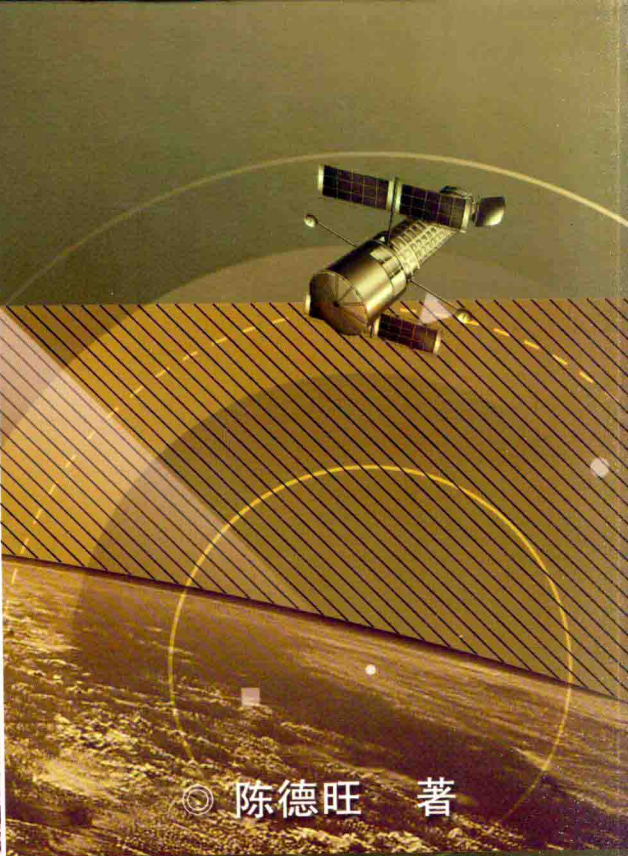




© 陈德旺 著

铁路卫星定位数据的 智能处理

——以青藏铁路为例

*Intelligent Processing for Satellite Positioning Data of
Railway: Case Study in Qinghai-Tibet Railway*



北京交通大学出版社
<http://www.bjtup.com.cn>

铁路卫星定位数据的智能处理

——以青藏铁路为例

Intelligent Processing for Satellite Positioning Data of Railway:

Case Study in Qinghai-Tibet Railway

陈德旺 著

北京交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书以青藏铁路为例,对铁路卫星定位数据的智能处理模型与算法进行了深入研究,主要包括:卫星定位在铁路中的应用、青藏铁路、青藏铁路列控系统 ITCS、基于 GPS 定位系统的关键科学问题、GPS 错误数据检测、GPS 数据约简、多 GPS 轨迹信息融合,以及基于图论和面向对象的列控数字轨道地图。

本书的突出特点有:从国家重大工程中提炼科学问题,利用青藏铁路大量实测 GPS 数据开展研究;内容通俗易懂,突出实践性,将理论与工程实践紧密结合;并在 GPS 错误数据检测、GPS 数据约简和多 GPS 轨迹信息融合的建模与算法研究中有较大的创新,为从实测 GPS 数据中生成铁路数字轨道地图提供了理论支撑。

本书可作为对列车运行控制、列车定位系统、青藏铁路、卫星定位、数据智能处理等领域感兴趣的广大科研人员和工程技术人员的参考用书。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

铁路卫星定位数据的智能处理:以青藏铁路为例/陈德旺著. —北京:北京交通大学出版社,2014.7

ISBN 978-7-5121-1964-2

I. ①铁… II. ①陈… III. ①青藏高原-铁路工程-卫星定位-数据处理 IV. ①U28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 141175 号

策划编辑:吴嫦娥

责任编辑:刘 辉

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编:100044

印 刷 者:北京艺堂印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:7.5 字数:187 千字

版 次:2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-1964-2/U·168

印 数:1~1 000 册

定价:38.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043,51686008;传真:010-62225406;E-mail:press@bjtu.edu.cn。

前 言

近十年是中国铁路的快速发展期,到2013年底,全国铁路营业里程已经突破了100 000 km,高速铁路里程突破了10 000 km。先进的列车运行控制系统对于提高铁路系统的运行安全和效率,具有重要的意义。测速和定位是列车运行控制系统的两大核心技术。传统的列车定位方式包括轨道电路、应答器和速度传感器等,存在成本高、累积误差大和不能提供绝对位置坐标等不足。未来列车定位的发展趋势之一是采用基于卫星定位为主的低成本定位系统。世界海拔最高的青藏铁路就以GPS卫星定位为主,极大地降低了建设和维护成本。另外,基于北斗卫星的列车定位系统正在研究和探索中。

