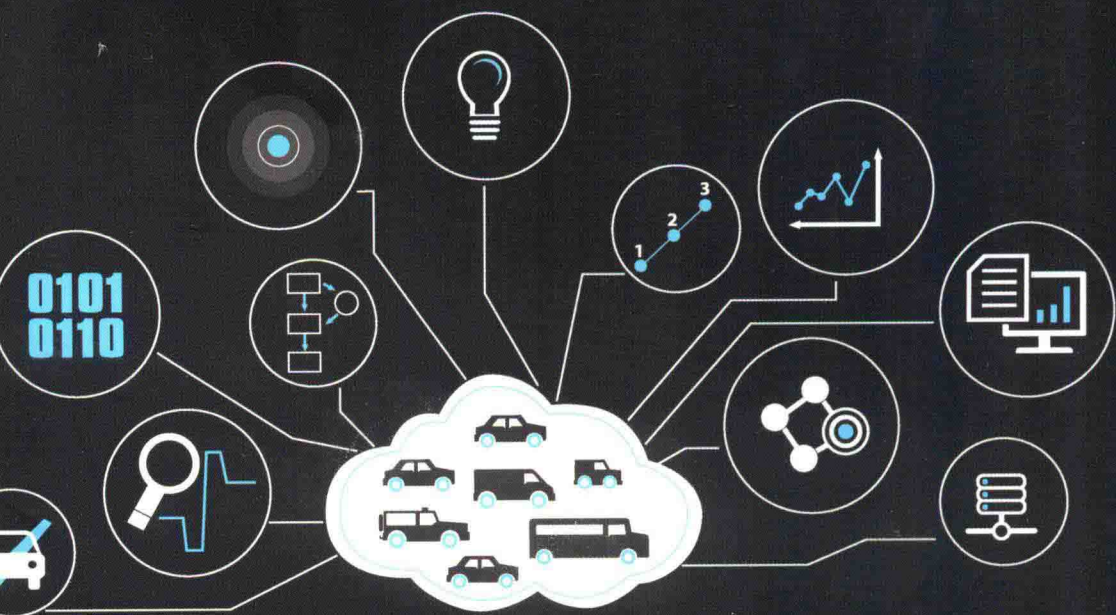




车辆联网感知与控制

王云鹏 田大新 沃天宇 著



科学出版社

车辆联网感知与控制

王云鹏 田大新 沃天宇 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

随着车载传感器与移动通信技术的快速发展,车辆间的协同感知与控制技术成为智能车辆、智能交通技术的前沿热点。本书在介绍车辆感知、数据处理、行为分析的基础上,论述了联网环境下协同定位、动力学建模的相关方法,并重点分析了车联网队列控制与交叉口安全避撞方法。

本书可作为高等院校车辆工程、交通运输工程、控制科学与工程等专业的研究生和高年级本科生教材,同时也可作为车路协同、车联网、智能交通、智能车辆等领域的研究人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

车辆联网感知与控制/王云鹏,田大新,沃天宇著. —北京:科学出版社, 2016.5

ISBN 978-7-03-048205-1

I. ①车… II. ①王… ②田… ③沃… III. ①互联网络—应用—汽车②智能技术—应用—汽车 IV. ①U469-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 093737 号

责任编辑:余 丁 闫 悦 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 5 月第 一 版 开本:720×1 000 1/16

2016 年 5 月第一次印刷 印张:12 3/4

字数:242 000

定价:72.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

目前，国际汽车业对于汽车的智能化技术与作用已经基本达成了共识，因为一个趋势必须要受到大家的共识，只有受到了大家的共识，特别是产业界的共识，甚至是汽车强国的共识，全世界的共识，它才会真正的被大家认可，真正的发挥作用。这个共识就是智能汽车与交通系统的发展必须紧密结合，其作用主要体现为：对道路安全的贡献、解决交通堵塞的问题、有效降低二氧化碳排放、产生良好社会与经济效益、具有重大国防意义，以及影响个人生活方式。

