

高等学校交通信息工程系列教材

Communication-based Train Operation Control for Rail Transit

曾小清 王长林 张树京 编著
崔德存 主审

基于通信的 轨道交通运行控制



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS



高等学校交通信息工程系列教材

轨道交通信号控制基础

信息传输原理

交通信息技术

交通电子技术

基于通信的轨道交通运行控制

交通信息工程案例集

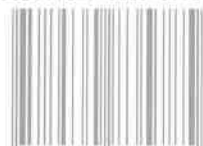
轨道交通自动售检票系统

智能交通系统

轨道交通信息工程案例集

交通信息通信与网络技术

ISBN 978-7-5608-3578-5



9 787560 835785 >

定价: 23.00 元

高等学校交通信息工程系列教材

Communication-based Train Operation Control for Rail Transit

曾小清 王长林 张树京 编著
董德存 主审

基于通信的 轨道交通运行控制



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

轨道交通运行控制与管理是轨道交通的重要组成部分,轨道交通运行控制为其核心内容。书中着重介绍轨道交通列车控制系统、运输组织、移动闭塞技术、基于通信的列车控制(CBTC)系统原理,包括OFDM/跳频/扩频/WLAN在内的常用通信技术、规范标准以及典型案例系统。本书可作为高等院校交通工程、交通信息工程、轨道交通与控制等专业本科生教材,也可以作为相关专业研究生的参考教材,并可供有关工程技术人员、运营管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于通信的轨道交通运行控制/曾小清,王长林,张树京编著. —上海:同济大学出版社,2007.5
(高等学校交通信息工程系列教材)
ISBN 978-7-5608-3578-5

I. 基… II. ①曾…②王…③张… III. 城市铁路—铁路信号—自动控制—高等学校—教材 IV. U284

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 066489 号

基于通信的轨道交通运行控制

曾小清 王长林 张树京 编著

策划编辑 杨宁霞

责任编辑 钱忠麒 责任校对 谢惠云 装帧设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 12

字 数 300 000

印 数 1—3 100

版 次 2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-3578-5/U·70

定 价 23.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

高等学校交通信息工程系列教材编委会

主 任 杨东援

副主任 董德存 曾小清 赵时旻

编写组 董德存 张树京 杨晓光 赵时旻 曾小清 孙懋珩 王长林 王绍银 张 轮
欧冬秀 郎宗桢 姜季生 苏厚勤 王长年 周 芳 吴志周 云美萍 龚伟敏
杜 雷 毛 倩 万国春 林 群 关志超 徐 明 冯 娟 席雪艳 王之峰
龙 靖 覃自东

主审组 董德存 张树京 吴汶麒 陆明达

指导组(按姓氏笔画)

丁以中	丁永生	王长林	王成华	王建华	任 光	刘 藩	刘允才	刘明俊
朱 昊	朱 杰	汤天浩	祁庆中	严作人	何 晨	吴汶麒	吴镇扬	张小松
张臣雄	张树京	张 浩	李建勋	杨国祥	肖闽进	邵哲平	陆明达	陈伟炯
陈惠民	周溪召	宗蓓华	金永兴	施 欣	施朝健	费敏锐	钟 宏	郭建冬
徐永发	徐洪泽	顾幸生	曹俊文	黄 钟	黄承明	敬忠良	蒋川群	裘哲雷
蔡存强								

总 序

随着信息技术突飞猛进地发展,大力推动了全球信息化前进步伐。信息化带动工业化已经明显地促进了国民经济的持续发展。同时,信息技术也为综合交通(铁路、公路、水运、航运以及城市交通)的现代化和智能化带来了无限生机和活力,由此诞生了一个崭新的专业,这就是交通信息工程专业。

为了培养 21 世纪我国乃至全球紧缺的交通信息工程领域内的高级专门人才,同时为了深化高等院校课程体系改革和教材建设的急需,同济大学出版社邀请了上海乃至全国有关交通、信息、通信、控制等领域的专家和教授,组成了阵容强大的交通信息工程专业系列教材编委会,他们在长期从事教学科研和工程领域的基础上,规划并编写出一套面向高校本科的交通信息工程专业系列教材,并将陆续出版发行。