2005—2006年,我很荣幸地参与了青藏铁路GPS数据处理与验证项目(W06X0010),在实验室对青藏铁路大量的GPS数据进行处理,并多次到青藏线现场进行试验验证。该项目获得了2007年度铁道部科技进步二等奖。在青藏铁路开通之后,我才有时间对过去的实际项目工作进行系统整理和理论分析,提炼了一些科学问题,并获得了2008年度国家自然科学基金面上项目的资助(项目资助号60776833)。从2008年到现在,我和我的研究生持续开展了为期5年的研究。我们共在国内外期刊和学术会议上发表相关论文约20篇,其中,比较著名的SCI期刊有 *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*、*Expert system with applications*、*Mathematical Problem in Engineering*; EI期刊有《铁道学报》和《中国铁道科学》等。

我们利用了青藏铁路大量实测的GPS数据开展研究,为了国家安全和保密的需求,我们对数据的坐标系进行了变化和平移,但不影响模型和算法的研究。我们采用专家系统、最优化和机器学习等理论和方法,系统研究了GPS错误数据检测、GPS数据约简和多GPS轨迹信息融合三大科学问题,为从实测GPS数据中生成铁路数字轨道地图提供了理论支撑。本书共九章,分别为:卫星定位在铁路中的作用、青藏铁路、青藏铁路列控系统ITCS、基于GPS定位系统的关键科学问题、GPS错误数据检测、GPS数据约简、多GPS轨迹信息融合、基于图论和面向对象的列控数字轨道地图、总结与展望。

我要特别感谢中科院计算数学所的中科院院士袁亚湘老师对我的指导,我两次访问袁老师,都受益良多。尤其在数据约简算法的最优性证明方面,是在袁老师的指导下我才完成的。本书的完成还要感谢北京交通大学铁路GPS实验室主任蔡伯根教授对我长期

的关怀、指导和帮助。也非常感谢轨道交通控制与安全国家重点实验室专项出版基金对此书的资助。还要感谢我的研究生们，没有他们辛勤的工作，是不可能完成这些研究内容和这本专著的，他们是：杨诗颖、贾晓哲、高倩、曾翔宇、阴佳腾、王丽娟、贾桂文、韩晓捷、程宝和曾强。

本书在写作过程中参考了国内外优秀学者的研究成果，由于写作时间较紧，如有遗漏之处恳请谅解。另外由于我的研究水平有限，文中出现的错误在所难免，欢迎广大读者指出。

我们将继续完善我们的研究，争取在下一个5年，基于北斗卫星系统，推出本书的2.0版本，为我国列车的智能自主定位，略尽微薄之力。

陈德旺

于轨道交通控制与安全国家重点实验室
2014年1月

目 录

第 1 章 卫星定位在铁路中的应用	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 卫星定位	(2)
1.2.1 全球定位系统(Global Positioning System)	(2)
1.2.2 格洛纳斯定位系统(GLONASS)	(3)
1.2.3 北斗卫星导航系统(BDS)	(4)
1.2.4 伽利略全球定位系统(Galileo)	(6)
1.3 国外应用	(7)
1.4 国内应用	(9)
1.5 小结	(11)
参考文献	(13)
第 2 章 青藏铁路	(15)
2.1 概述	(15)
2.2 多年冻土	(16)
2.3 环境恶劣	(18)
2.4 高原生态环境保护	(20)
2.5 青藏铁路的发展	(23)
参考文献	(25)
第 3 章 青藏铁路列控系统 ITCS	(27)
3.1 定位方式	(27)
3.2 通信方式	(28)
3.2.1 GSM-R 的特点	(28)
3.2.2 GSM-R 的功能	(29)
3.3 增强型列车控制系统 ITCS	(29)
3.3.1 ITCS 功能	(30)
3.3.2 ITCS 的系统设备组成	(31)

