



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书出版规划项目



轨道交通宽带移动通信系统理论与关键技术

Fundamental Theories and Key Technologies of Rail Traffic Broadband
Mobile Communication Systems

◎钟章队 主编

轨道交通宽带移动通信系统 物理层关键技术

Physical Layer Key Technologies of Rail Traffic Broadband
Mobile Communication Systems

◎许荣涛 王方刚 王公仆 著

北京交通大学出版社
<http://www.bjttup.com.cn>



“十二五”国家重点图书出版规划项目

轨道交通宽带移动通信系统理论与关键技术

钟章队 主编

轨道交通宽带移动通信系统 物理层关键技术

许荣涛 王方刚 王公仆 著

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书紧扣轨道交通宽带移动通信系统的发展,重点介绍了物理层关键技术及热点问题。首先,回顾了轨道交通移动通信系统的发展历史,介绍了铁路下一代移动通信长期演进系统物理层技术规范。其次,围绕物理层关键技术,深入阐述了无线信道参数估计理论和接收信号检测算法。最后,详细描述了轨道交通宽带移动通信中的中继通信与认知通信,并对未来移动通信技术进行了展望。

本书涵盖了轨道交通宽带移动通信系统物理层关键技术的发展现状、基础理论及未来技术展望,可供从事相关工作的研究者及工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

轨道交通宽带移动通信系统物理层关键技术/许荣涛,王方刚,王公仆著.
—北京:北京交通大学出版社,2018.4

(轨道交通宽带移动通信系统理论与关键技术/钟章队主编)

ISBN 978-7-5121-3448-5

I. ①轨… II. ①许… ②王… ③王… III. ①轨道交通-移动通信-宽带通信系统-研究 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 306508 号

轨道交通宽带移动通信系统物理层关键技术

GUIDAO JIAOTONG KUANDAI YIDONG TONGXIN XITONG WULICENG GUANJIAN JISHU

责任编辑:解 坤 助理编辑:陈可亮

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

<http://www.bjtu.cn>

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编:100044

印 刷 者:艺堂印刷(天津)有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:170 mm×240 mm 印张:15.5 字数:292 千字

版 次:2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-3448-5/TN·113

定 价:86.00 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。

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

铁路通信信号作为铁路系统的“千里眼、顺风耳”，保障了铁路系统的安全运营。通信系统为列车控制及列车调度提供了可靠传输，更是铁路系统不可或缺的重要组成部分。轨道交通移动通信系统伴随铁路信号系统的发展，目前已进入铁路数字移动通信系统（GSM-R）时代。GSM-R 是在 GSM 公众移动通信系统基础上增加了调度通信功能和适合高速环境下使用的要素，能够满足国际铁路联盟提出的铁路专用调度通信的需求。随着社会发展和科技进步，公众移动通信系统已经从第二代 GSM 系统演进至第四代移动通信系统（LTE），并且第五代移动通信系统正处于标准化预研阶段。根据国际铁路联盟发展规划，铁路移动通信系统的发展演进将跟随公众移动通信系统，未来铁路宽带移动通信系统将可能采用 LTE 关键技术及网络架构。

全书共 6 章，围绕铁路宽带移动通信系统标准规范，分三个部分对物理层关键技术做了较为详细的描述。第一部分对铁路移动通信系统进行了回顾，重点介绍了宽带移动通信系统物理层关键技术。第二部分围绕宽带移动通信系统物理层关键技术，深入阐述了无线信道参数估计理论和接收信号检测算法。第三部分详细描述了轨道交通宽带移动通信系统中的中继通信与认知通信，并对未来移动通信技术进行了展望。

本书由北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室编撰。其中，第 1 章、第 2 章由许荣涛编写；第 3 章、第 4 章由王公仆编写；第 5 章、第 6 章由王方刚编写。全书由许荣涛校稿，钟章队审定。



轨道交通宽带移动通信系统物理层关键技术

作者感谢在本书写作过程中提供大量帮助的同事和研究生，以及北京交通大学出版社解坤编辑的辛勤付出，他们促成了该书最终完稿。

仓促成书，难免有错误或疏漏，敬请读者提出批评和指正。

作者

2017年5月

北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室

目 录

第 1 章 轨道交通移动通信系统发展简介	1
1.1 GSM-R 简介	1
1.1.1 GSM-R 发展历史	1
1.1.2 GSM-R 技术和业务特点	3
1.2 LTE 简介	4
1.3 未来展望	10
1.4 本章小结	12
本章参考文献	13
第 2 章 宽带移动通信系统物理层关键技术	14
2.1 正交频分复用技术	14
2.1.1 OFDM 发展历史	14
2.1.2 OFDM 基本原理	15
2.1.3 IFFT/FFT 实现 OFDM 调制解调	19
2.1.4 保护间隔与循环前缀	19
2.1.5 OFDM 优缺点	21
2.2 多天线技术	25
2.2.1 概述	26
2.2.2 MIMO 三种技术	27
2.2.3 MIMO 系统模型	30
2.2.4 MIMO 技术在 LTE 中的实现	35
2.3 载波聚合技术	44
2.3.1 概述	44
2.3.2 载波聚合的提出	45
2.3.3 载波聚合技术	46