在智能车联网技术发展中，美国、欧盟、日本等发达国家或地区，已经经历了近10年的技术积累，形成了先后三代车联网系统，由以侧重基础设施建设的车联网系统V1.0时代，和实现应用和相关标准化的车联网系统V2.0时代，发展为目前的大规模集成示范的车联网系统V3.0时代。我国自“十一五”末设立首个车联网系统主题项目以来，经过数年发展已形成一定规模的基础设施、产业集群，以及核心科学技术。2015年国务院发布《中国制造2025》发展路线，其中将智能网联汽车技术明确为经济社会发展和国家安全重大需求发展方向，确立解决关键零部件和共性技术、形成一批重点产品、并建立应用示范工程等发展目标。

针对“互联网+车联网”时代的科技发展变革，一汽集团始终瞄准前沿技术，2015年发布“挚途”战略：在未来的十年中，一汽集团将实现由“挚途”1.0到“挚途”4.0的发展跨度，逐步由先进辅助驾驶、基于“互联网+”的短时自动驾驶发展为智能汽车的长时自动驾驶和基于智慧城市的全自动驾驶。一汽“挚途”战略的核心目标是：践行“中国制造2025”，实现两化融合，完成转型升级。只有这样，才能将汽车与车联网紧密结合，为智能出行提供服务，通过发展互联智能汽车引领未来，缔造安全高效、节能环保、生态和谐的智能化人车生活。

北京航空航天大学于2011年成立了国内车路协同领域首个省部级重点实验室“车路协同与安全控制北京市重点实验室”，在车路协同、车联网领域承担了国家自然科学基金重点项、973计划、863计划、科技支撑计划等多项国家重点项，在车联网“感、传、知、用”环节均取得了重要技术突破。《车辆联网感知与控制》一书是该实验室在车路协同领域研究中相关科研成果的总结，包括车辆状态、位置精准感知技术，车联网大数据处理体系架构与方法，创新性地提出了车路通信环境下车辆冲突检测方法、交叉口的碰撞预警方法，以及编队安全控制方法。书中内容不仅具有较高的理论与学术价值，而且对相关技术研发和工程实践具有很强的指导意义。该书的出版对推动我国

智能车辆、智能交通的发展具有重要作用，也希望有更多的读者能够加入车联网技术创新和腾飞的浪潮中。

中国工程院院士
一汽集团公司副总工程师、技术中心主任

A stylized handwritten signature in black ink, consisting of two characters: '李' (Li) and '骏' (Jun).

2015 年冬于长春

前 言

近年来,汽车保有量的爆炸性增长引发了一系列社会问题,如道路交通事故率明显升高,大中城市常见的交通拥堵、环境污染等现象,严重影响人类的正常生活以及生命、财产安全。随着信息化技术的飞速发展,互联互通的信息网络为解决交通问题提供了新途径。车辆作为交通系统中的核心要素,通过其自身的各种传感器和计算单元,结合移动通信与网络技术,可动态感知交通系统中人、车、路网环境等关键要素的状态信息,实现交通要素间的信息资源深度融合,从而提高交通系统运行效率、降低交通事故率、减少污染排放。车辆联网感知与控制技术自提出以来受到各国工业界、学术界和政府部门的广泛关注,获得大量资金及人员投入,目前已对其科学问题和试验环境展开了大规模的研究和建设。美国从最初的 VII 到 IntelliDrive 再到 Connected Vehicle 项目,大力推进车辆联网与车路协同控制技术的研发,并在安娜堡市建设了全球知名的智能车辆、无人驾驶试验场——Mcity。欧盟从 2001 年开始相继展开了 CVIS、SAFESPOT 和 SimTD 等以车辆协同、安全保障为出发点的应用项目,到 2010 年实施 Drive C2X、Eco-Driving 等“车联万物”以及绿色驾驶的主题项目。