这套教材具有明显的交通信息工程专业特色,是国内首创,国外也不多见。编写这套教材的宗旨在于培养学生综合运用多门学科知识的能力,提高交叉复合型人才的素质。它是以综合交通系统的信息化、智能化、集成化和网络化为核心,全面运用信息、通信、控制及计算机等高新技术,结合交通系统工程的特点,大力改进和实现交通系统的现代化,以便迎接 21 世纪全球经济一体化的挑战。

这套教材具有“厚基础、强背景、宽专业、重综合”,以及交叉多门学科领域的实用型信息工程专业本科教材的特点,主要为交通信息工程应用类,但对于其他实用型信息工程类专业(如经济信息、社会信息、军事信息、人文信息、医学信息、工程信息等)也具有一定的参考价值,同时也可以作为成人教育、网络教育、高职教育、人员培训等授课教材,同样也适合自学者使用。

这套教材的内容结构是围绕着综合交通系统的信息化和智能化,全方位地展示各种新技术和新方法,并强调理论联系实际,专业基础教材有练习,专业教材有案例。同时,紧密配合本科教学计划和课程体系,着重于基本原理和实用技术方面的内容,体现知识和技能的有机结合,全面培养学生理论分析和独立解决问题的能力,进一步拓展知识面,激发学生学习的积极性和创新意识。

这套教材可以按照教学计划和课程体系分别安排在不同学年的专业基础类和专业类课程系列内,并根据教学大纲和教学时数安排为必修课或选修课。

3/5 晓
2003年12月5日

前 言

由于通信技术的发展,尤其是无线通信技术的广泛应用,以信号控制为核心的传统轨道交通信号系统演变成基于通信技术的轨道交通运行控制系统。为了适应轨道交通的快速发展,充分利用通信技术的最新成果,作者从2002年开始筹划本教材的编写工作。传统的轨道交通信号系统经过长期的发展,具备了丰富的技术储备与教学资源,作者于2005年底完成的《轨道交通信号控制基础》是对经典信号控制基础知识的全面阐述,本书为其后续教材,二者适合现代轨道交通信号系统专业的教学,是交通信息工程系列教材的重要组成部分。按照国家教育委员会颁布的课程教学大纲基本要求,结合通信技术、轨道交通技术、运行控制技术等日新月异的飞速变化,如何使学生能用基础知识理解轨道交通运行控制技术,从而开启思维的天地,成为本书立意的基本出发点。

本教材的名称“基于通信的轨道交通运行控制”的核心内容来源于近年来国际上相关行业广为流行与关注的研究与建设热点 CBTC (Communication Based Train Control) 轨道交通信号系统模式与技术。本教材内容包括基于通信的列车控制 CBTC 系统、运营组织与调度集中系统。为了教材表述的简洁性,同时也尊重我国科研技术人员的习惯,在提及基于通信的列车控制系统时,本教材在目录及正文的大多数情况下均直接采用英文缩写 CBTC 系统或技术。

本教材编著的素材主要来源于两大部分:一部分来自本书主要作者在日本期间参加日本东京工业大学、日本国铁 JR 公司与日立信号系统与设备公司合作研发项目的过程中,收集的大量相关资料,本教材部分内容为期间的研究成果;另一部分来源于作者在国内参加的科研教学活动,其中的典型 CBTC 系统应用素材主要为国内外实际应用案例。

现代通信技术与传统铁路信号系统两大专业技术的有机融合交叉,是本教材的内容精髓。传统的轨道交通信号系统依赖于轨道电路模式,从模拟轨道电路、数字轨道电路到智能轨道电路,轨道电路经过了不同的发展阶段,但始终没有突破由于闭塞距离而造成的行车运行间隔的束缚。由于现代通信技术的发

展,尤其是无线通信技术的广泛应用,使轨道交通运行控制摆脱轨道电路的束缚成为可能。CBTC 系统的主要特点在于借助于先进的车地无线通信技术,列车运行已摆脱对轨道电路的依赖,甚至可以突破新型数字轨道电路行车运行间隔的瓶颈,行车时间间隔大大缩短,增加系统在线实时性,从而提高运能与安全性,以适应现代化的大规模运输。