2.3.4 面临的挑战	54
2.3.5 小结	58
2.4 链路自适应技术	58
2.4.1 概述	58
2.4.2 AMC 技术	59
2.4.3 HARQ 技术	62
2.4.4 小结	67
2.5 LTE 物理层信号	67
2.5.1 主同步信号	67
2.5.2 SSS 辅同步信号	68
2.5.3 小区专用参考信号	69
2.5.4 广播信道	70
2.5.5 下行 L1/L2 控制信令	72
2.5.6 PDCCH 物理控制信道	76
本章参考文献	78
第3章 无线信道参数估计理论	87
3.1 无线信道	87
3.1.1 无线信道的特性	87
3.1.2 无线信道的类型	89
3.2 估计理论	94
3.2.1 最大似然估计	95
3.2.2 最小二乘估计	96
3.2.3 线性最小均方误差估计	97
3.2.4 时变信道估计	98
3.2.5 载波频率偏移与信道估计	99
3.2.6 叠加训练序列	100
本章参考文献	102
第4章 接收信号检测算法	104
4.1 噪声信道的数学模型	104
4.2 检测理论	106



4.2.1	MAP 检测	106
4.2.2	ML 检测	107
4.3	矢量信道及其检测	108
4.4	检测方法的决策域	109
4.5	检测方法的错误率	110
	本章参考文献	117
第 5 章	中继通信与认知通信	118
5.1	中继通信	118
5.1.1	中继通信优势	121
5.1.2	中继分类	123
5.1.3	中继通信中的关键技术	129
5.1.4	中继容量分析	138
5.1.5	中继在高速铁路中的应用	140
5.2	认知通信	141
5.2.1	认知无线电	142
5.2.2	认知无线电信号感知与识别	148
5.2.3	轨道交通移动通信系统中的认知无线电技术	160
5.3	本章小结	162
	本章参考文献	162
第 6 章	未来移动通信技术展望	163
6.1	新型多址技术	165
6.1.1	PDMA 技术概览	165
6.1.2	MUSA 技术概览	173
6.1.3	NOMA 技术概览	174
6.2	新型波形技术	184
6.2.1	FBMC 技术	184
6.2.2	UFMC 技术	194
6.3	新型调制技术	205
6.3.1	FQAM 技术	205
6.3.2	ZT DFT-S-OFDM 技术	209



6.3.3 空 CP 单载波技术	214
6.4 大规模天线技术	216
6.4.1 大规模 MIMO 的定义	216
6.4.2 大规模 MIMO 的优势	217
6.4.3 大规模 MIMO 的信道测量与建模	218
6.4.4 大规模 MIMO 天线的相关性与互耦性	220
6.4.5 大规模 MIMO 的信道估计	222
6.4.6 大规模 MIMO 的算法	225
6.4.7 小结	232
6.5 本章小结	232
本章参考文献	232

第 1 章 轨道交通移动通信系统 发展简介

公众移动通信系统的发展经历了第一代模拟移动通信系统，到第二代数字移动通信系统，直至第四代移动通信系统。为满足轨道交通的发展，铁路无线通信也经历了从模拟通信到数字通信的发展历程。在铁路综合数字移动通信系统（GSM-R）提出之前，全球铁路无线通信系统有无线列车调度电话、站场无线及各种单工通信系统、各种独立单工通信系统及集群移动通信系统，种类繁多且没有统一标准，难以满足现代铁路运输需要和铁路信息化。国际铁路联盟（UIC）在 1993 年提出以 GSM Phase 2+ 为标准的 GSM-R 技术，在 GSM 蜂窝移动通信系统基础上增加调度通信功能和适合高速环境下使用的要素，能满足国际铁路联盟提出的铁路专用调度通信的需求。如今，GSM-R 已成为国际铁路移动通信系统标准并服务于高速铁路、重载运输铁路、城际铁路等。随着无线通信技术的发展，现有的 GSM-R 系统需要演进以满足不断增加的铁路运输需求。国际铁路联盟于 2009 年正式提出开展下一代铁路移动通信的研究，并将长期演进系统（LTE）作为候选标准。

