



车辆组合定位与导航系统 ——理论、方法及应用

王庆 张小国 著



科学出版社

车辆组合定位与导航系统

——理论、方法及应用

王 庆 张小国 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对城市环境下卫星定位信号受到遮挡而不能准确定位的实际问题,系统阐述了面向车辆定位的数字地图模型及其空间数据库生成的理论,建立了地图匹配、多传感器信息融合、参数校正的方法,分析了数字地图的构建模型、数据质量对车辆定位效果的影响规律,以香港消防处第三代车辆调派系统为典型应用案例,详细介绍了 GPS/DR/MM 车辆组合定位系统在香港特别行政区的实际应用情况。

本书适合从事车辆定位与导航、智能交通系统、地理信息系统研究开发的科研和工程技术人员以及高等学校相关专业的高年级本科生和研究生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

车辆组合定位与导航系统:理论、方法及应用/王庆,张小国著. —北京:科学出版社,2016.3

ISBN 978-7-03-047699-9

I. ①车… II. ①王… ②张… III. ①车辆-无线电定位②车辆-无线电导航 IV. ①U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 049505 号

责任编辑:惠 雪 曾佳佳/责任校对:张怡君
责任印制:张 倩/封面设计:许 瑞

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>

文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 3 月第一次印刷 印张:16 3/4

字数:333 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

从私家车上安装的 GPS 导航仪，到智能手机上的导航软件，如今导航与定位技术已深入到人们的日常生活。人们也感受到 GPS 定位给他们的日常出行带来的便利。似乎车辆的定位问题已经彻底解决，然而，基于 GPS 定位的导航系统在城市的高楼区、浓密的树荫下、地下隧道里往往不能准确甚至无法定位，即使可以定位，位置偏差也会很大，这是卫星定位本身所固有的短板，即使天上布满了中国的 BEIDOU、俄罗斯的 GLONASS、欧洲的 Galileo 等卫星，也无法弥补这一缺陷。在信息技术日新月异的今天，对车辆的定位已不仅仅限于“大概”在哪，而是朝着位置更准、时效更快的方向发展。

实际上，车辆定位与导航在学术界已经不再是一个很新的话题，对其中的理论问题和技术难题早已开始研究并逐步得到解决，作者在酝酿本书是否出版时曾犹豫再三，初稿一放就是十年，最近接触并了解到几个车载定位方面的工程项目，在重新整理这些资料时，觉得这些成果还是值得进一步梳理和完善的。可以说，本书是作者近十年来在车载组合定位方面所做的研究和应用工作的总结。

形成这些成果的直接动力是来自香港警务处 2000 年面向全球公开招标的 800 辆警车、消防车、救护车的定位工程项目。招标书上对车辆定位的要求是：在香港地区任意道路上，在没有 GPS 信号的情况下，行驶车辆上的定位单元所提供的坐标数值与车辆所在的实际位置的偏差不得超过 15m。在高楼林立的香港岛，尤其是铜锣湾、中环等商业集中区域，GPS 信号基本上被楼房以及街道两侧的广告牌所“屏蔽”，再加上大量的玻璃围墙，对无线信号产生反射，使 GPS 的多路径效应更为明显，GPS 的定位误差会更大。在这些不利的条件下，我们在国内率先将 GPS/DR/MM 车载组合定位技术于 2002 年成功应用于香港警务处的定位工程项目。在近两年的工程实施期间，我们对 GPS/DR/MM 车载组合定位的理论模型、组合算法、地图生成方法以及车载组合定位单元进行了系统的研究，本书的绝大部分内容正是这些研究成果的总结和提炼。

本书的成果还来源于 2001 年华夏银行南京分行开发 12 辆运钞车指挥监控系统、公安部交通管理科学研究所主持的“九五”重点攻关项目“缓解城市道路交通堵塞关键技术的研究与示范工程”之子课题“基于 DGPS/DR/MM 的车辆电子地图与导航系统”（该子课题由东南大学承担）、教育部科学技术重点项目“基于 GPS/DR/MM/SMS 的车辆导航技术研究”、福建省公路管理局“公路几何参数车载采集系统”、香港 ARCON 公司的“GPS/INS/SM 车载定位系统”等数个横向项

