



高等院校交通运输类“十二五”规划教材

车辆定位与导航系统

GAODENGYUANXIAO JIAOTONGYUNSHULEI SHIERWU GUIHUA JIAOCAI

CHELIANGDINGWEIYUDAOHANGXITONG

● 主编 马庆禄 副主编 马丹 李泽慧 魏明 廖其龙



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

车辆定位与导航系统

主 编 马庆禄

副主编 马 丹 李泽慧 魏 明 廖其龙

参 编 邓天民 王登贵 高 超 王志建



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

车辆定位与导航系统/马庆禄主编. —长沙:中南大学出版社,
2014. 10

ISBN 978 - 7 - 5487 - 1200 - 8

I. 车... II. 马... III. ①车辆 - 无线电定位②车辆 - 无线电
导航 IV. U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 223593 号

车辆定位与导航系统

马庆禄 主编

责任编辑 刘 灿

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 长沙印通印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16 印张 19.25 字数 486 千字

版 次 2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 1200 - 8

定 价 44.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

高等院校交通运输类“十二五”规划教材

编审委员会

主任：田红旗

副主任：王 炜

委员(按姓氏笔画排序)：

丁柏群	马庆禄	王 燕	方晓平	巴兴强	邓红星
邓连波	叶峻青	史 峰	冯芬玲	朱晓立	刘 迪
杨 林	杨 岳	李明华	肖龙文	张云丽	陆百川
陈 坚	罗意平	郑国华	胡郁葱	姚加林	秦 进
夏伟怀	夏学苗	徐玉萍	高广军	黄细燕	黄 玲
曹瑾新	阎春利	温惠英	雷定猷	漆 昕	黎茂盛
潘迪夫	魏堂建				

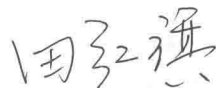
总 序

交通运输业是国民经济体系的重要组成部分，也是促进国民经济发展的重要基础产业和推动社会发展的先决条件。在最近的30年里，我国交通运输业整体上取得飞速发展，交通基础设施、现代化运输装备、客货运量总量和规模等都迅猛扩展，大量的新技术、新设备在铁路等交通运输方式中被投入应用。同时，通过大量的交通基础设施建设，特别是近年来我国高速铁路的不断投入使用，使我国的交通供需矛盾得到一定的缓解，我国交通运输网络的结构也得到了明显改善，颇具规模的现代化综合型交通运输网络已经初步形成。

我国交通运输业日新月异的发展，不仅对专业人才提出了迫切的需求，更使其教材建设成为专业建设的重点和难点之一。为解决当前国内高校交通运输类专业教材内容落后于专业与学科科技发展实际的难题，由中南大学出版社组织国内交通运输领域内的一批专家学者，协同编写了这套交通运输类“十二五”规划教材。参与规划和编写这套教材的人员都是长期从事交通运输专业的科研、教学和管理实践的一线专家学者，他们不仅拥有丰富的教学和科研经验，同时还对我国交通运输相关科学技术的发展和变革也有深入的了解和掌握。这套教材比较全面、系统地介绍了目前国内交通运输领域尤其是高速铁路的客货运输管理、运营技术、车站设计、载运工具、交通信息与控制、道路与铁道工程等方面的内容，在编写时也注意吸收了国内外业界最新的实践和理论成果，突出了实用性和操作性，适合高等院校交通运输类以及相关专业的培养目标和教学需求，是较为系统和完整的交通运输类系列教材。该套教材不仅可以作为普通高校交通运输专业课程的教材，同时还可以作为各类、各层次学历教育和短期培训的首选教材，也比较适合作为广大交通运输从业人员的学习参考用书。

由于我们的水平和经验所限，这套教材的编写也有不尽如人意的地方，敬请读者朋友不吝赐教。编者在一定时期之后会根据读者意见以及学科发展和教学等的实际需要，再对教材进行认真的修订，以期保持这套教材的时代性和实用性。