1.1 GSM-R 简介

1.1.1 GSM-R 发展历史

随着欧洲政治经济一体化，欧洲铁路网络也得到了迅速发展，欧盟成员国



都迫切想解决列车高速运行时语音数据的可靠性,以及跨国运行时自动列车控制系统的互操作兼容问题。起源于全球的移动通信系统 GSM 是世界上应用最广泛的第二代移动通信系统,国际铁路联盟经过充分调研,决定采用 GSM 技术作为欧洲铁路移动通信系统标准。欧洲铁路运输管理系统(ERTMS)是欧洲铁路通信信号一体化发展的重要项目,包括欧洲列车控制系统(ETCS)和欧洲铁路综合数字移动通信系统(GSM-R)。

GSM-R 是在 GSM 蜂窝系统上增加了调度通信功能和适用于高速环境下使用的要素,能满足国际铁路联盟提出的铁路专用移动通信的要求。由于 GSM-R 可实现跨越国界的高速列车和一般列车之间的通信,能将现有的铁路通信应用融合到单一网络平台中,以减少集成和运行费用,而且 GSM-R 是由已标准化的设备改进二层, GSM 平台上已提供了大量的业务。因而引入铁路专用的功能时,只需最低限度的改动,就能保证价格低廉、性能可靠地实现和运行。在 GSM Phase 2+中添加了 ASCI(高级语音呼叫业务)特性,能灵活地提供专网中所需的语音调度服务,以及 VBS(语音广播业务)、VGCS(语音组呼业务)和 eMLPP(增强多优先级与强拆业务)。因此 GSM-R 将从广阔的 GSM 公网市场和 GSM-R 技术的不断演进中获益,具有巨大发展空间。

GSM-R 的发展大致分为 3 个阶段。

(1) 标准制定阶段:1993 年国际铁路联盟(UIC)与欧洲电信标准化协会(ETSI)协商,提出欧洲各国铁路下一代无线通信以 GSM-R Phase 2+为标准的 GSM-R 技术,这一提议在 1995 年经 UIC 评估并最终确认。之后, UIC 展开了一系列的标准制定和测试工作。首先, UIC 建立了标准组织 EIRENE(欧洲铁路无线增强网络),制定了一系列的铁路需求规范,涉及范围包括业务功能、调度台车载台需求、电磁环境等各项指标。

(2) GSM-R 系统试验阶段:1997 年,24 个国家的 32 个铁路组织签署了 GSM-R 谅解备忘录,签字的铁路组织至少要将 GSM-R 用于过境铁路运输通信。同年,为了验证 GSM-R 系统的可靠性、兼容性等指标, UIC 还成立了另外一个专门组织 MORANE,它的主要成员包括铁路运营商、GSM-R 制造商和研究机构。MORANE 的项目重点放在测量高速环境 GSM-R 特性上。从 1997 年至 2000 年, MORANE 分别在法国、意大利、德国的高速线上开展了 3 个试验项目,对 GSM-R 系统进行了严格的测试。在进行测试的同时, MORANE 还



制定了一系列技术标准用来规范一些主要流程和设备接口,从而保证将来 GSM-R 系统在各过程中不仅要设备兼容,而且还要终端兼容、业务兼容。

(3) GSM-R 工程实施阶段:1999 年第一个 GSM-R 网络在连接瑞典到丹麦的 Oresund 大桥建成并投入运营。Oresund 大桥铁路线属于瑞典 SIR/Banverket 全国铁路工程的一部分。随后,瑞士、德国、荷兰、法国、西班牙、匈牙利等国相继建设了自己的 GSM-R 系统。

2003 年,经过深入调研和广泛征询意见,铁道部正式决定采用 GSM-R 作为我国铁路移动通信系统标准,并于 2003 年开始建设青藏铁路、大秦铁路、胶济铁路 GSM-R 试验线,测试和验证 GSM-R 系统的可靠性和可行性。

1.1.2 GSM-R 技术和业务特点

GSM-R 技术特点在铁路通信特殊需求引起的网络结构和规划上与 GSM 系统有所区别,来自铁路网的特殊要求主要有:

- (1) 高达 200~500 km/h 速度下的无缝通信;
- (2) 有限频点数(例如 20 个)的有效利用;
- (3) 载干比(C/I)至少 12 dB;
- (4) 高 QoS 指标要求;
- (5) 隧道内的覆盖等。