目，这些项目的实施进一步丰富和完善了组合定位的研究成果。

在这些研究成果的形成过程中，作者的博士生导师万德钧教授曾给予了方向性指导，博士生吴秋平、朱庄生、卢大伟、刘炳云以及硕士生王宁、黄海华、郑小元等对本书的研究成果做出了重要的贡献。特别是年轻教师王慧青博士自始至终参加了大量的现场测试和数据分析、整理工作。在书稿的整理过程中，寇海堂同志也做了大量的文字整理和编排工作。在此，一并感谢。

由于作者水平有限，书中不免存在疏漏甚至错误之处，恳请各位同仁批评指正。

著 者

2015年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 车辆导航和定位的发展简史	3
1.3 现代车辆导航定位技术现状和发展方向	8
1.3.1 现代车辆导航定位系统组成及功能	8
1.3.2 现代车辆导航定位系统面临的现实技术问题	10
1.3.3 现代车辆导航定位技术的发展方向	11
1.3.4 现代车辆导航定位系统的研究意义	13
参考文献	14
第 2 章 车辆导航及其相关技术的基本理论	16
2.1 GNSS 定位基本原理	16
2.2 航位推算的基本原理	19
2.3 GIS 简介	21
2.3.1 GIS 的定义及组成	21
2.3.2 GIS 的历史发展过程	23
2.3.3 GIS 的现状和发展方向	24
2.4 空间坐标及变换技术	26
2.4.1 坐标的定义	26
2.4.2 GPS 坐标系与 GIS 坐标系的变换关系	27
2.4.3 地球投影变换	28
2.4.4 大地直角坐标和大地坐标的变换	30
2.4.5 不同坐标系的相互转换	31
2.5 地图匹配原理	32
2.6 Kalman 滤波	35
2.6.1 最小方差估计	35
2.6.2 Kalman 滤波	35
2.6.3 Kalman 滤波方程	36
2.6.4 离散 Kalman 滤波的计算流程	37
2.7 当前车辆导航技术的比较	38

参考文献	40
第 3 章 面向车辆导航的 GIS 模型与系统	42
3.1 面向车辆导航的 GIS-VNGIS 简介	42
3.1.1 将 GIS 引入车载导航系统中的意义	42
3.1.2 VNGIS 的研究现状和发展方向	44
3.1.3 VNGIS 的数据需求	46
3.2 基于 OR 模型的 VNGIS 系统设计和构造	48
3.2.1 空间数据库管理技术的面向对象管理	48
3.2.2 VNGIS 中空间数据库模型	50
3.2.3 空间地物的对象关系映射	54
3.2.4 基于 OR 模型的 VNGIS 的系统框架	58
3.3 定位信息轻量级报文分类器	60
3.3.1 软件架构设计	61
3.3.2 单报文基本匹配器设计	62
3.3.3 多报文有限状态分类器设计	64
参考文献	66
第 4 章 面向车辆导航的空间数据库生成方法	70
4.1 面向车载导航的数字地图概述	70
4.1.1 数字地图与车辆导航系统	70
4.1.2 数字地图概念模型	70
4.1.3 数字地图的标准化	71
4.1.4 数字地图生成一般流程	72
4.1.5 数字地图生成中的核心技术问题	73
4.2 基于道路节点连接的道路网模型及其自动生成算法	73
4.2.1 基于节点连接网络模型	73
4.2.2 道路网络的数据库自动生成算法	75
4.2.3 预处理求交算法讨论	78
4.2.4 算法复杂度分析	79
4.3 基于道路外轮廓的路心线自动生成算法	79
4.3.1 路心线自动生成的意义	79
4.3.2 轮廓插值和路心线生成算法	80
4.3.3 道路网络跟踪算法	87
4.3.4 道路网络的路口形式分析	89
4.3.5 基于 DP 算法的路心线精简	90

