计	(143)
7.3.1 节点设置	(143)
7.3.2 数据采集系统的模块化设计	(145)
7.3.3 电源模块	(149)
7.3.4 数据通信模块	(150)
7.3.5 CAN 通信接口硬件模块	(151)
7.4 数据采集系统	(152)
7.4.1 采集系统设计	(152)
7.4.2 转角数据采集系统	(154)
7.4.3 紧急信号采集系统	(158)
7.4.4 车速采集系统	(162)
7.5 小结	(163)
第 8 章 结论与展望	(165)
8.1 结论	(165)
8.2 创新点	(166)
8.3 研究展望	(167)
参考文献	(168)

第1章 绪论

1.1 研究背景

近年来,城市道路交通安全越来越受到人们的关注,交通安全事故越来越多,如何减少事故已经成为社会关注的重要问题之一。据世界卫生组织公布的数据,在20世纪全世界因为交通事故死亡2585万人;每年交通事故死亡人数从1990年的约99.9万人上升到2002年的110万人;2002年,根据国际经济合作组织的统计,29个成员国全年共发生交通事故4737755起;2004年英国运输部统计显示,英国每年超过3000人死于道路交通事故;在2013年全世界约有124万人死于交通事故中。世界主要国家交通统计指标如表1-1所示。

表1-1 世界主要国家交通统计指标

	事故率(次/万辆)	死亡率(人/万辆)	致死率(%)	综合事故率(%)
美国	131.7	3.28	1.7	2.70
英国	145.4	3.45	1.8	1.91
法国	106.7	5.53	3.6	3.57
德国	143.8	4.61	2.4	2.95
意大利	80.90	4.43	3.7	2.56
日本	122.5	2.20	1.4	1.27
中国	298.1	53.4	22.2	5.34

我国2002年共发生交通事故773137起,造成109381人死亡,526074人受伤;2003年667507起;2004年517889起;2005年450254起。从1999年开始我国交通事故一直逐渐于增加,直到2003年交通事故开始有减少的趋势。从1999

2 / 面向车辆行驶安全的自动驾驶意图识别

年至 2005 年交通事故状况如表 1-2 所示。

表 1-2 我国近年来的交通事故状况(1999—2005)

年份	事故次数(次)	死亡人数(人)	受伤人数(人)	致死率(%)
1999	412860	83529	286080	22.6
2000	616971	93853	418721	18.31
2001	754919	105930	546485	16.24
2002	773137	109381	562074	16.29
2003	667507	104372	494174	17.44
2004	517889	107077	480864	18.21
2005	450254	98738	469911	17.36

2006 年发生交通事故 378781 起,死亡人数 89455 人,受伤人数 431139 人;2007 年发生交通事故 327209 起,死亡人数 81649 人,受伤人数 380442 人;2008 年发生交通事故 265204 起,死亡人数 73484 人,受伤人数 304919 人,造成直接经济损失 10.1 亿元;2009 年因交通事故死亡人数 67759 人;2010 年发生交通事故 219521 起,造成直接经济损失 9.3 亿元;2011 年发生交通事故 210812 起;2012 年发生交通事故 204196 起,死亡人数 59997 人,受伤人数 224327 人,造成直接经济损失 11.7 亿元。

交通事故的影响因素主要包括人、车、路、环境、管理等,经研究发现,人是引发交通事故的主要因素,其次是车辆、道路、环境、管理等因素,如图 1-1 所示。

国内外的道路交通事故相关统计表明,由于人的因素所造成的交通事故占 80%~85%,故驾驶员是交通事故发生的主要原因。

澳大利亚的研究结果表明,交通事故中与人有关的因素占 95%,单纯人的因素占 67%。美国的威廉哈顿的研究表明,交通事故是“人”“车”“路”三个主要因素综合作用的结果,他将人、车、路的相互关系分为事故前、事故中、事故后三个阶段用矩阵中的 9 个单元来表示,认为对任意一个或几个单元进行干预,都会减少事故的发生,如表 1-3 所示。