同时, GSM-R 需要支持一些铁路特殊的业务:

(1) 功能寻址。允许主叫用户利用功能号码来识别功能和应用。功能号码识别的是用户使用的功能,而不是用户终端的号码。

(2) 基于位置的寻址。基于位置的寻址采用两种方式,即基于小区的路由及使用来自外部资源的位置信息。来自外部资源的位置信息可以由地面系统(轨道电路或 GSM-R 网络内部的位置系统)或车载系统(如查询应答器、读取器、GPS 等)提供。

(3) 铁路紧急呼叫。铁路紧急呼叫是指具有“铁路紧急优先级”的呼叫,用于通知司机、调度员和其他处于危险级别的相关人员,要求停止在预先指定地区内的所有铁路活动。所有铁路紧急呼叫都应符合 GSM 语音组呼规范。

(4) 调车作业。调车作业是指提供一种有效的通信方法,保持与调车作



业操作有关组成员之间的通信。在调车作业的过程中会采用组呼、闭合用户组等功能。

GSM-R 是铁路专用移动通信系统, 具有集群调度业务与功能, 具体包括:

(1) 增强多优先级与强拆业务 (eMLPP)。开展 eMLPP 补充业务的目的是给用户不同的优先级水平, 使得在呼叫建立期间和越区切换期间, 系统根据优先级水平对网络资源进行处理。另外, 设定优先级别的另一个目的是能够让高优先级的呼叫抢断正在进行的低优先级呼叫。优先级别在呼叫建立期间设定给被呼叫方。eMLPP 业务的适用范围由网络运营商决定, 可以是整个网络, 也可以仅是网络的一部分。在业务适用范围内, 该业务对所有网络资源和所有移动台均有效。如果漫游网络也支持 eMLPP 业务, 则移动台在漫游网络内仍然可以使用此业务。

(2) 语音组呼业务 (VGCS)。VGCS 是 voice group call service 的缩写, 即语音组呼业务, 又简称组呼, 它是一种电信业务。组呼定义了一种由多方参加 (GSM 移动台或固网电话), 其中一部分人可以讲话、多方聆听的点对多点语音通信方式。VGCS 用一个组功能码 (组 ID) 就能呼叫到所有该组的成员, 参与同一个 VGCS 通信的移动用户可以分布在多个蜂窝小区内。另外, VGCS 还支持业务用户实现讲者和听者身份之间的转变。VGCS 突破了点对点通信的局限性, 能够以简捷的方式建立组呼叫, 实现调度指挥、紧急通知等特定功能, 尤其适用于铁路的行车指挥调度部门。

(3) 语音广播业务 (VBS)。VBS 的英文全称是 voice broadcast service, 即语音广播业务。VBS 允许建立点对多点的单向语音呼叫连接。业务用户或调度用户在预定义的地理区域发起广播呼叫。当建立了呼叫之后, 位于服务区域的签约业务用户组就能够聆听语音广播。另外, 除了发起广播的调度用户, 最多还可以存在 5 个 ISDN 固定用户或移动调度员可以连接到一个广播呼叫上, 但若他们不是发起者就没有讲话的权利。

1.2 LTE 简介

国际电信联盟 1992 年第一次讨论了使用独特的数字移动通信系统服务,



即列车无线通信和列车自动控制的构想。1999年,大部分欧洲铁路组织都接受了 GSM-R,签署了谅解备忘录,将 GSM-R 作为一项新技术引进整个欧洲。所有欧洲国家都考虑将 GSM-R 作为铁路移动通信系统。2008年,根据法国的速度记录实验结果, GSM-R 可以在 500 km/h 的环境下工作。已经明确证明, GSM-R 不仅是欧洲铁路运输管理系统 (European Railway Train Management System, ERTMS) 的重要组成部分,也成为新的国际铁路数字移动通信系统,因此得以快速部署及扩展。

数字移动通信时代也为铁路系统带来了新的维护理念,软件和硬件都需维护。甚至可能在购买后不到十年内,该系统的组成部分就停止支持。由于基于 GSM, GSM-R 应当遵循 GSM 的发展趋势,因此应当遵循公众移动通信演进。

关于公众移动通信系统,截至 2015 年 4 月 9 日,全球共部署了 393 张 LTE 商用网络,覆盖 128 个国家。其中,54 家运营商在 34 个国家部署了 TD-LTE 商用网络,占总网络数的 1/8 以上。全球 LTE 商用网络部署的推进速度仍在不断加快。全球 181 个国家的 644 家运营商正在投资建设 LTE 网络。仅 2014 年一年全球就部署了 107 张 LTE 网络。