3.3.3 ITCS 工作原理	(32)
3.3.4 系统可靠性分析	(33)
3.4 车载数据库	(34)
3.5 故障状态下的应急策略	(35)
3.5.1 车载设备的失效模式	(35)
3.5.2 轨旁设备的失效模式	(36)
3.6 小结	(37)
参考文献	(37)
第 4 章 基于 GPS 定位系统的关键科学问题	(39)
4.1 概述	(39)
4.2 现有定位方式优缺点分析	(41)
4.2.1 查询应答器定位	(42)
4.2.2 多传感器信息融合的测速定位	(43)
4.2.3 卫星导航定位	(44)
4.3 GPS 定位要求	(46)
4.3.1 精确性要求	(46)
4.3.2 实时性要求	(47)
4.3.3 经济性要求	(48)
4.3.4 抗干扰性要求	(48)
4.4 关键科学问题	(48)
4.4.1 错误数据检测	(49)
4.4.2 GPS 数据约简	(50)
4.4.3 多 GPS 轨迹信息融合	(50)
4.5 小结	(50)
参考文献	(52)
第 5 章 GPS 错误数据检测	(53)
5.1 概述	(53)
5.2 四种错误模式及错误检测算法	(56)
5.2.1 基于专家知识的四种错误模式	(56)
5.2.2 四种错误检测算法	(57)
5.3 集成错误检测方法和性能指标	(58)
5.3.1 集成错误检测算法	(58)
5.3.2 性能指标	(59)
5.4 计算结果与分析	(59)
5.4.1 设置阈值	(59)
5.4.2 计算结果和性能分析	(61)

5.5 小结	(64)
参考文献	(65)
第6章 GPS数据约简	(67)
6.1 概述	(67)
6.2 GPS数据的约简模型	(67)
6.3 算法与性能指标	(68)
6.3.1 算法1:采用“向前看”的理念	(68)
6.3.2 算法2:基于二分法的约简算法	(69)
6.3.3 算法3:采用广度优先策略	(69)
6.3.4 算法的性能指标	(70)
6.4 青藏铁路线实例研究	(71)
6.4.1 数据说明	(71)
6.4.2 算法结果分析与比较	(71)
6.4.3 2 σ 方法证明	(75)
6.5 小结	(76)
参考文献	(77)
第7章 多GPS轨迹信息融合	(79)
7.1 概述	(79)
7.2 约束K主曲线算法的数学模型	(80)
7.3 三种迭代约束K主曲线算法	(81)
7.3.1 分裂的优化算法——ALLopt	(82)
7.3.2 改进的分裂优化算法——MPMopt	(82)
7.3.3 划分合并优化算法——DCopt	(84)
7.4 模拟数据仿真	(84)
7.4.1 算法误差分析	(85)
7.4.2 算法适应度分析	(85)
7.5 算法的实际应用	(87)
7.5.1 测试集1	(87)
7.5.2 测试集2	(89)
7.6 小结	(90)
参考文献	(92)
第8章 基于图论和面向对象的列控数字轨道地图	(95)
8.1 概述	(95)
8.2 数字轨道地图的设计	(97)
8.2.1 整体设计	(97)
8.2.2 空间数据库	(98)

8.2.3 对象属性数据库	(99)
8.2.4 空间数据和对象属性数据匹配	(100)
8.3 列控数字轨道地图系统实现	(101)
8.3.1 数据输入和显示	(102)
8.3.2 生成结构、设置线间联系	(103)
8.3.3 对象属性设置	(104)
8.3.4 对象属性和空间数据的匹配	(104)
8.4 列控数字轨道地图的验证及测试	(104)
8.4.1 数字轨道地图验证	(104)
8.4.2 现场数据测试	(105)
8.5 小结	(108)
参考文献	(109)
第9章 总结与展望	(111)
9.1 总结	(111)
9.2 展望	(112)

第 1 章

卫星定位在铁路中的应用

1.1 概 述

卫星导航系统是覆盖全球、自主利用空间定位的卫星系统,允许电子接收器确定其自身所在位置即经度、纬度和高度,并且经由卫星广播沿着视线方向传送的时间信号精确到定位精确度在 10 m 的范围内。一个覆盖全球的卫星导航系统通常由 20~30 颗卫星组成的卫星星座构成,分布在几个轨道平面上。各实际系统中,卫星的个数各不相同,但是卫星的轨道倾斜角都大于 50° ,轨道周期大约都是 12 h,距离地球表面高度约为 20 000 km^[1]。图 1-1 为处于轨道中的卫星示意图。卫星导航系统具有全天候定位、全球性定位、三维高精度定位和动态导航等特点,因此具有广泛的应用。