最后衷心感谢参加这套教材编写的全体同仁，正是由于他们的辛勤劳动，编写工作才得以顺利完成。我们还应该真诚感谢中南大学出版社的领导和同志们，正是由于他们的大力支持和认真督促，这套教材才能够如期与读者见面。



中南大学副校长、教授

前 言

伴随着各项科学和应用技术的不断发展和进步,城市交通已经逐渐进入了信息化、人性化的智能交通系统(intelligent traffic system, ITS)时代,该系统将先进的信息技术、数据通信传输技术、电子控制技术、传感器技术以及计算机处理技术等各种技术有效地综合运用于交通系统中,从而实现对交通系统更加准确、实时、高效地综合管理和控制,最大限度地实现人、车、路之间的和谐统一。而 ITS 中的交通管理系统、动态路线制导系统、自动收费系统、自动避撞系统以及公共运输中的车辆调度和管理系统等都不同程度地依赖于车辆的位置信息。如果车辆定位与导航系统不能提供 ITS 所要求的位置精度和可靠性,将使 ITS 的大部分系统功能无法实现。因此车辆定位与导航技术在 ITS 中的应用是非常重要的,已经成为许多行业(如公交、消防、紧急救护、交通事故处理等)发展的一种必然的需求。

本书共分两篇,其中第一篇第 1 章车辆定位导航技术概述主要介绍车辆定位导航技术的发展及其在 ITS 中的地位与作用。第 2 章到第 9 章介绍了各个子系统的关键基础知识,其中:第 2 章数字地图的相关内容 by 魏明博士编写;第 3 章主要围绕经典无线定位的经典算法展开,第 4 章系统介绍了常用地图匹配算法以及路径规划的基本方法,第 5 章主要介绍了路径引导的相关知识,这三章是根据各参编人员的相关资料汇总而成;第 6 章卫星定位与导航技术主要介绍了卫星定位系统的基本原理及在车辆定位与管理中的应用,由马丹博士编写;第 7 章介绍移动无线定位与导航技术,是在第 3 章的基础上对无线定位技术在关键应用领域的一次拓展;第 8 章组合导航系统主要介绍如何组合使用其他定位信息源完善定位信息,由李泽慧博士编写;第 9 章智能车辆导航系统,主要介绍定位与导航在智能车辆中的应用,主要由马丹博士编写。第二篇从第 10 章到第 11 章,主要根据编写者们的相关材料进行案例分析,分析了车辆定位与导航在浮动车技术中的应用情况和探讨了定位与导航在车辆管理系统中的使用方案。全书汇集了编写组成员的科研实践成果,特别是第 10 章是马庆禄博士在孙棣华教授指导下形成的研究成果,在此对编写组成员以及孙老师的支持和帮助一并表示感谢。

本书作为交通运输类“十二五”规划教材,主要作为智能交通系统研究领域及相关学科的高等院校本科生和研究生的教材,也可供研究生参考学习,亦适合希望熟悉或从事车辆定位与导航系统的工程师、管理者及专业人员参考。

由于车辆定位和导航知识面广、技术发展快,要详细覆盖整个领域是困难的,因此本书重点介绍系统的车辆端,尽可能介绍最新进展和最重要的方面。由于编者水平有限以及时间匆促,书中错误和不详之处,敬请读者批评指正,同时留下 E-mail: MQL360@163.com,以接收各种建议,不胜感谢。

编 者

2014 年 8 月

目 录

第一篇 理论与技术基础

第1章 概 述	(3)
1.1 车辆定位与导航的技术背景	(3)
1.2 定位与导航的由来及发展	(4)
1.3 车辆定位与导航系统	(6)
第2章 数字地图	(8)
2.1 数字地图概论	(8)
2.1.1 电子地图在 ITS 中的作用	(8)
2.1.2 数字地图的发展现状	(9)
2.1.3 交通数字地图的特征及应用前景	(10)
2.2 数字交通地图预处理技术	(10)
2.2.1 MapInfo 简介	(10)
2.2.2 MapInfo 在交通数字地图上的建模、处理和管理	(14)
2.2.3 地图预处理关键技术	(19)
2.3 空间数据库设计	(23)
2.3.1 系统空间数据库组织	(23)
2.3.2 系统空间数据库的设计	(24)
2.3.3 系统属性数据库的设计	(24)
2.4 GIS 应用开发	(25)
2.4.1 GIS 的概念	(25)
2.4.2 组件式 GIS	(26)
2.5 MapX 组件技术	(26)
2.5.1 MapX 的空间数据结构	(27)
2.5.2 MapX 组件的模型结构	(27)
2.6 在线地图 API 应用开发	(28)
2.6.1 百度 MAP 应用开发示例	(28)
2.6.2 谷歌 MAP 应用开发示例	(31)
2.6.3 其他在线地图的开发示例	(34)