4.3.6	算法的改进和存在的问题	92
4.3.7	结论	93
4.4	考虑了误差的轮廓自动搜索算法	93
4.4.1	概述	93
4.4.2	关键点及连接实体集的建立	94
4.4.3	获取轮廓的初始边界或初始搜索关键点	95
4.4.4	搜索和回溯	95
4.4.5	轮廓的最终获取	96
4.4.6	一些算法的改进和讨论	96
4.5	数字地图空间实体的几何和拓扑校正算法	97
4.5.1	空间数据误差及其分类	97
4.5.2	典型的数字地图误差	98
4.5.3	几何校正算法	99
4.5.4	拓扑校正算法	100
4.5.5	说明	103
4.6	逻辑分幅物理统一的面向大区域导航的 SLDM 组织初探	103
4.6.1	概述	103
4.6.2	SLDM 的逻辑模型	103
4.6.3	SLDM 的存储方法	105
4.6.4	SLDM 实验	107
4.7	车辆导航道路网络数据库自动生成应用实例及总结	108
	参考文献	110
第 5 章	地图匹配的基本理论与方法	112
5.1	研究现状	112
5.2	基于位置概率估计的地图匹配方法	113
5.2.1	概述	113
5.2.2	基于概率估计的地图匹配算法的统一数学模型	114
5.2.3	基于概率估计的地图匹配算法的几何描述	116
5.2.4	基于概率估计地图匹配的统一数学模型和流程	118
5.3	基于 Gauss 白噪声模型的位置概率估计地图匹配算法	119
5.3.1	基本模型	119
5.3.2	无限长直线道路的估计	120
5.3.3	有限长线性道路的估计	123
5.3.4	样条道路的地图匹配估计	124

5.3.5	面向道路网络的地图匹配算法	126
5.4	光栅数字地图的地图匹配算法探讨	130
5.5	N 维空间的改进地图匹配算法	132
5.5.1	基本定义与假设	132
5.5.2	改进一 —— 考虑了角度误差的概率位置估计算法	132
5.5.3	改进二 —— 对道路网络模型缺陷的算法改进	136
5.5.4	改进三 —— 基于先验知识数值化加权模型的改进概率估计	139
5.5.5	高维数字道路网络的匹配展望	142
5.6	基于 LSA 的定位信息有色噪声提取	143
5.6.1	概述	143
5.6.2	短时误差模型和定位数据的白噪声化	143
5.6.3	实用模型	147
5.6.4	模型可计算分析	148
5.7	基于 Kalman 滤波的有色噪声提取方法	150
5.7.1	车辆动态模型概述	150
5.7.2	地图匹配 Kalman 滤波器的状态方程建立	151
5.7.3	地图匹配观测方程	152
5.7.4	模型可计算性分析	153
5.7.5	实用模型	156
5.8	基于字符串模糊匹配的道路识别算法	157
5.8.1	基于模式匹配的地图匹配算法概述	157
5.8.2	道路网络和行驶轨迹的字符串化	161
5.8.3	可选道路对的选择和位置估计	163
5.8.4	改进一 —— 非均匀角度字符串化	164
5.8.5	改进二 —— 长度空间的匹配	165
5.8.6	角度空间混淆	165
5.8.7	基于位置相关的地图匹配算法	167
	参考文献	168
第 6 章 面向地图匹配算法的数字地图误差分析及对策		170
6.1	道路网络数据库对车辆导航性能影响	170
6.2	数字地图和导航系统性能分析	171
6.2.1	失配与误配	171
6.2.2	两种误差对地图匹配算法性能的影响	172
6.2.3	道路网络模型对地图匹配精度的影响	173