图 1-1 处于轨道中的卫星

为了避免受制于人,世界各国都纷纷在研究各自的导航系统,主要包括美国、俄罗斯、欧盟和中国。目前,只有美国的全球定位系统(GPS)和苏联的格洛纳斯系统(GLONASS)是覆盖

全球的定位系统,中国的北斗卫星导航系统(BDS)于2012年底服务于亚太区,预计2020年覆盖全球,而欧洲联盟的伽利略定位系统(Galileo)预定最早2020年才能充分运作。法国、日本和印度正在建设区域导航系统。

1.2 卫星定位

全球的四大卫星导航系统由美国的GPS全球定位系统,俄罗斯的格洛纳斯定位系统,中国的BDS北斗卫星导航定位系统和欧盟的伽利略定位系统组成。

1.2.1 全球定位系统(Global Positioning System)

全球定位系统(GPS)又称全球卫星定位系统,是20世纪70年代由美国国防部研制和维护的中距离圆形轨道新一代空间卫星导航定位系统,其主要目的是为海、陆、空三大领域提供实时、全天候和全球性的导航服务。经过20余年的研究实验,耗资300亿美元,到1994年,全球覆盖率达到98%的24颗GPS卫星星座已布设完成。它可以为地球表面绝大部分地区提供准确的定位、测速和高精度的时间标准。使用者只需拥有GPS接收机即可使用该服务,无须另外付费。GPS计划的实施共分为三个阶段^[2,3]。

第一阶段为方案论证和初步设计阶段,经历的时间段为1978年到1979年,由位于加利福尼亚的范登堡空军基地采用双子座火箭发射4颗试验卫星,卫星运行轨道长半轴为26560 km,倾角 64° ,轨道高度20000 km。这一阶段主要研制了地面接收机及建立地面跟踪网。

第二阶段为全面研制和试验阶段,经历的时间段为1979年到1984年。继第一阶段之后又陆续发射了7颗称为BLOCK I的试验卫星并研制了各种用途的接收机。

第三阶段为实用组网阶段,时间段为1989年到1994年。这一阶段发射的卫星称为BLOCK II BLOCK IIA,这一阶段宣告GPS系统进入工程建设状态。

GPS全球卫星定位系统由空间星座部分,地面监控部分和用户设备部分三部分组成,各部分各自的组成如下。

(1) 空间星座部分。

GPS卫星星座由24颗卫星组成,均匀地分布在6个轨道平面上,即每个轨道面上有4颗卫星,其中21颗作为工作卫星,另外3颗作为备用卫星。其星座构成如图1-2所示。卫星轨道面相对于地球赤道面的轨道倾角为 55° ,各轨道平面的升交点的赤经相差 60° ,一个轨道平面上的卫星比西边相邻轨道平面上的相应卫星升交角距超前 30° 。这种布局的目的是保证在全球的任何地点、任何时刻至少可以同时观测到4颗卫星,以满足精密导航和定位的需要。

(2) 地面监控部分。

地面监控部分主要由1个主控站(Master Control Station),4个地面天线站(Ground Antenna)和6个监测站(Monitor Station)组成。监测站将取得的卫星观测数据,经过初步处理后,传送到主控站。主控站从监测站收集跟踪数据,计算出卫星的轨道和时钟参数,并将结果送到地面天线站。地面天线站在每颗卫星运行至上空时,将收集到的这些数据和主控站的

指令注入卫星。主控站是整个地面监控系统的管理中心和技术中心。

(3) 用户设备部分。

用户设备主要为 GPS 接收机,主要作用是从 GPS 卫星收到信号并利用传来的信息计算用户的三维位置及时间。这一部分主要由 GPS 接收机硬件、相应的数据处理软件组成。GPS 接收机硬件包括接收机主机、天线和电源,主要功能是接收卫星发射的信号,以获得必要的导航和定位信息,并经简单的数据处理而实现导航和定位。