第3章 无线定位	(37)
3.1 无线定位技术	(37)
3.2 计算节点位置的基本方法	(38)
3.2.1 三边测量法	(38)
3.2.2 三角测量法	(39)
3.2.3 极大似然估计法	(39)
3.3 基于距离的定位	(40)
3.3.1 基于 TOA 的定位	(40)
3.3.2 基于 TDOA 的定位	(40)
3.3.3 基于 AOA 的定位	(40)
3.3.4 基于 RSSI 的定位	(41)
3.4 与距离无关的定位算法	(41)
3.4.1 质心算法	(42)
3.4.2 DV - Hop 算法	(42)
3.4.3 Amorphous 定位算法	(44)
3.4.4 APIT 算法	(44)
3.5 定位性能评价指标	(44)
第4章 地图匹配	(46)
4.1 定位与地图匹配	(46)
4.2 地图匹配原理	(47)
4.3 典型地图匹配算法分析	(48)
4.3.1 点到点的匹配	(48)
4.3.2 点到线段的匹配	(49)
4.3.3 线到线的匹配	(49)
4.3.4 误差区域的确定	(50)
4.3.5 确定最佳路径	(51)
4.3.6 概率统计算法确定最佳路径步骤及流程	(53)
4.3.7 其他匹配方法	(54)
4.4 基于地图预处理的地图匹配算法	(56)
第5章 路径引导	(60)
5.1 路径引导的发展	(60)
5.2 图的基本概念	(61)
5.2.1 图的道路与连通性	(65)
5.2.2 图的矩阵表示	(68)
5.2.3 树与生成树	(70)
5.3 路径规划	(75)

5.3.1	最短路径算法	(75)
5.3.2	Dijkstra 算法	(84)
5.3.3	最优路径	(86)
5.4	航位推算(DR)定位技术	(87)
5.4.1	航位推算系统的组成	(87)
5.4.2	经典推算算法	(88)
5.4.3	航位推算的系统误差分析	(89)
第6章	卫星定位与导航技术	(91)
6.1	全球导航卫星系统	(91)
6.1.1	GPS 卫星全球定位系统	(92)
6.1.2	GLONASS 全球导航卫星系统	(94)
6.1.3	GALILEO 卫星导航定位系统	(97)
6.1.4	BDS 卫星导航定位系统	(101)
6.2	GPS 导航定位原理概述	(105)
6.2.1	GPS 卫星导航定位原理	(105)
6.2.2	GPS 卫星测速原理	(106)
6.2.3	GPS 卫星测时原理	(107)
6.2.4	车辆 GPS 定位	(107)
6.3	时间以及坐标系统	(108)
6.3.1	天球坐标系	(108)
6.3.2	地球坐标系	(111)
6.3.3	WGS84 坐标系	(116)
6.3.4	时间系统	(117)
6.4	卫星定位解算及误差分析	(120)
6.4.1	卫星定位解算	(120)
6.4.2	卫星定位误差分析	(122)
第7章	移动通信定位与导航技术	(125)
7.1	CDMA 无线定位	(125)
7.2	现代移动定位技术	(127)
7.2.1	GPS 与 A-GPS 定位	(128)
7.2.2	基站定位(Cell ID 定位)	(128)
7.2.3	Wifi 定位	(128)
7.2.4	FRID、二维码定位	(129)
7.2.5	红外线定位技术	(129)
7.2.6	超声波定位技术	(129)
7.2.7	蓝牙技术	(129)
7.2.8	超宽带技术	(130)