6.2.4	数字地图精度和算法敏感性	175
6.2.5	其他因素对地图匹配算法的影响	176
6.3	道路网络数据库制作的标准化和规范化问题	177
6.3.1	规范化的重要性	177
6.3.2	特殊案例	177
6.3.3	道路网络数据库制作标准化和规范化的意义	180
6.3.4	道路网络数据库制作标准化和规范化的目的	180
6.3.5	道路网络数据库制作标准化与规范化的原则	180
6.4	解决道路网络结构缺陷的方法	183
6.4.1	间接拓扑关系法	183
6.4.2	虚拟节点法	184
	参考文献	189
第 7 章	GPS/DR/MM 组合定位理论与方法	191
7.1	GPS/DR 组合定位	191
7.1.1	GPS 对 DR 的校正	192
7.1.2	DR 对 GPS 的校正	193
7.1.3	GPS/DR 信息切换	195
7.2	DR/MM 组合定位	197
7.2.1	航位推算中角度误差和里程误差对车辆位置精度的影响	197
7.2.2	基于 DR/MM 的改进的概率估计地图匹配算法	199
7.2.3	DR 累积误差实时修正算法	201
7.3	GPS/DR/MM 组合定位	208
7.3.1	实时辨识 GPS 多径误差	209
7.3.2	神经元实时辨识 GPS 多径误差	210
	参考文献	214
第 8 章	GPS/DR/MM 车载组合导航系统在香港的应用	215
8.1	城市车辆定位的特点	215
8.2	GPS/DR/MM 车载组合定位系统简介	217
8.2.1	主要功能	217
8.2.2	工作原理	217
8.2.3	系统设计	220
8.2.4	硬件设计	222
8.2.5	软件设计	223
8.3	参数标定与数字地图制作	224

8.3.1	DR 系统参数标定与校正	224
8.3.2	导航数据库制作	240
8.4	GPS/DR/MM 组合定位技术在香港的测试与应用	242
8.4.1	概述	242
8.4.2	小规模 GPS/DR/MM 定位实验	246
8.4.3	较大规模 GPS/DR/MM 定位实验	247
8.4.4	部署及日常应用	252
索引		254

第1章 绪 论

1.1 研究背景和意义

近年来,我国国民经济和社会得到了飞速的发展。在城市化进程中,机动车和驾驶人的数量迅猛增长^[1]。近五年机动车年均增量 1500 多万辆,驾驶人年均增量 2000 多万人;其中 2014 年新注册登记的汽车数量达 2188 万辆,保有量净增 1707 万辆,新注册量和年增量均达历史最高水平。截至 2014 年底,全国机动车保有量达 2.64 亿辆,其中汽车 1.54 亿辆。机动车驾驶人突破 3 亿人,其中汽车驾驶人超过 2.46 亿人。与此同时,汽车占机动车的比率迅速提高,近五年汽车占机动车比率从 43.88%提高到 58.62%,群众机动化出行方式经历了从摩托车到汽车的转变,交通出行结构发生了根本性变化。全国有 35 个城市的汽车保有量超过百万辆,北京、成都、深圳、天津、上海、苏州、重庆、广州、杭州、郑州 10 个城市汽车保有量超过 200 万辆。机动车和驾驶人迅猛增长还体现在私家车辆的快速增长上,截至 2014 年底,小型载客汽车达 1.17 亿辆,其中,以个人名义登记的小型载客汽车(私家车)达到 1.05 亿辆,占小型载客汽车的 90.16%。与 2013 年相比,私家车增加 1752 万辆,增长 19.89%。全国平均每百户家庭拥有 25 辆私家车,北京平均每百户家庭拥有 63 辆私家车,广州、成都等大城市每百户家庭拥有私家车超过 40 辆。

机动车辆的快速增长所造成的直接后果是道路拥挤以及交通设施的不堪重负,而因为拥挤导致的汽车尾气排放量增加直接加剧了城市环境恶化。目前,交通拥堵给出行者和社会所造成的经济、安全和环境等方面的重大损失已引起广泛关注,成为世界各国需要共同面对的难题。