交通系统是一个复杂巨系统,而仅靠提升车辆自身安全与运行效率的发展方向已无法有效解决交通安全与节能减排问题,究其根本原因在于车辆的运行与驾驶人、路网环境紧密耦合。而将孤立的人-车-路三要素通过移动通信技术实现一体化协同,是减少交通事故、提高车辆运行能效的重要途径。车辆、道路设施对信息的获取能力将从仅靠自身传感器感知的有限范围,扩展到无线通信环境下的动态自组网空间,由此也将引起安全保障、交通管理、出行服务的变革。为此,我国从“十一五”末开始先后在 863 计划中部署了“智能车路协同技术”和“车联网技术”两个主题项目,开展相关技术的研发工作。本书重点介绍了在车辆联网感知与控制方面取得的相关科研成果。

全书共 6 章,第 1 章阐述了车辆状态感知技术,包括车载传感器相关的信息采集与处理方法;第 2 章介绍了大规模车辆联网数据的处理方法;第 3 章重点介绍了车辆协同定位方法以及运动行为分析技术;第 4 章介绍了车车通信条件下的动力学建模与冲突检测方法;第 5 章和第 6 章分析了联网环境下车辆的安全控制方法,包括车队的主动避撞控制以及交叉口的冲突消解方法。

本书的三位主要作者是王云鹏、田大新、沃天宇,其中,王云鹏负责第 4~6 章的撰写以及全书的统稿,田大新负责第 1 章和第 3 章的撰写,沃天宇负责第 2 章的撰

写。课题组的段续庭、俄文娟、王庞伟、王迪、张惠、邵帅、杨晓宇、朱宇凯、刘超、李玉洲同学也参与了本书的编写工作。

本书得到国家自然科学基金项目 (No.U1564212, No.91118008, No.61103098)、国家 863 计划项目 (No. 2011AA110402, No.2012AA111903), 以及车路协同与安全控制北京市重点实验室、交通运输行业智慧综合交通技术协同创新平台、现代城市交通技术江苏高校协同创新中心和城市交通管理集成与优化技术公安部重点实验室的资助, 在此向相关部门表示深深的感谢!

由于作者水平有限, 书中难免存在不妥之处, 恳请专家、学者及广大读者批评指正。

作 者

2015 年 12 月

目 录

序

前言

第 1 章 车辆状态感知	1
1.1 常用车辆状态信息及其相应传感器	1
1.1.1 车辆状态信息分类	1
1.1.2 常用车辆状态信息	2
1.2 车辆状态信息采集	10
1.2.1 车内状态信息的传输	10
1.2.2 车辆状态信息采集与融合	11
1.3 车辆状态信息处理	12
1.3.1 传感器标零	12
1.3.2 车辆状态数据滤波	12
1.3.3 车辆状态数据有效性验证	13
1.3.4 卫星定位数据处理	14
1.4 基于扩展卡尔曼滤波的车辆位姿估计	17
1.4.1 车辆运动学模型	17
1.4.2 卡尔曼滤波方法	20
1.4.3 车辆运动状态估计	21
参考文献	23
第 2 章 车辆联网大数据处理技术	25
2.1 时空大数据管理	25
2.1.1 时空数据索引	25
2.1.2 时空数据的压缩存储技术	26
2.2 时空大数据云端处理系统	30
2.2.1 JStorm	31
2.2.2 Apache ZooKeeper	32
2.2.3 Apache Kafka	33
2.2.4 Memcached	34
2.2.5 PostgreSQL	35

2.3	实时车辆位置监控系统的设计与实现	36
2.3.1	系统总体架构设计	37
2.3.2	多级网格划分	37
2.3.3	实时位置聚合的 JStorm 任务实现	38
2.3.4	质心合并的 JStorm 实现	41
2.3.5	大规模车辆实时行政区域判定的实现	41
2.3.6	行政区域判定与跨区域事件记录的 JStorm 任务实现	41
2.3.7	实时车辆位置监控系统 Web 应用的实现	43
	参考文献	45
第 3 章	车辆位置与行为感知	47
3.1	车辆位置感知	47
3.1.1	定位技术及问题挑战	47
3.1.2	到达角估计方法	49
3.1.3	理论下界	51
3.1.4	协同定位	52
3.1.5	数据融合	53
3.1.6	车联网系统中车辆定位应用示例	58
3.2	驾驶行为特征分析	65
3.2.1	车辆运动特征变化	66
3.2.2	驾驶行为识别方法输入参数的模糊分级	68
3.2.3	驾驶行为规则库	80
	参考文献	83
第 4 章	车辆动力学建模与冲突检测	86
4.1	车辆纵向受力分析	86
4.2	车车通信模式下的车辆简化纵向动力学分层模型	89
4.2.1	车辆纵向动力学模型的简化	89
4.2.2	简化车辆动力学模型的分层	91
4.3	基于 Carsim/MATLAB/Simulink 的车辆动力学模型联合仿真实验验证	93
4.3.1	Carsim 仿真环境参数设置	95
4.3.2	Carsim/MATLAB/Simulink 联合仿真搭建	98
4.3.3	下层动力学控制模型仿真结果分析	98
4.4	两车冲突检测方法	102
4.4.1	两车冲突判断模型	102
4.4.2	冲突严重程度界定	106
	参考文献	109