7.2.9	ZigBee 技术	(130)
7.3	车辆定位系统的多址接入方式	(130)
7.4	基于 GSM/GPRS 的车辆定位与导航	(134)
7.4.1	基于 GSM 的车辆定位与导航	(134)
7.4.2	基于 GPRS 的车辆定位与导航	(136)
第 8 章	组合导航系统	(140)
8.1	卡尔曼滤波技术	(140)
8.1.1	线性卡尔曼滤波器	(141)
8.1.2	自适应扩展卡尔曼滤波器	(143)
8.2	GPS/DR 组合定位	(145)
8.2.1	线性卡尔曼滤波的 GPS/DR 组合定位	(146)
8.2.2	自适应扩展的卡尔曼滤波 GPS/DR 组合定位	(148)
8.3	GPS/MM 组合定位	(151)
8.3.1	地图匹配的定位原理	(152)
8.3.2	常见的匹配道路选择方法	(152)
8.3.3	误差区域确定和候选路段的选择	(153)
8.3.4	利用道路空间网络拓扑性质辅助修正	(153)
8.4	GPS/DR/MM 组合定位	(154)
8.5	TOA/MM 组合定位	(156)
第 9 章	智能车辆导航系统	(158)
9.1	智能车辆导航系统的历史发展	(158)
9.2	自主式车辆定位和导航	(159)
9.2.1	车辆定位	(159)
9.2.2	车辆导航	(164)
9.3	中心式定位和导航	(167)
9.4	车辆定位与导航系统服务功能及实现	(178)

第二篇 综合案例分析

第 10 章	基于浮动车数据的城市交通状态判别与发布系统	(183)
10.1	案例背景	(183)
10.1.1	案例的意义和作用	(184)
10.1.2	系统设计的目标	(184)
10.2	相关技术	(185)
10.2.1	数据库技术	(185)

10.2.2	数据融合技术	(185)
10.2.3	数据挖掘技术	(188)
10.2.4	模糊综合评判方法	(190)
10.3	需求分析	(193)
10.3.1	基于浮动车的道路交通状态检测分析系统的实施背景	(193)
10.3.2	基于浮动车的道路交通状态检测分析系统的前提条件	(193)
10.3.3	基于浮动车的道路交通状态检测分析系统的功能需求	(194)
10.4	系统设计	(194)
10.4.1	系统设计原则	(194)
10.4.2	系统总体设计	(195)
10.4.3	系统的体系结构	(199)
10.4.4	道路的分段与线性化	(203)
10.4.5	分段线性化后的实验区域	(203)
10.4.6	系统的接口设计	(205)
10.5	关键技术研究及系统功能模块	(207)
10.5.1	数据采集及预处理模块	(207)
10.5.2	基于GPS、GIS的地图匹配模块	(213)
10.5.3	路段平均速度实时估计模块	(223)
10.5.4	事件检测模块	(242)
10.5.5	道路服务水平的实时估计模块	(247)
10.5.6	显示模块	(257)
10.6	系统实现及测试结果	(259)
10.6.1	系统模拟环境的实现	(259)
10.6.2	道路分段实现	(259)
10.6.3	车辆地图匹配的实现	(260)
10.6.4	道路平均速度估计结果	(262)
10.6.5	事件检测结果	(273)
10.6.6	道路服务水平评价结果	(273)
10.6.7	数据库接口的实现	(274)
10.6.8	总结与展望	(274)
10.7	系统配置	(276)
10.7.1	硬件环境配置	(276)
10.7.2	软件环境配置	(277)
10.8	软件系统版本控制状况	(277)
第11章	GPS/GPRS车辆智能管理系统	(279)
11.1	案例背景	(279)
11.2	系统架构及组成	(279)
11.2.1	系统架构	(279)