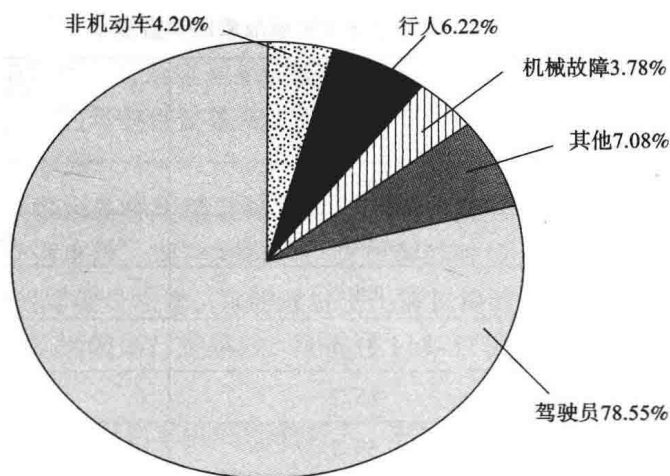


图 1-1 道路交通事故发生原因构成

表 1-3 哈顿矩阵

因素	事故前	事故中	事故后
人	培训、安全教育、行为态度、 着装	车内装置和坐姿	紧急救援
车	照明系统、刹车、速度控制	被动安全设施	救援便利性、火灾风险控制
路	道路标志标线、道路几何线形、 视距、速度限制	路侧碰撞保护设施、 安全护栏	道路交通设施的修复

美国的 Treat 和英国的 Sabey 也研究了人、车、路等因素在交通事故中所起的作用，其结论如表 1-4 和表 1-5 所示。

表 1-4 各因素对事故的影响程度

单位：%

原因	Treat 的结论	Sabey 的结论
单纯路	3	2
单纯人	57	65
单纯车	2	2
路和人	37	24
人和车	6	4
路和车	1	1
人、车、路共同	3	1

表 1-5 世界主要国家事故原因调查表

单位: %

国家	驾驶员过失	道路条件
英国	56.1	6.3
西班牙	92.0	6.5
苏联	52.7	20.6
法国	85.5	10.8
瑞典	81.1	6.1
南美洲	85.7	4.1
南斯拉夫	69.7	20.4
日本	44.0	17.3
平均	70.8	11.6

统计资料表明, 驾驶员行为是最为重要的。研究表明, 如果能提前警告驾驶员, 可以大大减少事故的发生。因此, 国内外对驾驶辅助系统的研究越来越多, 如自适应巡航控制系统、车道偏离预警系统、碰撞预警系统、视觉增强系统等。这些辅助系统虽为驾驶人提供了一定的安全提醒, 但是目前驾驶辅助系统的研究都忽略了驾驶人意图, 仅仅考虑了当前车辆所处的环境状况。

驾驶员在驾驶过程中需要根据道路交通状况进行驾驶行为决策, 需要集中精力及注意力。随着各种驾驶辅助系统的出现, 通过驾驶辅助系统收集的道路交通情况及既定的策略, 给予驾驶员相应的提醒, 增加驾驶的安全性和便利性。这在一定程度上有助于减少交通事故的发生。但是, 如果驾驶辅助系统的提醒信息不准确、程度不适用、方式不恰当, 也会影响驾驶员的正常驾驶。在驾驶员已有相应驾驶意图的前提下, 驾驶辅助系统的干预反而造成驾驶操作的困扰。

车辆安全系统分为主动安全和被动安全。主动安全包括正常行驶时和事故发生前: 正常行驶时, 利用各种传感器, 向驾驶人传递各种信息; 事故发生前, 为了避免或者减轻事故向驾驶人警告或者自动控制。这一部分就是驾驶辅助系统要研究的。被动安全包括事故发生前和事故发生后: 事故发生前, 使驾驶人或者行人的伤害程度最小; 事故发生后, 防止事故后的火灾等二次伤害, 提高抢救伤员的便利性。

辅助驾驶是近年来研究的热点之一。安全辅助驾驶主要是为了提高汽车行驶的安全性, 通过各种传感器检测车辆、道路和各种环境信息, 为驾驶人提供警告, 并对车辆采取一定措施。根据功能, 驾驶辅助系统可以分为三部分: 第一部分是针对驾驶人的感官不足而研究的预警系统, 如碰撞预警系统、车道偏离预警、防

驾驶人瞌睡系统等；第二部分是针对驾驶人决策能力和反应能力不足而研究的预警系统，如碰撞系统、自适应巡航系统、车道保持系统等；第三部分是智能驾驶系统，即最高层次的驾驶辅助系统。

1) 车道偏离预警

车道偏离预警由各种传感器检测到车辆的偏离并使车辆在车道内行驶，以免发生偏离造成交通事故。通过测得的结果提醒驾驶员，辅助驾驶员工作。有的通过 LED 灯来提醒驾驶员注意，有的通过发出警报提醒驾驶员注意，如驾驶员没有打转向灯时，若车辆偏离行驶路线，则通过 LED 灯来提醒驾驶员注意。