第 5 章 车辆队列协同控制模型	111
5.1 车辆队列系统概述	111
5.1.1 车辆队列系统数学模型	111
5.1.2 车辆队列系统控制方法	112
5.1.3 车辆队列控制系统结构	113
5.2 车车通信模式下的车辆队列行驶条件	114
5.2.1 车辆行驶安全性条件	114
5.2.2 车辆队列稳定性条件	116
5.3 基于滑模控制的车辆队列协同控制	117
5.3.1 控制模型	117
5.3.2 车辆队列协同控制模型的稳定性分析	121
5.4 车辆队列协同控制模型 Carsim 仿真	122
5.4.1 阶跃紧急减速输入仿真效果	122
5.4.2 正弦加速度输入仿真效果	124
5.5 通信延迟/失效对车辆队列协同控制影响及模型策略调整	126
5.5.1 通信延迟下的车辆队列协同控制模型	127
5.5.2 通信失效下的车辆队列协同控制模型	129
5.5.3 通信延迟/失效下模型仿真验证	132
5.6 车联网队列主动避撞控制	135
5.6.1 传统避撞模型缺陷分析	136
5.6.2 避撞过程的非线性规划问题	137
5.6.3 基于非线性规划协同主动避撞模型	140
5.6.4 基于协同主动避撞模型的车辆队列控制	143
5.6.5 仿真验证	146
参考文献	151
第 6 章 车联网交叉口避撞控制	154
6.1 两车冲突消解	154
6.2 现有交叉口冲突消解算法	157
6.3 基于信息交互的合流冲突消解策略	160
6.3.1 典型合流冲突简化模型	160
6.3.2 合流冲突消解模型	163
6.3.3 基于 Simulink 的模型求解	165
6.4 基于信息交互的交叉冲突消解策略	167
6.4.1 典型交叉冲突简化模型	167
6.4.2 交叉冲突消解模型	168

6.4.3	基于 Simulink 的模型求解	171
6.5	多车协同交叉口仿真	173
6.5.1	仿真平台概述	174
6.5.2	仿真系统建模	175
6.5.3	两车冲突消解	177
6.5.4	三车冲突消解	180
6.5.5	四车冲突消解	182
6.6	关键参数对冲突检测与消解的影响分析	188
6.6.1	车辆外形尺寸	188
6.6.2	车辆定位误差	189
6.6.3	信息传输迟滞	190
	参考文献	191

第 1 章 车辆状态感知

驾驶员准确掌握行驶过程中车辆状态信息是其安全驾驶的基本保障。一直以来，安全、效率、环保就是车辆工业努力提升的三大方面，由此汽车电子技术和智能车辆技术得到飞速发展。目前，汽车上几乎每个组成都是机械、电子和信息一体化的装置，从现已普及的发动机管理系统（engine management system, EMS）、自动变速箱控制系统（transmission control unit, TCU）、电控悬架、制动防抱死系统（antilock brake system, ABS）、驱动力控制系统（traction control system, TCS）、车身电子稳定系统（electronic stability program, ESP）等传统汽车电控系统，到面向驾驶员的信息服务系统、导航系统、仪表系统等，再到自适应巡航、主动碰撞、车道保持等先进驾驶辅助系统（advanced driver assistance system, ADAS），汽车电子系统已遍布于整车，而绝大多数汽车电子系统均是由感知、决策、执行模块构成的闭环系统，这里车辆信息的感知又是任何汽车电子系统及智能驾驶辅助系统正常运行的前提保障。随着车联网时代的到来以及车车通信技术的成熟发展，车辆状态信息通过车车通信手段得以精确、实时、大范围共享，从而支持面向安全、效率、绿色生态的多样化车联网相关应用，因此准确的车辆状态感知是车联网应用顺利实施的核心基础。本章将对常用车辆状态信息及其相应传感器、车辆状态信息采集及预处理进行说明。