本教材共 8 章。

第 0 章 绪论,介绍 CBTC 的发展历史与现状、相关规范列表,以方便技术人员快速查阅。

第 1 章 列车控制系统,以轨道交通列车自动控制系统 ATC(Automatic Train Control)为核心,介绍国内外列车控制系统现状与发展,阐述各个子系统的功能、组成和解决方案。

第 2 章 轨道交通运输组织,介绍运输组织、列车运行图的基本概念和原理,阐述运输组织与列车控制系统的关系。

第 3 章 CBTC 技术基础,包括无线通信技术、移动闭塞技术、列车定位技术。

第 4 章 CBTC 系统原理,介绍 CBTC 系统的组成、结构、功能以及其中的特征通信技术。

第 5 章 CBTC 技术规范与标准,包括制定技术规范与标准的背景、标准制定的需求和三个主要标准介绍。

第 6 章 典型轨道交通 CBTC 系统,介绍(扩频/调频)无线局域网 CBTC 系统和基于专用无线的 CBTC 典型应用实例。

第 7 章 自律分散的调度集中系统,介绍自律分散系统技术的特点、自律分散的列车控制系统和调度集中系统。

本教材可作为交通信息工程专业本科生高年级的专业必修课教材,也可作为交通信息工程及控制专业和相关专业的研究生参考教材;同时,可作为从事轨道交通规划设计、信号系统建设与设计及运营组织管理的专业技术人员的参考资料。

本教材的编写历时数年,凝聚的是众人的心血。这里首先要感谢北京交通大学唐涛教授为本书提供了不少宝贵资料,西南交通大学王长林教授参加了第

3,4,5 章的编写,国家磁浮交通工程技术研究中心杜雷工程师参加了第 2 章的编写,上海理工大学毛倩博士参加了第 3,6 章的编写;研究生白涛、牛振宇、郭矿、丁伟、马能艺、张晴等在材料收集、内容编排等方面作了大量工作;张树京、吴文麒教授对本书提出了诸多建设性意见;上海申通地铁集团有限公司赵时旻高工、同济大学电信学院孙懋珩副教授对本书理论体系构建提出了宝贵建议;本书引用了国内外从事轨道交通研究的专家、学者的研究成果,特别是日本东京工业大学森欣司教授、JR 东日本旅客铁道株式会社铁道事业部部长松本雅行博士和日立制作所交通系统事业部部长解良和郎博士,在教材的编写过程中得到了他们的热情指导与帮助;董德存教授在本书的审定过程中,对内容安排、理论架构等方面提出了重要的修改意见,在此一并表示感谢。

在本书的撰写过程中,编撰人员虽然极其认真,但由于列车控制系统专业的特殊性,例如关键技术与设备受外国厂商垄断、国内技术不成熟等因素,文中内容难免存在缺点甚至错误,对此,敬请读者给以指正和建议,以便今后修订和完善。

作者曾小清联系地址: zengxq@mail. tongji. edu. cn

编著者

2007 年 2 月于上海

目 次

总序

前言

0 绪论	1
0.1 CBTC 系统概述	2
0.2 CBTC 系统的发展	2
0.2.1 国外 CBTC 的发展	2
0.2.2 国内 CBTC 的发展	5
0.3 CBTC 系统的信息传输	6
0.4 CBTC 系统中关键技术和规范	8
1 列车控制系统	9
1.1 ATC 系统概述	9
1.1.1 国外列车控制系统的发展	9
1.1.2 国内列车控制系统的发展	10
1.1.3 列车控制系统的发展趋势	12
1.1.4 我国发展 ATC 的思路	13
1.2 轨道交通 ATC 系统	14
1.2.1 城市轨道交通信号系统的组成	14
1.2.2 列车自动防护(ATP)子系统	14
1.2.3 列车自动运行(ATO)子系统	16
1.2.4 列车自动运行(ATS)子系统	17
1.2.5 城市轨道交通 ATC 系统总体解决方案	19
1.2.6 国外典型列车控制系统简介	19
2 轨道交通运输组织	22
2.1 运输组织概要	22
2.1.1 运输组织的基本目标	22
2.1.2 客流计划	22
2.1.3 全日行车计划	24
2.1.4 车辆配备计划	28
2.1.5 列车交路计划	29
2.2 列车运行图	30