2) 障碍物检测

通过各种设备检测到车辆周围的行人、车辆或其他设施等，提醒驾驶员注意及时采取措施。为防止两辆车因为安全距离不足而发生碰撞等追尾事故，当发现车辆间距不足时，向驾驶人发出警报。对行人的检测也是安全辅助驾驶的研究领域。

3) 驾驶人分神检测

针对驾驶人的各种行为，通过各种传感器检测，来判断驾驶员是否处于分神状态，如驾驶员的嘴部动作、异常手部动作。

4) 交通标志检测

在辅助驾驶中，交通标志是通过图像检测识别的。

5) 自适应巡航系统

根据雷达检测到的前导车的车速、距离、角度等信息向自适应巡航控制系统的控制单元提供信息，而自适应巡航系统的控制单元通过驾驶员设定的速度及车距，结合雷达检测信息来确定跟随车辆的速度及车距。当车距小于安全距离时，向驾驶员发出警告。

6) 车道保持系统

车道保持系统将通过摄像头拍摄到的图像转换成数据进行处理与分析，分析车辆是否处于两车道间，如果有偏移并超出偏移的允许值，就发出指令程序，控制车辆回到车道线间。

7) 交叉口驾驶辅助系统

交叉口驾驶辅助系统是实现此类驾驶辅助的构想。当车辆进入交叉口处于危险状态时，给予车辆警告或者直接控制车辆的行驶，并调整车辆的行为。

目前对车辆安全行驶中驾驶意图的研究还不够深入，需要不断地挖掘。车辆安全行驶中的驾驶辅助和驾驶意图相配合、准确地识别驾驶意图是此领域研究的重点。

因此，研究驾驶意图是车辆安全行驶的重要基础，在车辆安全行驶的情况下对驾驶意图进行识别是研究的重点。而驾驶意图的识别中，传统的输入参数是方

向盘的转角、车道检测线、加速踏板的开度等。这种传统的输入方式,可能需要通过传感器的检测才能获取参数,存在不确定性并且由于时间的延长而使驾驶意图的识别花费很长的时间。在这种背景下,通过捕捉驾驶人的脑电信号,对脑电信号进行特征提取作为输入参数输入识别模型进行驾驶意图的识别。尽可能地降低对驾驶人正常驾驶操作的干扰,同时尽量地预防和避免交通事故的发生,是交通安全领域的重要研究趋势。研究在城市典型道路交通状况下,车辆安全行驶情况时,提取驾驶人的脑电信号特征作为输入参数,通过粒子群算法的神经网络模型和支持向量机模型进行处理,识别出驾驶意图。研究综合处理驾驶员的脑电信号、道路交通环境以及车辆驾驶状况,通过脑电信号的特征提取完成识别模型的输入参数,运用识别模型识别驾驶员的驾驶意图,并将识别的驾驶意图转换为相应的指令,输入 CAN 总线的控制系统,对车辆行驶进行自动控制。

1.2 研究目的及意义

本研究对驾驶意图进行识别,通过驾驶员在复杂的交通环境下的脑电信号,提取脑电信号的特征作为输入参数,输入识别模型,识别出驾驶意图。在考虑驾驶意图的情况下,驾驶辅助决定是否控制车辆,并将识别的驾驶意图信号输入车辆 CAN 总线,实现车辆的自动驾驶。研究目的及意义如下:

1) 为车辆安全行驶提供理论依据

智能交通辅助系统的发展会主动地干预车辆的行驶,在驾驶意图识别后,采取相应的对策。目前主要有自适应巡航系统、车道偏离警示系统等。

2) 为脑电信号的处理技术提供一定的借鉴意义

脑电信号运用小波变换、小波包变换、独立分量分析等数据处理技术进行分析,并提取脑电信号的特征,把脑电信号的多种特征作为输入参数,以获得更高的识别率,为脑电信号的处理技术提供一定的借鉴意义。

3) 为人机交互提供理论依据

采用脑电信号对驾驶意图进行研究,直接获取驾驶人的脑电信号作为输入参数,能直接地感知驾驶人的意图,并对脑-机接口的驾驶意图的发展和研究提供一定的思路,为脑-机接口的驾驶意图的人机交互提供理论依据。

4) 对自动驾驶的发展具有理论及实践意义

自动驾驶需要获取更有力的参数和更准确的识别,直接采用脑电信号对驾驶意图进行识别,进一步提高在意图感知方面的驾驶意图的意识,对没有经过任何媒介传输的数据进行处理,提供输入参数的直接性,减少传播介质的传播误差,为自动驾驶的发展提供借鉴意义。