GPS 全球定位系统的主要功能是为天文台、通信系统基站提供精确定时,为车辆防盗系统、手机、电子地图和定位系统等提供精确的定位功能,以及在武器、车辆、船舶、飞机导航中发挥重要作用。GPS 还广泛地应用于各种测量中,如道路、桥梁和隧道的施工中应用 GPS 设备进行工程测量^[4]。

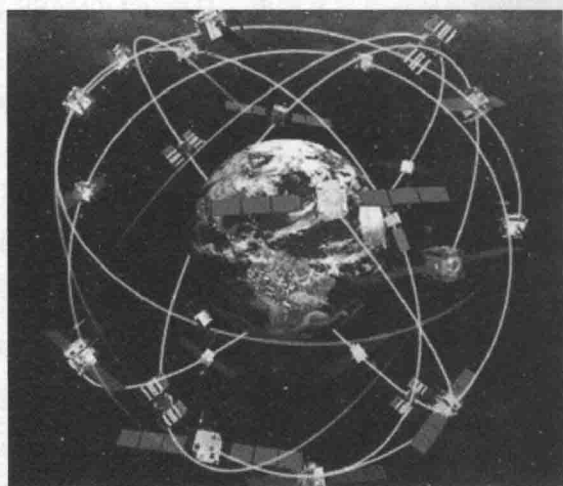


图 1-2 GPS 卫星工作星座图

1.2.2 格洛纳斯定位系统(GLONASS)

GLONASS 是俄语中全球卫星导航系统的缩写。格洛纳斯定位系统由苏联在 1976 年组建,现由俄罗斯政府负责运营,与 GPS 相似,该系统不仅用于军事,而且还开设了民用窗口。GLONASS 于 1991 年组建成具备覆盖全球的卫星导航系统。2012 年,该系统卫星的数量增加到了 30 颗,实现全球定位导航,其卫星导航范围可覆盖整个地球表面和近地空间,定位精度达到了 1 m 左右。部署完备的系统将在国防建设、航空航天、交通运输、地质勘探、灾害救援等领域得到广泛应用^[2,3]。

与美国的 GPS 全球定位系统组成相似, GLONASS 系统由卫星、地面测控站和用户设备三部分组成。目前的系统由 21 颗工作星和 3 颗备份星组成,与 GPS 不同的是这 24 颗卫星只分布于 3 个轨道平面上,每个轨道面有 8 颗卫星,轨道高度 19 000 km,运行周期 11.25 h。GLONASS 在技术方面与 GPS 有以下三点不同。

(1) 卫星信号发射频率不同。

GPS 的卫星信号采用码分多址(CDMA)体制,每颗卫星的信号频率和调制方式相同,不同卫星的信号靠不同的伪码区分。而 GLONASS 采用频分多址(FDMA)体制,靠不同的频率来区分卫星,每组频率的伪随机码相同。因此,GLONASS 定位系统可以防止整个卫星导航系统被敌方干扰,具有更强的抗干扰能力。

(2) 坐标系不同。

GPS 使用世界大地坐标系(WGS-84),而 GLONASS 使用前苏联地心坐标系(PZ-90)。

(3) 时间标准不同。

GPS 系统时与世界协调时相关联,而 GLONASS 则与莫斯科标准时相关联。

GLONASS 系统的出现,打破了美国在卫星导航系统领域的独家经营的局面。使得用户在使用时可以有选择,或者将两者结合以提高精度。目前,GLONASS 系统的主要用途是导航定位,同时也可用于各种定位、测量等。

1.2.3 北斗卫星导航系统(BDS)

北斗卫星导航系统是我国正在实施的、独立运行的全球卫星导航系统,致力于向全球用户提供高质量的定位、导航、授时服务,并能向有更高要求的授权用户提供进一步服务。其建设与发展遵循开放、自主、兼容和渐进的四项原则。北斗卫星导航系统如图 1-3 所示。系统的建设分为实验系统和正式系统两部分。



图 1-3 北斗卫星导航系统示意图

试验系统又被称为“北斗一号”,该系统于 1994 年正式开始研制,并分别于 1994 年正式立项。3 颗导航卫星分别于 2000 年 10 月 31 日、2000 年 12 月 21 日和 2003 年 5 月 25 日发射成功,其中最后 1 颗卫星为备用卫星。该试验系统的服务范围为东经 $70^{\circ} \sim 140^{\circ}$,北纬 $5^{\circ} \sim 55^{\circ}$,其三维定位精度为几十米,水平定位精度为 100 m,设立校验站后为 20 m 左右;授时精度 20 ns,定位响应时间为 1 s;能容纳的用户数为每小时 54 万户。在 2008 年奥运会期间,北斗一