(1) 在美国,美国得克萨斯州交通研究院(Texas Transportation Institute, TTI)和得克萨斯州农工大学 2012 年的研究表明:美国人 2011 年堵在路上的时间总计 55 亿小时,因此产生的时间和油耗成本达 1210 亿美元,因交通拥堵浪费燃油 29 亿加仑(109.8 亿升),足以灌满 4 个超大规模体育场^[2]。有报道认为,2013 年美国因交通拥堵问题损失了 1240 亿美元,其中包括时间和油耗成本,每年堵车的损失几乎够联邦政府修三年高速公路了,除非有新的方法来逆转交通拥堵状况加剧的趋势,到 2030 年美国全年因道路堵塞付出的成本将比目前的水平增长 50%,达到 1860 亿美元^[3]。

(2) 在法国,2014 年 10 月发表在法国《巴黎人报》的一项研究表明,交通拥堵对法国经济造成的损失每年达到约 170 亿欧元(约合人民币 1316.21 亿元),交通拥堵

对法国经济造成的损失将持续增加,到 2030 年将增加 30%,达到 220 亿欧元 [4]。

(3) 在巴西,巴西圣保罗市曾被《时代周刊》杂志评价为全球交通最糟糕的城市。近年来,圣保罗商用车销售数量飞涨,每天都有大约 1000 辆新车上路。高峰时间,整条堵车长龙可以排到 120 英里以外。2014 年巴西世界杯即将开幕,当地时间 5 月 23 日周五,这座拥有 1100 万人口的大都市出现了历史上最严重的交通拥堵,有关部门表示,当晚 19 时等候的车辆总长超过了 344 公里,这一举打破了 2009 年 309 公里堵车的纪录 [5]。

(4) 在墨西哥,首都墨西哥城被认为是世界堵车最为严重的城市之一,每天有 700 万 ~800 万辆机动车在路上行驶,每年新增机动车数量达到 25 万辆。在遭遇交通拥堵时走完一段 30 分钟的车程,每年下来要多耗费 110 个小时 [6]。

(5) 在我国,主要的 15 座城市因交通拥堵每天损失近 10 亿元人民币,平均每座城市每天因堵车造成的经济损失达 6600 万元人民币,全年经济损失达 240 亿元。首都北京被认为是“全世界最大的停车场”,一年的拥堵费用可占城市 GDP 的 10%左右,根据北京大学国家发展研究院 2014 年的研究结果,北京因交通拥堵每年约造成 700 亿元的损失 [7],其中超过 80%为拥堵时间损失,10%为多消耗的燃料成本,环境污染成本约为 10%。

与此同时,每年世界各地因交通事故造成的人员伤亡更是触目惊心。美国国家公路交通安全管理局公布的数据显示,2012 年公路死亡人数达到 33 561 人,与过去数年相比上升了 1082 人 [8]。在我国,2014 年的交通事故死亡人数为 34 292.34 人,比 2013 年的死亡 31 604.3 人增加了 2688.04 人,增长率为 8.5%;相比 2012 年的死亡 30 222.5 人,增加了 4069.84 人,增长率为 13.47%;相比 2011 年的死亡 29 618 人,增加了 4674.34 人,增长率为 15.78% [9]。据世界卫生组织统计,每年全球约有 120 万人死于交通事故,每年有 2000 万 ~5000 万人在交通事故中受伤,预计 2020 年死于道路交通事故的人数将达到 190 万人 [10]。目前,全世界被汽车夺去的生命约为 3000 万,约为第一次世界大战死亡人数的三倍,而受伤者则难计其数。

以上这些惊人的数字及其背后惨痛的损失,使得各国政府越来越重视交通系统,在交通系统建设中投入大量的人力和物力,各国政府和学者也越来越意识到交通需求与日俱增、交通系统日趋复杂,仅仅从车辆或道路单方面考虑,很难有效地解决交通拥堵和交通安全问题。近几年来,随着科技的进步,交通管理部门也越来越多地借助新技术来保障道路通畅、提高交通安全、减少交通拥挤、改善交通环境,这个领域就是智能交通系统 (ITS)。特别是到了 20 世纪 80 年代前后,日益拥挤的交通给人们带来了交通堵塞、运行效率低下、事故频发、环境污染、危害人类生命财产安全和巨大的经济损失等一系列困扰。为排除这些困扰,集通信、导航和信息技术于一体的交通运输系统应运而生。1994 年美国将 5 年前提出的智能车辆道路系统更名为智能交通系统 (intelligent transportation system, ITS)。与此同时,