1.1 常用车辆状态信息及其相应传感器

1.1.1 车辆状态信息分类

车辆在行驶过程中，作为运动物体，一般将车辆运动划分为六自由度，如图 1.1 所示，包括纵向运动、侧向运动、垂向运动、侧倾运动、俯仰运动、横摆运动。在本章中由这六个自由度的运动衍生出的运动参量以及车辆的位置信息统一归类为车辆运动状态信息。

车辆作为复杂机电一体化系统，由至少上万个零部件装配而成，从整体构造而言，车辆包括四大组成部分：发动机、底盘、车身、电气设备。发动机是车辆的动力来源，通过底盘传动系统驱动车辆行驶；底盘本身又可细分为传动系统、行驶系统、转向系统、制动系统四部分；车身不仅是传统意义上的车身壳体，还包括车锁、门窗、空调等设备；电气设备包括电源、发动机启动系统、照明设备及发动机点火系统。车辆在整个运行过程中，上述车辆系统的运行状态与车辆各方面性能及驾驶员的安全息息相

关，本章将其统一归类为车辆运行状态信息，它与车辆运动状态信息共同构成车辆状态信息^[1]。



图 1.1 车辆运动形式示意

1.1.2 常用车辆状态信息

各类传感器已遍布车辆各个角落，使得种类繁多的车辆运行状态参量能够实时精确获取，为各汽车电子系统提供支持。车辆运动形式复杂，车辆运动状态参量也多种多样^[2]。综上所述，车辆状态信息不胜枚举，不同系统对车辆状态信息的需求千差万别。车用传感器按感知参量类型可分为：①位置、角度传感器；②转速传感器；③加速度传感器；④距离传感器；⑤温度传感器；⑥压力传感器；⑦气体浓度传感器；⑧光量传感器；⑨电流传感器；⑩空气流量传感器；⑪液位传感器；⑫载荷传感器等。表 1.1 列举了一些车用传感器及其用途，而本章主要介绍几种常用的车辆状态信息及其相应的传感器。

表 1.1 部分车用传感器及其用途

系统	传感器	用途
发动机	进气压力、空燃比、曲轴转角、爆燃、发动机转速、进气温度、冷却液温度、冷却液温度开关	燃油喷射、废气再循环、点火时间程序控制、冷却液温度调节、怠速稳定控制、空燃比修正反馈控制、爆燃区控制
底盘	挡位位置、节气门开度、车速、制动开关、驻车制动开关、轮速、车高	换挡控制、闭锁离合器控制、起步离合器控制、巡航控制、车身高度控制、防抱死制动、悬架控制
车身	结露开关、车外开关、车内开关、车外温度、车内温度、日照量、湿度	车内空调、前照灯控制、防眩目后视镜、雨滴检测刮水器
显示诊断	发动机转速、车速、燃油剩余量、冷却液温度、机油油压、方位行车距离、进气压力、燃油流量、排气温度	发动机转速、车速、里程表、燃油剩余量显示、冷却液位、制动液位、排气温度报警

1) 常用车辆运动状态信息及其相应传感器

车辆在行驶中，车辆运动状态往往可间接反映车辆的安全状态和驾驶员的驾驶行为，可用于识别车辆超速、侧翻等危险状态。一般常用的车辆运动状态信息包括车速、纵向

加速度、侧向加速度、横摆角速度、经纬度、海拔、航向角。上述车辆运动状态信息常用于车辆横纵向控制、车辆导航定位、危险状态辨识等研究及应用中。通常情况下,由于车辆在行驶过程中质心侧偏角较小,应用中常近似使用车辆纵向速度代替车速^[3,4]。