2.2.1	列车运行图的功能	30
2.2.2	列车运行图的图形表示方法	31
2.2.3	列车运行图的分类	32
2.2.4	城市轨道交通通过能力	35
2.2.5	城市轨道交通列车运行图的编制	38
2.3	运输组织与列车控制系统的相互关系	41
2.3.1	列车追踪间隔时间	41
2.3.2	CBTC 实现对列车运行的控制	42
2.3.3	列车控制系统与列车追踪间隔时间的关系	43
3	CBTC 技术基础	44
3.1	无线信息传输技术	44
3.1.1	无线系统的组成与结构	44
3.1.2	OFDM 技术	44
3.1.3	扩频技术	48
3.1.4	跳频技术	53
3.1.5	无线局域网(WLAN)技术	55
3.2	移动闭塞技术	60
3.2.1	移动闭塞原理	60
3.2.2	移动闭塞的列车定位	63
3.2.3	移动闭塞的列车间隔	63
3.2.4	移动闭塞的目标点	66
3.2.5	移动闭塞的技术特点与优势	67
3.3	列车定位技术	69
3.3.1	列车定位技术的分类和技术要求	69
3.3.2	列车定位技术原理	71
4	CBTC 系统原理	82
4.1	CBTC 系统的定义与分类	82
4.2	CBTC 系统的组成与结构	86
4.2.1	系统结构	86
4.2.2	系统组成	87
4.3	CBTC 系统的功能	88
4.3.1	基本功能	91
4.3.2	具体功能	91
4.4	CBTC 系统特点	93
4.5	CBTC 系统的安全可靠性	96
4.5.1	马尔可夫模型	96
4.5.2	人员因素的分析	96

4.5.3	设备的故障覆盖率	97
4.5.4	子模型的状态转移图	98
4.5.5	系统事故率的计算	99
5	CBTC 技术规范与标准	100
5.1	制定 CBTC 技术规范与标准的必要性	100
5.2	IEEE 1474.2 用户接口标准	100
5.2.1	一般用户接口需求	101
5.2.2	操作相关的用户接口需求——车载子系统	103
5.2.3	非车载子系统运行相关的用户接口要求	105
5.2.4	与维护相关的用户接口要求	109
5.3	IEEE 1473-L 通信协议	110
5.3.1	LonWorks 标准	110
5.3.2	TCN 协议	111
5.3.3	LonWorks 标准在铁路上的应用	111
5.3.4	实现协作性	112
5.4	IEEE 1474.1 功能性能标准	114
5.4.1	概述	114
5.4.2	总体要求	114
5.4.3	性能要求	116
5.4.4	功能需求	120
6	典型的轨道交通 CBTC 系统	128
6.1	基于无线局域网的 CBTC 系统	128
6.1.1	基于扩频技术 WLAN 的 CBTC 系统	128
6.1.2	基于跳频技术 WLAN 的 CBTC 系统	138
6.2	基于专用无线的 CBTC 系统	145
6.2.1	系统基本功能	145
6.2.2	系统组成及结构	146
6.2.3	车地通信系统	148
7	自律分散的调度集中系统	156
7.1	自律分散系统技术特点	156
7.1.1	自律分散系统的属性	157
7.1.2	自律分散系统的实现方案	158
7.1.3	自律分散系统的优点	159
7.2	自律分散的列车控制系统	161
7.2.1	日立列车控制系统	161

7.2.2	ATS 子系统	162
7.2.3	ATP/联锁/ATO 子系统	163
7.3	自律分散的调度集中系统	164
7.3.1	自律分散的调度集中	164
7.3.2	自律分散型调度集中系统的功能	166
7.3.3	自律分散型调度集中系统的结构	167
7.3.4	调车自律控制的过程	173
7.3.5	小结	177
参考文献		178

0 绪 论

近 20 年来,国际上普遍采用“基于数字轨道电路的准移动闭塞”作为 ATC 的主要制式。由于这种制式具有较高的可靠性、合理的性价比,已经具有充分的运行经验,其列车运行间隔(100~150 s)已能满足绝大多数轨道交通运营部门的要求,因此,这类系统至今仍是轨道交通建设的首选制式。