德、英、法、日等国也相继提出了研究开发各种智能化交通管理系统。

智能交通系统是指将先进的信息技术、电子通信技术、自动控制技术、计算机技术以及网络技术等有效地综合运用于整个交通运输管理体系而建立起的一种在大范围内、全方位发挥作用的、实时、准确、高效的交通运输综合管理和控制系统^[11]。通常认为,智能交通系统包括7个方面的服务领域:①先进的交通管理系统;②先进的出行者信息系统;③先进的公共交通系统;④先进的车辆控制系统;⑤营运车辆调度管理系统;⑥电子收费系统;⑦应急管理系统。其中交通控制和线路诱导是现今城市交通的两大重要管理手段,即先进的交通管理系统 ATMS (advanced traffic management system) 和先进的出行者信息系统 ATIS(advanced traveller information system)。

先进的交通管理系统 ATMS 用于监测控制和管理公路交通,在道路、车辆和驾驶员之间提供通信联系。依靠先进的交通监测技术和计算机处理技术,获得有关交通状况的信息,并进行处理,及时地向道路使用者发出诱导信号,从而达到有效管理交通的目的。

先进的出行者信息系统 ATIS 采取先进的信息技术、数据通信技术、电子传感技术、控制技术及计算机技术将采集到的各种道路交通及服务信息经交通管理中心处理后传输到交通系统的各个用户(驾驶员、公共交通利用者、步行者),使得出行者实时选择出行方式和出行路线。

不论是 ITS, 还是 ATMS 和 ATIS, 都依赖于即时、准确的车辆位置信息,而这只能通过车辆定位与导航系统来实现。车辆定位与导航系统是 ITS 的核心内容,是设计、实现 ITS 的基础。

本书的主要内容就是讨论现代车辆组合定位与导航系统的理论、方法及其应用。

1.2 车辆导航和定位的发展简史

车辆导航定位系统 (vehicle navigation system, car navigation system) 是指安装或者放置在车辆特定位置帮助确定当前车辆位置,并且通过图、文、声、像等多种手段引导驾驶人员到目的地的电子设备系统。现代车辆定位和导航系统的出现是近 40 年来的事,但是在整个人类文明史上,车辆导航系统的研究和发展已经经历了相当长的历史。

我国公元前 2600 年发明的指南车(又称司南车)是目前为止有史料记载最早的古代车辆导航和定位系统^[12-14]。据载,后来东汉科学家张衡,三国时期的魏人马钧,南北朝的祖冲之、姚兴,唐朝的金公立,宋代徽宗年间的燕肃等人都曾经制造过类似的指南车^[14]。但由于年代久远,没有实物流传,并缺乏相关文字资料,指

南车的原理、结构和使用方法一直是难解之谜。到了现代，新中国成立后第一任中国社会科学院考古研究所所长王振锋教授历时 20 多年，于 1971 年根据史料的描述仿制了三国魏人马钧的指南车（现存于中国国家博物馆），如图 1-1 所示^[15]，其是一种双轮独辕车，利用一套能自动离合的齿轮系统的定向装置，使得车不论朝什么方向转动，站立在车上的一个木人的手臂能够始终指着一个固定的方向。后来，我国河南中学生李琛在 2001 年复原了一台结构比王振锋教授仿制的指南车更简单的“黄帝指南车”^[16]，如图 1-2 所示，该车两个车轮直径相等，两车轮轮距等于车轮半径，一车轮边缘上作以红色的标记，另一轮面上标出“东南西北”等字样，车厢上加一横杆，出发前选择一方向，如果选择东方，转动另一车轮，使刻有或贴有红色标记轮上的标记与另一轮的“东”字对齐，当需要确定车辆目前的方向时只需要观察一轮上红标记与另一轮上的哪一字对齐便知现在车的方向。这类指南车的基本原理类似于现代的差分里程计。