号与 GPS 卫星定位系统在交通、场馆安全的定位监控方面发挥双保险的作用。该试验系统由三个部分组成:空间段、地面段和用户段。

(1) 空间段。

由 3 颗地球静止轨道卫星组成,两颗工作卫星定位于东经 80° 和 140° 赤道上空,另有 1 颗位于东经 110.5° 的备份卫星,可在某工作卫星失效时予以接替。

(2) 地面段。

由中心控制系统和标校系统组成。中心控制系统主要用于卫星轨道的确定、电离层校正、用户位置确定、用户短报文信息交换等。标校系统可提供距离观测量和校正参数。

(3) 用户段。

用户的终端。根据用户机的应用环境和功能的不同,用户终端被分为五种类型,分别是普通型、通信型、授时型、指挥型和多模型用户机。

试验系统采用了少量的卫星实现的有源定位,因此耗费的成本较低,但系统在定位精度、用户容量等性能上受到限制。因此,我国于 2004 年正式启动了具有全球导航能力的北斗二号卫星导航系统的建设,即北斗卫星导航系统的正式系统,该系统为军民两用的系统。系统于 2012 年起向亚太大部分地区提供正式服务,服务范围为南纬 55° 到北纬 55° 、东经 55° 到东经 180° ,并计划至 2020 年完成全球系统的构建。该导航系统提供两种服务方式,开放服务和授权服务。开放服务是为全球用户免费提供开放、稳定、可靠的基本定位、测速、和授时服务,定位精度为 10 m,测速精度为 0.2 m/s,授时精度为 20 ns。授权服务则是向全球用户提供更高精度的定位、导航、测速和授时服务。

与试验系统一样,正式系统也由空间段、地面段和用户段三部分组成。空间段计划由 35 颗卫星组成,其中包括 5 颗静止轨道卫星、27 颗中圆轨道卫星、3 颗倾斜同步轨道卫星。5 颗静止轨道卫星分别位于东经 58.75° 、 80° 、 110.5° 、 140° 和 160° 。地面段包括主控站、注入站和监控站等若干地面站组成。用户端包括北斗系统用户终端和与其他卫星导航系统兼容的终端^[6,7]。各种类型终端的终端如图 1-4 所示。

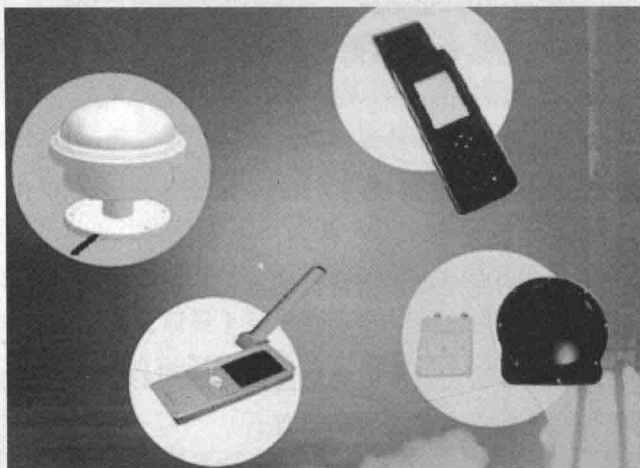


图 1-4 各种终端设备示意图

1.2.4 伽利略全球定位系统(Galileo)

伽利略全球定位系统是欧盟的一个正在建造中的卫星定位系统,是继美国全球定位系统GPS、俄罗斯GLONASS及中国北斗卫星导航系统后,第四个可以支持民用的定位系统。伽利略定位系统的目的在于为用户提供更精确的数据,同时加强对高纬度地区的覆盖,包括挪威、瑞典等地区,并减低对美国全球定位系统的依赖,特别是在发生战争时。该系统的发展主要分为如下四个阶段^[4]。