然而,随着轨道交通的发展,这类制式的弊病也已日益凸显。

弊病之一:由于目前世界上各种准移动闭塞的信息传输频率、通信协议等均不一致,导致了在一个城市或一个地区的轨道交通网中各条线路的列车不能实现联通联运。

弊病之二:大多数基于数字轨道电路的准移动闭塞,为了实现调谐和电平调整,不得不在钢轨旁侧设置“轨旁设备”,而这对于轨道交通的日常维护工作是非常不利的。

弊病之三:由于以钢轨作为信息传输通道,因此传输频率受到很大的限制,导致车一地之间通信的信息量较低。此外,其传输性能受钢轨中的牵引回流、钢轨之间的道床漏泄以及钢轨下面的防迷流网的影响很大,而导致传输性能不够稳定。

弊病之四:“准移动闭塞”距真正意义上的“移动闭塞”还有差距,因此,列车运行间隔的进一步缩短和列车运行速度的提高都将受到限制。

随着计算机技术(Computer)、通信技术(Communication)和控制技术(Control)的飞跃发展,综合利用 3C 技术代替轨道电路构成新型系统已成为列车控制系统的发展方向,其核心是通信技术的应用,出现了“基于通信的列车控制系统”(Communication Based Train Control,简称 CBTC)。20 世纪 80~90 年代以来,陆续出现了很多 CBTC 现场试验项目,例如法国的 ASTREE 系统、日本的 CARAT 系统等。目前,一些大城市开始对原有的地铁系统进行 CBTC 改造,具有代表性的项目是美国纽约地铁的信号系统改造,其他还有巴黎地铁 13 号线,美国旧金山海湾地区的捷运运输系统(BART)等。

基于通信的列车控制系统(CBTC)具有两种制式:采用轨间电缆作为传输通道的 CBTC(称为 IL CBTC)及采用无线数据传输通信的 CBTC(称为 RF CBTC),鉴于 IL CBTC 的电缆易于被盗,且不利于线路养护,故下面的讨论仅针对 RF CBTC(以下简称 CBTC)。

目前国际上的一些生产 ATC 系统的大公司正把目光瞄准“基于无线的移动闭塞”(RF CBTC)。经过近十年的努力,无论在可靠性、安全性方面,还是在兼容性、抗干扰性方面,都已取得了长足的进步,离大规模推向市场仅一步之遥。

近 5 年来,一些跨国公司对 RF CBTC 投入了大量资金,并已取得了局部的成功。根据我们掌握的资料,目前世界上共有 5 家公司正式推出 RF CBTC 系统,并已共同制定了有关的技术标准,这 5 家公司是:Siemens(西门子),GE(通用电气),Alcatel(阿尔卡特),Alstom(阿尔斯通),Bambaydier(庞巴迪)。

0.1 CBTC 系统概述

基于无线通信的列车控制系统(CBTC)这一思想的萌芽出现在 20 世纪 60 年代,20 世纪 80 年代初国外开始系统地展开研究并进行阶段性测试,90 年代开始进入试验段测试阶段。1999 年 9 月,IEEE 将 CBTC 定义为:“利用高精度的列车定位(不依赖于轨道电路),双向连续、大容量的车—地数据通信,车载、地面的安全功能处理器实现的一种连续自动列车控制系统”。定义中指出 CBTC 中的通信必须是连续的,这样才能实现连续自动列车控制,利用轨间电缆、漏泄电缆和空间无线都可以实现车、地双向信息的连续传输。

借助先进的列车定位技术、安全处理器技术和无线通信技术,使得 CBTC 与传统基于轨道电路的列车控制系统相比,具有如下优点:

(1) 通过整个系统提供可靠的检查与平衡手段,通过车—地间双向信息传输,实现对列车的闭环控制,从而大大降低人为错误的影响,系统的可靠性更高。

(2) 各级调度都可以随时了解区段内任意运行列车的位置、速度、机车工况及其他各种参数,利用上述信息,各级调度可以规范、协调地直接指挥行车。

(3) 车站控制中心依据列车状态及前车状态,结合智能技术调整列车运行,获得最佳的区间通过能力,减少列车在区段内运行时不需要的加速、制动,节省燃料,增加旅客乘坐舒适度。