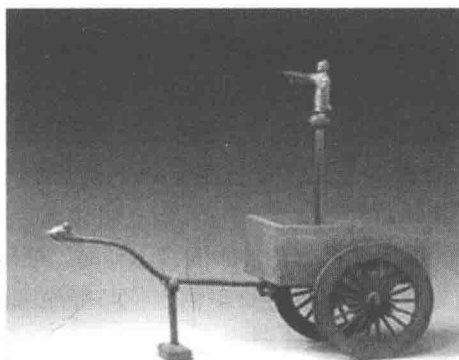


图 1-1 指南车

由王振锋教授复制，现存于中国国家博物馆^[15]

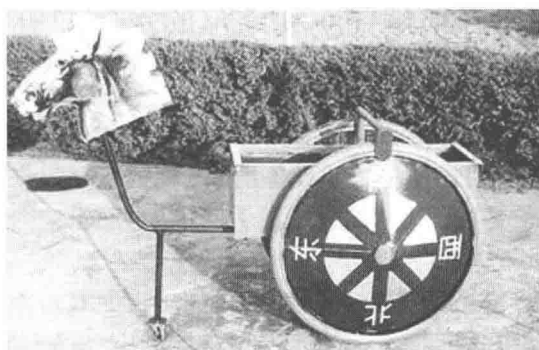


图 1-2 李琛复原的“黄帝指南车”^[16]

另外一个典型的古代车辆导航系统是计里鼓车^[12-14](图 1-3, 相传为三国魏人马钧发明, 一说为汉人张衡, 图为王振锋教授的复制品), 它是目前为止发现的最早的记录里程的仪器。计里鼓车是利用原动齿轮带动一套大小不同的从动齿轮驱动车上的两个木人的手臂, 每当车行驶 1 里的时候, 一个木人击鼓一下, 每当车行驶 10 里的时候另一个木人击锣一下, 从而把行车的里数自动地表示出来。

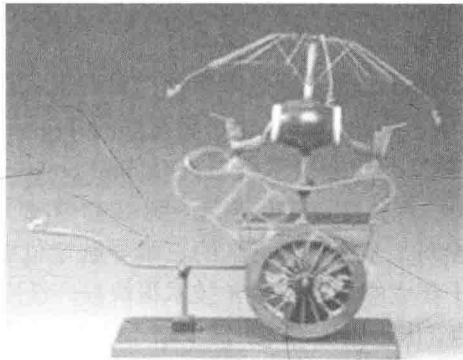


图 1-3 计里鼓车

由王振锋教授复制, 现存于中国国家博物馆^[17]

此后, 东汉年间又出现了磁罗盘, 和里程计、差分里程计一起构成了古代车辆导航系统的基本技术, 但限于当时的社会生产力, 这些技术只能实现简单的导航功能。如指南车和磁罗盘, 它只能给车辆指明一个方向, 不能确定车辆的位置; 计里鼓车也只能使人确定目前车辆离目的地还有多远, 还将需要多长时间能够到达目的地。当然, 这些传统的技术现在仍或多或少地应用在现代的车辆导航系统中。

在 19 世纪末, 出现了现代车辆导航技术的雏形。当时的汽车工业的蓬勃发展带动了车辆导航技术的兴起。1895 年, 在美国第一张供汽车驾驶用的交通图出版, 它是面向车辆导航的 GIS(地理信息系统) 雏形^[18]。20 世纪初, 公路上建立了路标并将道路编号。1910 年左右, 机械路径引导装置面世^[18]。这些装置以其多样化的形式与道路地图信息结合起来, 可以自动地提供精确、实时的路径指引。