(1) 车速传感器

车速是最基本的车辆运动状态信息之一,可采用车辆装配的车速传感器进行感知,车速传感器归类为转速传感器,通过测量车辆旋转部件转速,推算车辆行驶速度。常见车速传感器可分为电磁感应式、磁阻元件式、霍尔式、光电式四种。

电磁感应式车速传感器由永磁铁、铁芯及线圈组成,常固定安装于变速器输出轴附近的壳体上,输出轴上的驻车锁定齿轮为感应转子,当变速器输出轴转动时,驻车锁定齿轮的凸齿不断靠近或远离车速传感器,导致传感器电磁感应线圈内磁通量周期性变化,产生交变电流,并由传感器信号输出。随后,电控系统控制器根据传感器输出的电压脉冲频率计算车辆行驶速度。

磁阻元件式车速传感器主要由多极磁环与内装磁阻元件的集成电路组成。当变速器输出轴带动变速器多极磁环旋转时,磁环旋转引起磁通变化,使集成电路内的磁阻元件的电阻值发生变化,阻值变化引起传感器输出电压变化,从而推导出车速值。磁阻元件式车速传感器同样可安装于变速器输出轴。

霍尔式车速传感器基于霍尔效应,具有对磁场敏感度高、输出信号稳定、频率响应高、抗电磁干扰能力强、结构简单等特点,当齿圈转到两个齿均与霍尔元件正对时,永磁体传到霍尔元件的磁力线分散,磁场较弱,输出的霍尔电压较小;当齿圈转动一个齿正对霍尔元件时,永磁体传到霍尔元件的磁力线集中,磁场较强,输出的霍尔电压较大。齿圈转动过程中,通过霍尔元件的磁力线密度周期性变化,从而引起霍尔电压周期性变化,此信号经由电子电路处理后以脉冲电压形式输出。

光电式车速传感器由发光二极管、光敏元件及遮光板构成,如图 1.2 所示,当遮光板没有遮光时,发光二极管的光射到光敏晶体管上,光敏晶体管集电极中有电流通

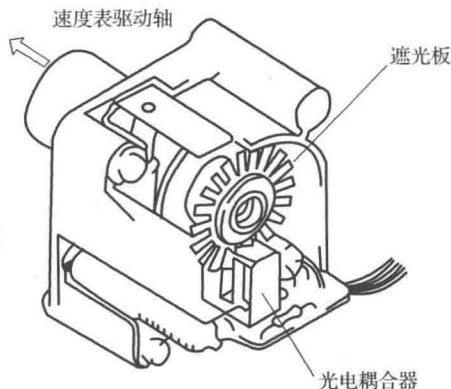


图 1.2 光电式车速传感器及其工作原理

过,使晶体管导通,从而产生 5V 电压输出。脉冲频率取决于车速,其产生的脉冲信号与霍尔传感器输出信号一致。

(2) 惯性传感器

车辆的纵向加速度、侧向加速度以及横摆角速度一般由惯性传感器采集。惯性传感器分为两大类,即线加速度计和角速度陀螺仪,顾名思义,线加速度计可测量各向加速度,角速度陀螺仪可测量绕各轴旋转运动的角速度。

目前对于常用的纵向加速度、侧向加速度以及横摆角速度的测量往往采用单轴的线加速度计或角速度陀螺仪进行测量,为了节约成本,往往采用单轴线加速度计测量特定轴向的加速度,如纵向加速度传感器,或为了测量相关参量并减少传感器数量往往将多惯性传感器融合成单个传感器。为了全面测量车辆运动状态,研究人员常采用惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU),IMU 一般包含三个单轴的加速度计和三个单轴的陀螺仪,可感知车辆各方向的加速度和角速度,包括纵向加速度、侧向加速度、垂向加速度、横摆角速度、俯仰角速度、侧倾角速度^[5]。