第一阶段是1999年到2000年,进行系统可行性评估和定义阶段。

第二阶段为2001年到2005年,系统开发和检测阶段,主要工作包括汇总任务需求,开发2~4个卫星和地面部分,以及系统在轨验证。

第三阶段为2006年到2007年,是卫星的部署阶段,主要工作包括卫星的发射布网,地面站的架设,以及系统的整体联调。

第四阶段是2008年开始,系统投入使用的阶段。

伽利略卫星导航系统总共将发射30颗卫星,其中的27颗作为工作卫星,剩下3颗为候补卫星。这30颗卫星分别位于3个倾角为 56° 的轨道平面上,每个轨道上分布10颗卫星,其中九颗卫星运作,最后1颗作为后备卫星。每颗卫星离地面的高度为23 222 km,寿命在12年以上,重量为675 kg,长宽高分别为2.7 m、1.2 m、1.1 m,太阳能集光板阔度为18.7 m,集光板功率为1 500 W。

伽利略系统提供的服务分为免费服务和有偿服务两部分,具体可分为以下6种。

(1) 公开服务(Open Service)。

主要包括向使用者免费提供定位、导航和标准时间等,服务对象主要是一般大众,如一般汽车的导航系统。

(2) 商业服务(Commercial Service)。

主要是公开服务中不包含的额外服务,如在公开服务中添加加密数据。

(3) 生命安全服务(Safe-of-Life Service)。

这一部分服务只应用于交通运输、引导船只入港、铁路运输、交通管制等。

(4) 公共规范服务(Public Regular Service)。

这一部分服务只针对欧盟成员国。

(5) 地区性组织提供的导航定位服务(Navigation Service to be provided by Local Components)。

这种服务是向有这种需求的用户提供更精确的定位和授时服务。

(6) 搜索与救援系统。

伽利略卫星导航系统的救援功能基本上与之前国际通用的卫星搜救救援系统(COSPAS-SARSAT)的原理相同,但在性能上有了很大的改善。

1.3 国外应用

最早将 GPS 定位系统应用于铁路列车的是 1984 年美国伯林顿北方铁路公司与 Rock Well 公司合作开发的 ARES 系统。目前欧洲各国铁路正在加强利用 GPS 技术,并在铁路沿线设置差分基站,使之与移动通信技术相结合,以提高铁路的运输能力。德国的铁路部门认为 GPS 卫星导航系统可替代现有的常规操作,以卫星导航、移动通信和引导系统代替现有的固定信号系统正在试验线路上进行。GPS 列车定位可不依赖于铁路现有的固定信号系统对列车进行定位,可指导司机或者控制自动驾驶系统以安全、经济的方式驾驶列车。采用 GPS 技术的铁路项目包括增强型列车控制系统 (Incremental Train Control System, ITCS)、ATLAS400、GADEROS、LOCOPROL/LOCOLOC、RUNE、Intergrail、ECORAIL 等。基于 GPS 的列车定位技术将是未来列车运行控制技术的重要发展方向之一。

(1) LOCOPROL 列车运行控制系统。

卫星导航系统 LOCOPROL (Low-Cost satellite-based train location system for signaling and train Protection for Low density traffic railway lines) 是欧洲开发的一种基于卫星定位的一种列车运行控制系统。这是一种针对低运量铁路线路信号系统,具有低成本的特点,系统最大的创新在于为铁路信号系统引入了全球卫星定位技术。该系统并没有采用全新的设计理念,而是采用了既有系统的理念,从而降低了系统设计风险及开发难度^[8,9]。ETCS 系统规范是 LOCOPROL 系统对应的列车自动控制系统的坚实基础。

LOCOPROL 技术方案利用 GPS、格洛纳斯和伽利略等全球卫星定位体系,开发了低成本、故障安全性的卫星定位系统,该技术方案无须加装卡尔曼滤波装置。与传统的方法不同,LOCOPROL 系统使用若干个卫星的数据来计算置信区间,对置信区间信息进行处理后,可获得故障安全定位数据。系统的基本原理如图 1-5 所示。

在系统构成方面,LOCOPROL 系统采用分布式体系结构,提高了系统的扩展能力。其中一个重要的设计就是通过尽可能地减少轨旁设备数量,达到减少系统的投入成本和减少维护成本的目的。传统的信号系统中需要在轨道旁或者列车上设置大量的列车占用检测装置、列车定位、信号机、信标等。而在本系统中,通过应用机车信号替代列车占用检测装置,利用地面标识替代标示信号机和转辙机位置的信标。通过这些突进使轨旁设备数量减至最低。