(4) 区段内所有运行列车的各种参数(如:列车号、机车号、位置、速度、工况、始发站、终点站、车辆数、载重量等)自动地发送给各种管理系统,如:TMIS、DMIS,不需要人工键入,从而可以避免对参数的漏键、错键、迟键和其他人为错误,将运输控制与管理紧密结合,实现铁路信息化。

(5) 减少沿线设备,设备主要集中于车站和机车上,减轻设备维护和管理劳动强度,受环境影响小(如:可减少雷击等现象的干扰和损伤),在遭受自然灾害或战争破坏后,易恢复运行。

(6) 可以实现移动闭塞。

0.2 CBTC 系统的发展

0.2.1 国外 CBTC 的发展

国外研究 CBTC 的时间较早,技术发展也比较快,目前有几个典型的实验和研制系统:北美 ATCS(Advanced Train Control System),旧金山海湾铁路(BART)的 AATC(Advanced Automatic Train Control),法国实时追踪自动化系统(ASTREE),德国的无线列车控制系统(FZB),日本的计算机和无线通信列车控制系统 CARAT(Computer and Radio Aided Control System),等等。

1) 北美 ATCS

1982 年由美国铁道协会 AAR 和加拿大铁道协会 RAC 共同提出了“先进列车控制系统 ATCS”。ATCS 主要思路是在获取精确的列车位置、速度信息的前提下,通过先进的微处理器和数据通信手段,实现对列车的闭环控制。ATCS 集控制、运行管理于一体。

ATCS 在 1988~1995 年期间进行了多个极短试验区段的试验和测试,结果表明 ATCS 对于行车密度较小的地区,技术上是可行的,各项性能达到了设计目标,但由于某些内部因素的考虑,这些试验工程已被取消,但 ATCS 系统的结构设计和功能模块划分,为今后 CBTC 的发展提供了参考。

2) 旧金山海湾铁路 WAATC

由休斯公司参与的旧金山海湾铁路 BART(Bay Area Rapid Transit)的先进的列车自动控制 WAATC(Wireless Advanced Automatic Train Control)运用军事技术叠加在现有的列车控制系统上。这种无线设备既做车一地之间的无线数据通信,又可做列车定位。该系统按照高水平故障容错技术设计,设计标准是其服务中断每 3 年不超过一次。WAATC 采用了强化定位和报告系统,该系统是为军事应用而开发的。列车的位置是通过测定列车车头、尾所装载的无线设备与地面设置的无线机之间的无线频率的传播时间来确定的。

WAATC 系统设备把所有控制信息都放到车站中。车站计算机下载所有的轨道拓扑和轨道速度信息(线路图)。计算机负责检测列车制动距离,安全速度码和传送到列车的加速命令。车载设备仅仅接收来自车站的命令,并使列车按命令运行。

车载无线扩频设备被安装在列车的头部和尾部,它提供冗余通信,并且前方和后方扩频设备都可以独立定位。每个车站有两个无线接收装置,它们分别被置于车站的两端。无线接收装置也可以沿轨旁安装,从而保证任一列车无论处于沿线的什么位置,车上的前后两个无线接收设备都至少处于轨旁两个无线装置的射频信号范围内。利用轨旁定位,使得每个轨旁无线接收装置至少能与上行和下行列车中的两个无线电台进行通信,这将给跟踪列车和控制列车提供多重机会。

来自车站的控制信息通过轨旁无线电台传递给车载无线接收装置,车上无线接收设备收到控制信息,通过解调得到车上无线通信接收设备与轨旁无线通信发射设备之间的距离。车上无线通信设备再发出数据信息,信息中包括列车状态及测得的距离。轨旁无线电台接收来自车载无线电台的数据信息,这些数据信息也作为解调的一部分。同时测量轨旁无线电台与车载无线发射装置的距离。车载状况以及距离信息也是通过轨旁无线电台传递给车站。在这个过程中,列车采用安全速度编码。在这种列车定位方式中,列车和轨旁无线电台协同完成了距离的测定,该方法的前提是列车和轨旁的通信装置能正常通信。