惯性传感器一般输出为模拟电压信号,其主要性能指标包括量程、范围、灵敏度、精度等,量程即指测量上下限的代数差;范围是指传感器可测量参量的上限和下限的区间;灵敏度是指传感器输出变化值与相应的被测量变化值之比;精度是指传感器在测量范围内可检测出的被测信号的最小增量。

在车辆状态感知研究中,为了有效精确感知车辆运动状态,往往在车辆中加装各类惯性传感器,如纵向加速度传感器、横摆传感器等。常用的线加速度计一般根据压电效应进行工作,对于纵向加速度传感器,其安装位置与车辆纵轴重合,测量方向与车辆纵向行驶方向重合,车辆在行驶过程中,除紧急制动情况下,加速度变化范围较小,需要选择合适的加速度传感器测量车辆的纵向加速度^[6]。图 1.3 所示为朗斯测试技术有限公司的 LC07 系列内装 IC 应变加速度传感器。传统纵向加速度传感器在测量较小加速度值时,噪声及零漂较大,很难得到理想测量结果。图中纵向加速度传感器不同于传统的应变桥结构,通过集成 42 个对加速度敏感的可变电容单元,同时解决了加速度测量中噪声、零漂、精度问题。此加速度传感器测量范围为 $-2\sim 2g$,灵敏度为 $1000mV/g$,输出电压为 $0\sim 5V$,适用于车辆纵向加速度的测量。

在车辆侧向加速度和横摆加速度测量上,由于二者均能反映车辆的侧向运动状态,相关性较大,所以通常采用融合单轴线加速度计和单轴陀螺仪的单惯性传感器同时感知两种参量,传感器的安装位置需要与车辆质心重合。图 1.4 所示为博世公司的一款横摆传感器,由加速度传感器、角速度传感器及电子单元构成,可同时测量侧向加速度和横摆角速度两个参量,输出信号为代表两个参量的模拟电压信号,电压变化范围均为 $0\sim 5V$ 。该传感器可测量的侧向加速度变化范围为 $-1.8\sim 1.8g$,灵敏度为 $1000mV/g$,在 100Hz 条件下侧向加速度电子噪声小于 $5mV$,可测量的横摆角速度的范围为 $-100\sim 100deg/s$,精度为 $0.2deg/s$,灵敏度为 $18mV/(deg/s)$,在 100Hz 条件下横摆角速度电子噪声小于 $5mV$,适用于对车辆侧向加速度和横摆角速度的感知。

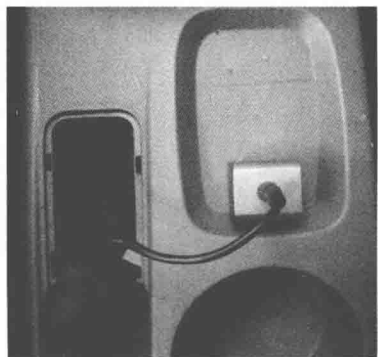


图 1.3 纵向加速度传感器及其安装示意



图 1.4 博世公司横摆传感器

惯性传感器也可用于导航,即惯性导航系统(inertial navigation system, INS),惯性导航系统不依赖于外部信息,也不向外部辐射能量,属于自主式导航系统,可在空中、地面甚至水下环境工作。惯性导航系统以牛顿力学定律为基础,通过测量载体在惯性参考系的加速度,将测得的加速度对时间进行一次二次积分,并将坐标变换到导航坐标系中,得到载体在导航坐标系中的速度、偏航角和位置等信息。惯性导航系统采取推算式导航,故导航起始点位置需要已知,从而根据连续测得的运动体航向角和速度推算下一点的位置。惯性导航系统采用陀螺仪构建导航坐标系,并通过测量航向和姿态角,使加速度计的测量轴稳定在该坐标系中;加速度计用来测量运动体的加速度,经过对时间的一次积分得到速度,速度再经过对时间的一次积分即可得到距离。惯性导航系统优点如下:①由于惯性导航系统为自主式导航系统,所以隐蔽性好,可避免外界电磁干扰的影响;②工作环境不受天候、时间、位置等因素限制;③能提供位置、速度、航向和姿态角数据,所产生的导航信息连续性好而且噪声低;④数据更新频率高、短期精度和稳定性好。其缺点是:①由于导航信息经过积分而产生,定位误差随时间而增大,长时间使用精度差;②每次使用之前需要耗费较长时间进行初始对准;③价格昂贵;④无时间信息。