在精度方面,由该系统算法得到的列车的位置仅是某个线路区段,而不是列车所在的某个点,列车的实际位置应在计算出的线路区段的某一端。列车定位的精度要靠一定的测量概率来保证。在列车完整性检查方面,同时使用不同来源的 3 对卫星量程来保证达到要求的完整性指标。该系统能够在故障安全前提下提供列车在线路上的绝对位置。同时,如果线路上设置了信标,还可以将卫星定位的列车数据与信标提供的位置数据相结合来定位列车的准确位置。

与传统的定位技术相比,LOCOPROL 卫星定位采用的传感器无须进行经常性调校。设备均装在车上,对环境的适应性强。雨、雪、雾等天气状况和钢轨类型都不会对系统信息产生

影响。LOCOPROL 系统通过了严格的安全性试验,对以下几个方面的错误:全球定位卫星、卫星地面设备、空间环境、地面环境、噪声和数据堵塞等,从其严重性、发生概率等角度进行了评估和验证。

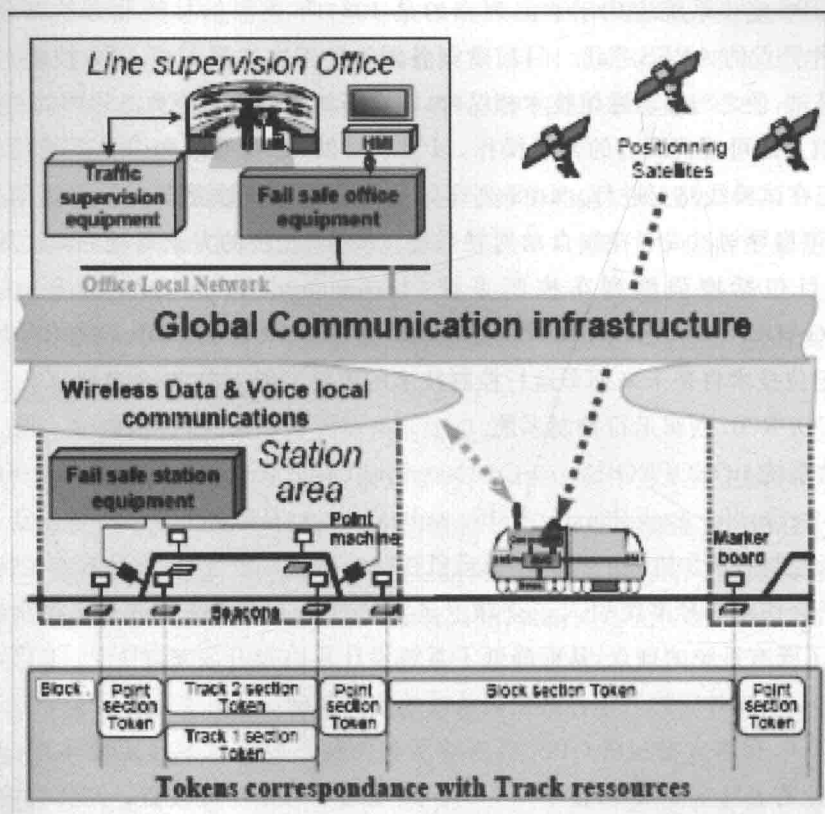


图 1-5 LOCOPROL 系统配置图

(2) GADEROS.

伽利略铁路运行系统示范项目(GADEROS, Galileo Demonstrator for Railway Operation System)是在欧洲铁路运输管理系统(ERTMS)和欧洲列车运行控制系统(ETCS)的框架下,利用卫星技术来实现列车定位,并广泛应用于常规和低密度铁路的系统。它得到了欧盟委员会的资金支持,英国、法国和西班牙等多个欧洲国家联合参与了项目的研究和开发^[10,11]。

这个项目所研究的内容包括如下几个方面。

- ① 分析铁路对列车定位的需求。
- ② 在 ERTMS/ETCS 的框架下确定 GNSS 定位系统的功能和接口。
- ③ 提出示范项目试验基地和试验计划。
- ④ 开发采用必要的试验设备。
- ⑤ 在 ERTMS/ETCS 实验室模拟 GNSS 定位器。
- ⑥ 集成各种协议并进行现场试验。
- ⑦ 在运输控制中心应用 GNSS 定位器。