11.2.2	系统总体示意图	(279)
11.2.3	分监控中心拓扑图	(279)
11.2.4	分监控中心平面图	(281)
11.2.5	子系统说明	(281)
11.3	系统功能	(283)
11.3.1	实时连续定位	(283)
11.3.2	车辆调度指挥	(284)
11.3.3	安全防范	(284)
11.3.4	图像采集功能	(285)
11.3.5	数据语音通信	(285)
11.3.6	数据存储及回放	(285)
11.3.7	车辆监视控制	(285)
11.3.8	自导航接口	(285)
11.3.9	电子地图功能	(286)
11.4	系统网络中心建设	(286)
11.4.1	系统容量	(286)
11.4.2	网络中心主要技术指标	(286)
11.4.3	扩容能力	(286)
11.5	系统配置	(287)
11.5.1	分监控中心硬件配置表	(287)
11.5.2	软件配置表	(288)
附录	(290)
参考文献	(293)

第一篇 理论与技术基础

第 1 章

概 述

1.1 车辆定位与导航的技术背景

20 世纪 90 年代以后,随着全球经济的高速发展,世界各国城市(尤其是大城市)的人口和车辆持续增长,由于交通拥挤而造成的损失随之逐年增加。因而各国竞相投资修建交通设施,试图解决这一问题。但是车辆的增长速度远远高于道路和其他交通设施的增长速度,由此带来的问题使道路交通系统的复杂性和拥挤度与日俱增。近年来,人们已经逐渐认识到单纯依靠增加道路基础设施建设不可能从根本上解决车辆的快速增长与交通设施滞后之间的突出矛盾。只有在计算机、信息和通信等高科技手段的辅助下充分利用现有的道路基础设施,才是合理可行的方法,由此出现了建设智能交通系统(intelligent transportation system, ITS)的热潮。事实上,建立现代化的交通系统,已经成为国家现代化的主要标志之一。与此相关的一系列方法与技术也成为当今计算机科学、地理信息科学等相关学科中的研究重点和热点。

ITS 是一个复杂的巨大系统,它包含众多的子系统,其中车载导航系统是最为重要的子系统之一,具有极大的市场前景和发展潜力。车载导航系统的研制开发可以划分为相互关联的技术模块,其中路径规划是其他功能模块运行的基础,包含了车载导航系统中的很多关键技术。由于车载导航系统对道路网络建模、实时路径计算等方面有着特别的要求,在技术上还存在着许多没有完全解决的问题。本书重点介绍车载导航系统的路径规划问题。智能交通系统的目标是应用先进的技术使交通在减少拥挤、污染和对环境影响的同时更安全有效地运行。在交通、计算机、信息、通信和系统科学与工程领域中,智能交通系统的理论和实践是人们目前集中、深入研究的领域,有着非常光明的发展前景。它的成功定会对我们将来的生活起到不可估量的重要作用。进一步来说,如果智能交通系统按人们所预计的那样发展,它最终将可能影响世界上的每一个人。为了达到这一目标,智能交通系统可以采用多种不同的形式。本书讨论的重点将集中在智能交通系统中的一个重要组成部分:公路车辆定位和导航系统。然而,本书所介绍的原理、概念和算法可广泛应用于许多其他领域的定位和导航系统,并能为读者理解、设计和使用先进的智能交通系统打下坚实的基础。

近年来,随着车辆数量的快速增长和道路网范围的扩大,公路交通系统的拥挤度和复杂性与日俱增,随之而来的是交通代价与浪费不断提高,个人用户出行很不便。研究发现,仅美国的主要城市每年因交通拥挤浪费的燃料达 143.5 亿 L,造成的经济损失已超过 475 亿美元,浪费的工作小时为 27 亿 h。20 世纪 90 年代以来,这些数字以每年 5%~10% 的速度递增。为了改善交通状况,越来越多的新科学技术被用来保障交通舒畅和道路安全。由于计算

机、信息和通信技术越来越广泛地应用于交通系统，全行业已兴起了一个新的研究领域——智能交通系统。在过去 20 多年中，车辆导航系统得到了迅猛发展，目前其应用已经相当广泛，而且随着时间的推移和技术的发展，其普及趋势必将更加广泛而迅速。当前复杂的交通环境使得用户更加依赖车辆导航系统。车辆导航系统在疏导交通、减少到达目的地时间、提高车辆运行过程安全性方面做出了很大贡献。