为了实现可靠的列车跟踪和定位,在线路右侧装置无线电台,它们与安装在列车上的无线电台进行接近连续的通信。每辆列车的相对位置是通过测定车载电台和轨旁电台的射频传播时间来实现的。在获得列车位置参数以前必须在轨旁信标上方移动过,系统可以在所有的车载无线电台与车站无线电台通信后马上得知列车的位置。在系统从关闭状态恢复时,这种性能尤其重要。一旦列车在线,在列车上不用进行任何的人工操作,就可以实现定位和安全跟踪。

3) 法国实时追踪自动化系统(ASTREE)

法国国营铁路公司(SNCF)实施的追踪自动化系统(ASTREE)的研究工作,旨在提高列车通过能力,提供统一的安全级别、降低运行费用。ASTREE 通过车载多普勒雷达和查询/应答器实现列车定位和速度的测定,其系统概念与 ATCS 类似。ASTREE 系统包括 4 个关键部分:列车位置、速度的连续检测,列车和控制中心的双向通信,分布式数据库,存储线路上每列运行列车的位置、速度、加速度、长度、重量牵引能力、制动性能、到达站、始发站、列车运行图等信息。基于计算机的列车控制系统,ASTREE 的车载设备包括:多普勒雷达、查询器、里程计、列车完整性检查装置、无线收发装置、车载计算机。地面设备包括:道岔监控装置、无线收发站、应答器、列车组成读取装置。

1987—1994 年 ASTREE 进行了多个区段性试验,测试了 ASTREE 的一些主要功能,如:列车描述、优化列车调度、列车操作指令发布、列车超速防护、对正面冲突的防护、对追尾及侧面冲突的防护等。并试验了当一个控制中心失效或发生故障时,系统的重构过程。

4) 德国的无线列车控制系统(FZB)

德国铁路早在 20 世纪 60 年代就开始研究用于最高行车速度 200 km/h 的连续式列车运行控制系统 LZB。通过铺设轨间感应电缆传递车、地信息,信息量大,抗干扰能力强,适用于混运型区间,但由于需要全程铺设轨间电缆,造价高且易受工务作业干扰。

1993 年,西门子公司推出无线列车控制系统 FZB,连续式列车控制系统 FZB 主要由地面列控中心、车—地双向信息传输系统和车载列控设备三部分组成。FZB 通过 Euro-balise 实现列车定位,利用现有移动通信系统 GSM(Global System Mobile)实现车—地双向信息传递,取代 LZB 的轨间电缆。1995 年,西门子公司开始在柏林—莱比锡全长约 150 km 的区段安装调试。该实验段仍然通过轨道电路反映区段占用情况,微机联锁设备(ESTW)根据进路状况、值班员命令等形成行车命令,传递给 FZB 设备,由 FZB 形成数据码发送至无线基站,由无线基站转发给机车,这些数据包括各种线路限速、临时限速、目标速度、目标距离、线路参数等。列车收到信息后,车载计算机计算出当前的最大允许速度,在驾驶台上显示出来,并对列车运行速度进行监控。同时对列车重新定位,如果列车位置与收到的电码一致,则予以确认,否则进行修改。回执信息以不同频率,从机车向 GSM 传递。回执信息包括列车位置确认及其他列出参数。地面控制中心收到应答信息后,重新确定整个控制区段上所有运行列车的精确位置,给出新的命令信息,如此反复,每秒钟完成 14 次循环。

西门子开发的 FZB 系统主要特点是利用铁路沿线已有的无线移动通信网,建立车—地信息通道。FZB 保留了 LZB 系统的优点,由于传输频率更高,传输的信息量更大,同时又克服了 LZB 必须使用轨间电缆的缺点,是一种很有前景的列车控制系统。

5) 日本计算机和无线通信辅助列车运行控制系统(CARAT)

日本铁道技术研究所于 1987 年开始综合应用计算机和无线通信技术的新型计算机及无线通信辅助列车运行控制系统(CARAT)。CARAT 包括地面系统和车载系统两部分。地面系统分为地面监控系统和无线传输系统。地面监控系统由沿线设置的监控传感器或监控应答器构成,其任务是连续追踪和检测列车运行的位置和距离。无线传输的任务是列