(3) 卫星定位系统

车辆在行驶过程中,其位置及航向成为车辆定位、导航、自动驾驶等应用中必不可少的信息,车辆经纬度、海拔、航向及行驶速度均可通过卫星定位系统获取。车辆精准定位也是智能交通和智能车辆领域研究的基础问题。卫星定位系统具有很高的军事战略价值和民用商业价值,随着卫星定位技术的不断发展,卫星定位精度不断提高,差分模式卫星定位的应用也越来越广泛。利用卫星定位技术实现车辆定位的主要优点包括:①成本低;②可与数字地图结合,为车辆导航提供大量的路径选择和道路信息;③在无遮挡条件下卫星信号可全天候获得。

卫星定位系统包括绕地球运行的多颗卫星,各卫星持续发射一定频率的无线电信号,车载端或路侧端配备相应的接收机及天线接收卫星的特定信号,并选取多颗卫星

信号进行分析处理,即可确定接收机所处位置。卫星定位的基本原理如下:根据高速运动的卫星瞬间位置作为已知的起算数据,采用空间距离后方交会的方法,确定待测点的位置。如图 1.5 所示,假设 t 时刻在地面待测点上安置接收机,可以测定 GPS 信号到达接收机的时间 Δt ,测出每颗可视 GPS 卫星的导航信号从卫星到用户接收设备天线的传播时间,与电波传播速度相乘,即可计算出卫星到用户之间的距离。一般情况下, GPS 接收机接收到 1 颗卫星的信号,便能确定时间;若接收到 3 颗卫星信号,则能确定出准确的二维信息(经度、纬度);而接收到 4 颗 GPS 卫星信号,便可实现三维定位(经度、纬度和海拔)^[7]。随着连接到的卫星数目增加,解码得到的位置就越精确。

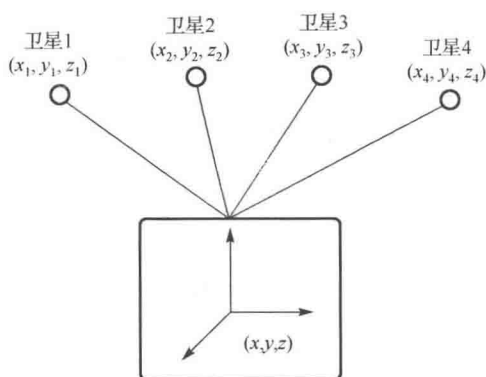


图 1.5 卫星定位原理示意

目前全世界比较完善的卫星定位系统包括:中国北斗导航卫星系统(compass navigation satellite system, CNSS)、美国全球定位系统(global positioning system, GPS)、俄罗斯“格洛纳斯”全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GLONASS)以及欧盟“伽利略”定位系统(Galileo positioning system)^[8]。日本和印度也正在建设自主的卫星定位系统,即准天顶卫星系统 QZSS(quasi-zenith)和 IRNSS 导航系统^[9]。

在过去很长一段时期里国际国内卫星导航市场基本被 GPS 和 GLONASS 占领,我国北斗导航卫星系统建设起步较晚,自 19 世纪 80 年代开始建设独立自主的卫星导航系统,于 2003 年建成北斗卫星导航验证系统,2012 年 2 月第十一颗北斗导航卫星被成功送入预定转移轨道,2012 年 3 月,我国研发出世界首款北斗/GPS 双模导航产品^[10]。随着定位技术的发展,为了更精确定位,卫星定位接收机可兼容接收来自不同卫星定位系统的信号。例如,图 1.6 所示的司南 M300T GNSS 接收机及天线可支持多星系统,不仅支持 GPS 和 GLONASS 的各种卫星信号,还预留了 Galileo 和北斗信号通道。