荷兰著名的研究机构 TNO 最近公布了一项研究成果，证明了车辆导航系统对于交通安全的重要作用。其主要研究结论如下：①当在未知区域要行驶到已知目的地时，卫星导航系统的使用能够帮助车辆驾驶者顺利快捷地到达目的地，减少 18% 的行驶时间和 16% 的行驶距离，减小 12% 的车辆损坏可能性。②卫星导航系统能够提高驾驶员的警惕性，缓解驾驶员的压力。此外，该项研究还表明，卫星导航系统能够使驾驶员集中注意力在车辆驾驶上，而不是找路，从而减少车辆行驶过程中驾驶员不恰当驾驶操作的 50%。78% 的卫星导航系统用户能够更好地掌控行驶过程中的各种状况。同时，卫星导航系统能够减少驾驶员工作量的 20%。

1.2 定位与导航的由来及发展

尽管车辆定位和导航系统在最近几年才开始出现在世界市场，但是在人类文明史上，它的研究和发展已有相当长的历史。根据史料记载，最早的车辆导航系统可以追溯至公元前 4000 年前中国的指南车。指南车又名司南车，是古代帝王出行时的先驱车，车上站着一个木人，伸展手臂指向南方，不管车子怎样转动，其手臂总是指向南方，这种利用齿轮传动系统和离合装置来指示方向的基本原理类似于现代的差分里程计。从三国时期(220—280 年)开始，历代史书差不多都有文字记载它的发明。到了宋代(960—1279 年)，由于活字印刷的发明，才有了对指南车的详细记载，《宋史·舆服志》详细地记载了燕肃和吴德仁所造指南车的结构和技术规范，成为世界历史上最宝贵的工程学文献。

近代，对指南车的研究，受到了国内外学术界的广泛重视，提出了指南车内部结构的各种猜想，其中有英国学者郎基斯特(G. Lanchester)提出的差动轮系机构。大英博物馆中的指南车就是按他的猜想复原制作的。李约瑟博士在对指南车的差动齿轮作详细研究后指出：无论如何，指南车是人类历史上第一架有共协稳定的机械(homeostatic machine)；当把驾车人与车辆看成一整体时，它就是第一部摹控机械。1924 年，英国学者穆尔(Moule)发表了研究指南车的论文，并根据《宋史》文献记载给出了具体的复原方案，接着又有很多国内外学者对此进行

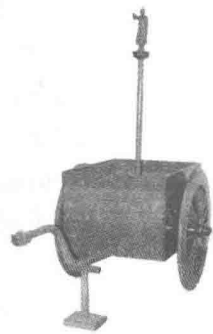


图 1-1 王振铎复制的燕肃指南车模

了研究。1937 年，王振铎根据燕肃的指南车技术，改良穆尔的设计，复原完成了指南车模型(如图 1-1 所示)，体现了中国古代在机械齿轮传动及离合器应用上的巨大成就(如图 1-2 所示)。1971 年，王振铎根据史书记载，成功复制了马钧的“黄帝指南车”。

另一个几乎与指南车同时发明的是计里鼓车。像指南车一样，它有一套齿轮。齿轮随着车的运动而转动，以带动车上的两个木人的手臂。这两个木人，一个面对着鼓，另一个面对着锣。每当车行驶 1 里的时候，一个木人击鼓一下；而每当车行驶 10 里的时候，另一个木人