车辆安全行驶情况下的基于脑-机接口的驾驶意图的研究为辅助驾驶的提升

提供发展空间,对脑-机接口用于交通领域的研究,对驾驶意图的脑电信号的获取和处理提供了思路,使驾驶意图的识别更为准确,进一步提高车辆的安全行驶性。

1.3 主要研究内容

采用理论分析、实验与仿真相结合的研究方法,对驾驶员在不同驾驶行为实施前的驾驶意图进行研究,如图1-2所示。具体研究内容如下:

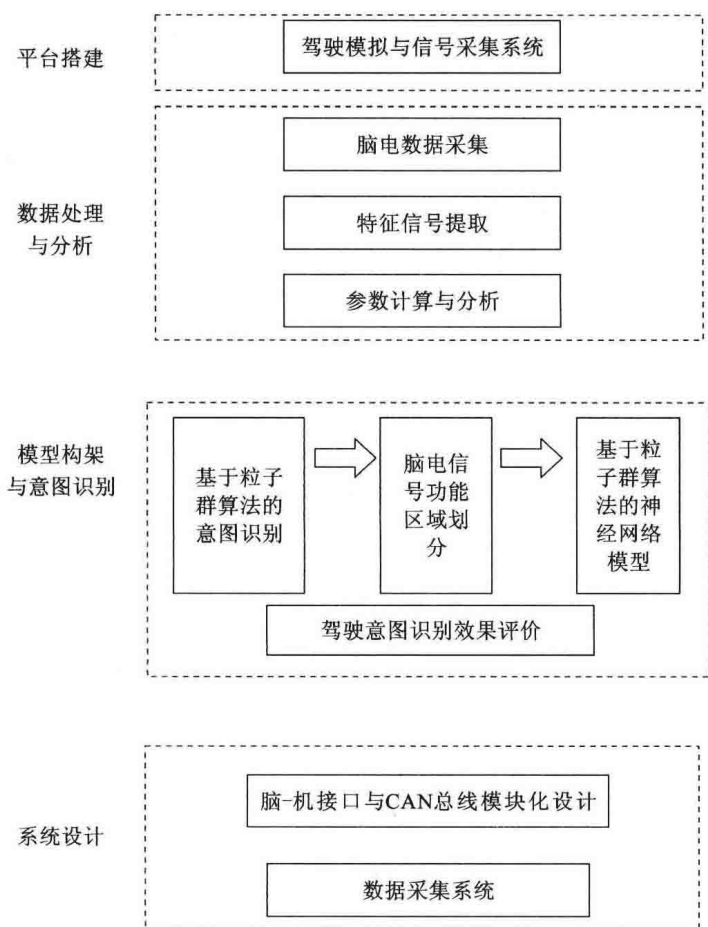


图1-2 内容架构

(1)提出基于脑-机接口的驾驶意图识别方法,建立虚拟驾驶实验平台和脑电信号采集系统,采集驾驶人在设计指定的虚拟驾驶实验路线下左转、右转和直行等驾驶行为,选择16通道和8通道脑电信号采集。

(2)对采集的脑电信号进行处理分析、提取特征。根据大脑功能分区,选取不同的脑电信号通道,选取识别驾驶意图的时间窗口为3 s,采用傅立叶变换、功率谱分析、小波变换、小波包变换和独立分量分析等方法,对驾驶员左转、右转、直行驾驶行为发生前3 s内的脑电信号进行归整处理,分波段提取能量及能量比值等特征参数作为输入参数。

(3)建立支持向量机驾驶意图识别模型,并采用粒子群优化算法对该模型关键参数进行优化,以支持向量机识别模型目标函数为适应度函数。提取能量及能量比值等特征参数作为模型输入参数,按左转和右转、直行和左转、直行和右转分别进行驾驶意图识别。

(4)建立神经网络驾驶意图识别模型,并采用粒子群优化算法对该模型关键参数进行优化。神经网络识别模型以各波段特征参数为输入参数,按左转和右转、直行和左转、直行和右转分别进行驾驶意图识别。

(5)以 Matlab 平台实现脑电信号分析和特征参数的提取,实现基于粒子群优化算法的支持向量机模型和神经网络模型的仿真,实验数据作为模型训练、验证和测试数据,并对比两个识别模型的识别效果。

(6)通过对驾驶意图的识别,转换成相应的指令完成车辆自动驾驶。对驾驶意图的识别转换成相应的指令,输入 CAN 总线的控制系统,控制系统通过传感器控制执行系统,完成车辆自动驾驶。对脑-机接口的节点进行了设置,并对数据采集系统进行模块化设计,整个系统的数据采集分为脑-机信号采集模块、电源模块、采集模块、通信模块、上位机以及传感器。