随着公路标志的改进和地图精确度的提高, 人们对路径引导装置的需求和兴趣逐渐减弱了。在第二次世界大战期间, 美国为吉普车等军用车辆研制了一种电子车辆导航系统^[19]。该系统有一个磁罗盘, 磁罗盘的指针位置由一个光电元件检测。罗盘的输出驱动一个伺服机械装置去转动一个与车辆方向相对应的机械轴, 这个轴与一个机械计算机连在一起, 此计算机根据里程计来算出行驶路程并将其转换成 x 和 y 坐标。同样地, 在罗盘轴的驱动下, 这些坐标用于自动地在适当比例的地图上绘出车辆的轨迹。在 20 世纪 60 年代, 美国联邦公路局开始研发电子路径引导系统。该系统是利用设置各个交叉路口的无线电信标进行双向通信, 通过中央计

算机提供的实时交通数据信息来实时规划最佳路径并反馈到安装在车辆上的平面显示器上,指引车辆行进。20世纪70年代初,随着微电子工业的崛起,出现了第一代采用航位推算 (dead-reckoning, DR) 模块和地图匹配 (map-matching, MM) 算法的自主导航系统,如荷兰 Philips 公司的 CARIN、德国的 ALL-SCOUT、英国的 AUTOGUIDE 等导航系统^[20]。该类导航系统虽然具有自主性好、不受外界控制、抗干扰能力强等优点,但是由于容易产生误差累积,需要在使用过程中不断进行校准,其实用性受到限制。

于是,美国国防部 (DOD) 为了满足军事部门对海上、陆地以及空中设施进行高精度导航和定位的要求,于1973年提出了将海军的 Timation 卫星定位计划和空军的 621-B 计划合并,建立全球定位系统 GPS(global positioning system)^[21]。GPS 的开发研究经历 20 余年,耗资 300 多亿美元。到 1993 年 6 月,全球定位系统正式启用。由于 GPS 具有全球、全天候、持久的三维导航定位能力,并且其接收机结构轻便、价格低廉、便于集成的优点,GPS 技术很快被广泛应用到车辆的导航和定位中。鉴于 GPS 的优点,出于国防考虑,俄罗斯于 1995 年成功组建了全球导航卫星系统 GLONASS(global navigation satellite system),欧洲航天局也组建了全球导航卫星系统 Galileo 计划,我国出于国家安全战略需要于 21 世纪初正式宣布建设北斗卫星导航定位系统 (简称北斗, BEIDOU)^[21,22]。目前 GPS、GLONASS 已具备全球定位能力,我国的北斗也具备了亚太区的自主定位能力。在未来,全球的卫星导航市场就是 GPS/BEIDOU/GLONASS/Galileo 群雄争霸的局面。

卫星导航系统以其用户成本低、定位误差没有累积性、结构紧凑便于集成等特点被广泛应用于车辆导航中,但是,当车辆行驶在高楼密集的繁华街道或隧道峡谷地区时,GNSS 因信号受到阻挡或者多径干扰而失效。而且,车辆的速度与机动性能常会受到 GNSS 的约束。因此,卫星导航系统的应用在某种程度上还是受到限制,而且这种情况会随着我国城镇化进程的推进而加剧。

但 GNSS 和 DR 各自的利弊正好可以互补,因此将这两种导航装置集成为组合导航系统,就可以使行驶在繁华城市和山区的车辆获得较高的定位精度。近年来,低成本陀螺仪 (如光纤陀螺、压电陀螺和微机械陀螺等) 的问世,为车辆导航增加了可用的资源。两种装置给出的定位信息通过切换、卡尔曼滤波或信息融合后提供连续、精确的车辆位置。由此,在街道开阔的城市可以选用 GNSS 进行导航定位;在高楼密集的繁华城市,宜采用 GNSS/DR 组合系统。但低成本的 DR 系统由于精度低,在长时间没有 GNSS 信号的情况下误差较大,不能满足人们对车辆定位精度的要求;而高精度的 DR 系统成本比较高,故 GNSS/DR 组合导航系统的广泛应用也受到限制。

随着计算机技术的迅猛发展,地理信息系统 (GIS) 得到前所未有的发展,数字地图技术也逐渐成熟,人们开始考虑利用数字地图匹配 (MM) 技术来提高 GPS/DR