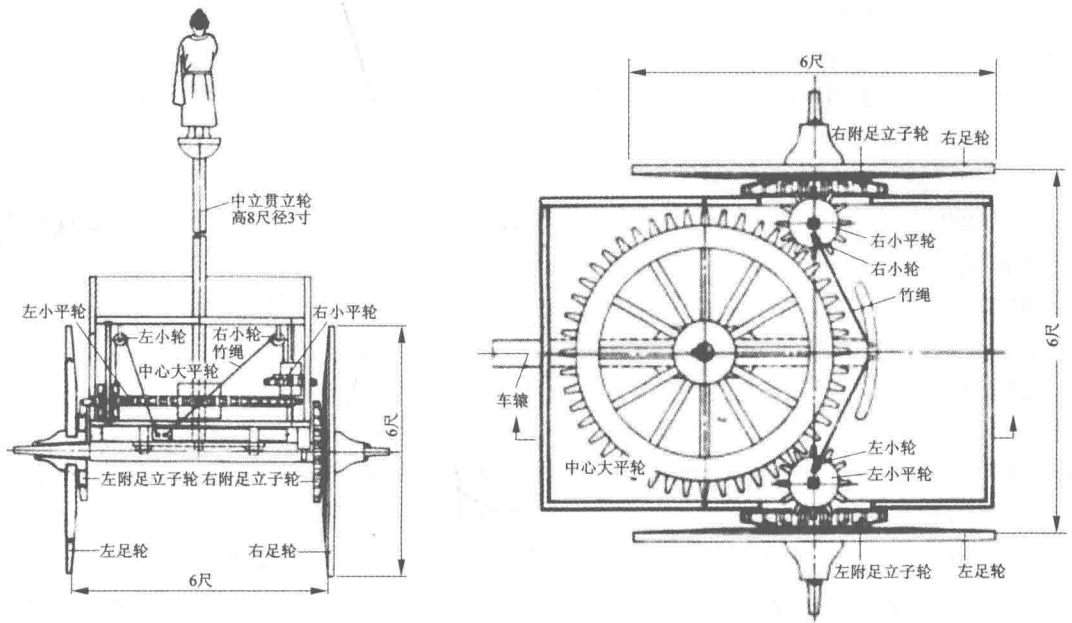
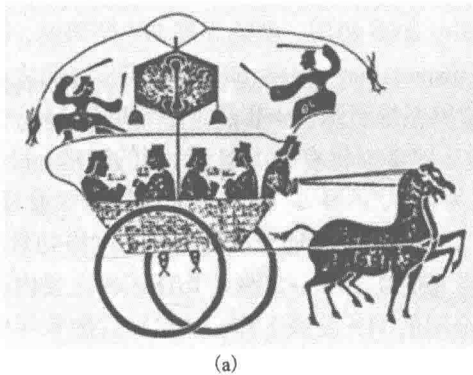
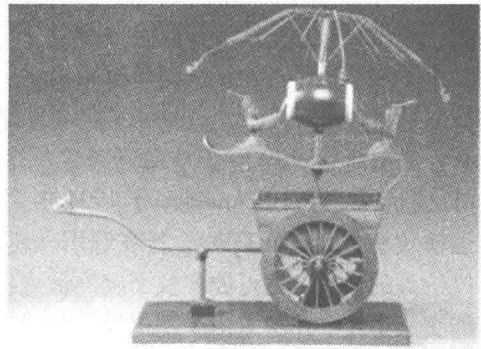


图 1-2 燕肃指南车齿轮机械结构复原图

击锣一下。计里鼓车的基本原理与现代的里程计类似。根据史书记载的描述，王振铎教授也复制了如图 1-3 所示的计里鼓车。



(a)



(b)

图 1-3 计里鼓车

(a) 汉代孝堂山画像石中的“鼓车图”；(b) 计里鼓车复原模型(来源于中国国家博物馆)

据史料记载，诸如里程计、差分里程计和磁罗盘这些基本的定位和导航技术是 2000 多年前发明的。20 世纪开始，这些技术和其他相应的技术已经逐渐地应用到现代车辆上。

在日本，智能交通系统始于 1971 年的汽车综合控制系统(CACS, comprehensive automobile control system)。CACS 计划与美国的 ERGS 计划在基本思想上极为相近。20 世纪 80 年代，日本的汽车市场推出了一种自主导航系统。这一系统采用了彩色显示器及由 CD-ROM 来存储数字地图的新技术。从那以后，许多各式各样的、越来越先进的导航系统相继出现在市场

试读结束：需要全本请在线购买：www.ertongbook.com