公众移动通信运营商对标准化及产品发展产生了巨大的影响。此外,公众移动通信运营商还提供了一个巨大的业务用户市场。考虑到这些情况,铁路组织必须思考未来铁路移动通信系统,以在公众的巨大市场里从技术进步获益,而不必要求铁路市场长期使用“旧”技术,这会在将来付出极大的代价。国际铁路联盟现在不建议延缓任何网络的铺设,也不建议等待任何未来长期的移动通信技术,因为无论是标准化工作还是必要的试验,目前都还没有完成。相反,为了在未来移动通信技术的标准化进程中引进铁路系统的需求,国际铁路联盟强烈建议尽快决定参与 3GPP 的工作。3GPP 框架中明确了新技术标准:无线网络采用 LTE,核心网架构为 SAE。

LTE 中采用的一些新技术对于铁路无线通信具有重大意义,这些新技术包括以下内容。

(1) GSM-R 的现有技术基于时分复用 (TDMA) 和频分复用 (FDMA) 无线接入原理及高斯最小频移键控 (GMSK) 的调制方式。为了提高频谱利用率、网络容量和所支持的数据传输速率,同时为了提高实时性,未来移动通信



系统将使用新的技术。LTE 将在下行链路使用多载波无线接入技术，即正交频分多址接入（OFDMA）；上行链路使用单载波 FDMA（SC-FDMA）。LTE 系统上下行均采用正交相移键控（QPSK）和正交振幅调制（QAM）（16 或 64）的调制方式。新的移动通信技术提高了频谱利用率、网络容量，增强了对高数据传输速率和实时性的支持能力。

(2) LTE 可以对变化的电波传播环境迅速做出反应。最小传输时间间隔（TTI）规定只有 1 ms。TTI 与更高的网络层传送到无线链路层（RLC）的数据块大小有关。基于自适应编码和调制方案，短 TTI 值可进行快速率控制。LTE 的传输原则是在良好的信道条件下将数据传送给用户。RLC 协议层向介质访问控制（MAC）协议层每个传输块提供一个分组数据单元（PDU）。RLC 提供以下主要功能：带有 ARQ 自动重传请求的重传、分段、重分段、级联。有趣的是，由于 TTI 很短，甚至实时业务如 VoIP 也要考虑 ARQ 重传。基于低 TTI 值，新的移动通信技术支持非常快的调制适应性及短的往返时间（RTT）。短 RTT 在实时业务，如 VoIP 中，是必需的。

(3) LTE 使用新的天线技术。多输入多输出（MIMO）指的是使用多根发射天线和多根接收天线及多路信号处理的方法，以增强信号质量，提高数据传输率。波束成形可以避免及抵消干扰。空分复用接入（SDMA）是一种在不同空间支持频率重用的无线接入原则。MIMO、波束成形及 SDMA 可在共同的技术基础上实现。新的移动通信技术支持新的天线技术，并提供新的信号处理方法。

(4) LTE/SAE 使自组织成为可能，提供了自配置和自优化。自配置将给铁路移动通信网络运营商带来优势，例如，以衰落的电波传播的补偿机制和无线接入网的接收节点（自愈）机制。当检测到一个衰落的或者是新的电波传播及无线接入网的接收节点后，自配置的特性使无线接入网进行重配置。自优化可以使铁路移动通信网络运营商从服务质量（QoS）的角度来优化其移动通信系统，并在相同的地区及频率范围内使其无线通信系统同其他无线通信系统“和平共处”。不过，必须进行研究和测试，以确保满足所有的操作需求。

(5) 新技术将提供软件无线电（SDR）功能。SDR 很灵活，无线参数可以根据当前采用的无线技术来改变、修正、适应、优化。



现在还不能排除从长远来看, 3GPP 将不会充分支持及维护当前技术标准, 如 GSM Phase 2+。不过, 至少到最后交付期限中期, 供应商会提供支持。转向 LTE/SAE 的变迁方面, 必须考虑到现有的 GSM-R 网络系统技术及可能的过渡移动通信系统技术。这种过渡系统可能在中期 (2012—2020 年) 会成为必需品, 作为一些 GSM-R 运营商不得不转换它们一些现有的 GSM-R 的子系统, 也就是在预期的 2015 或 2016 年时间点之前, 一个成熟的 LTE/SAE 的系统可以支持所有的铁路需要, 可以准备用于铁路。

从变迁方面的技术角度考虑, 包括现有的和未来的移动台、控制器终端、核心传输功能、核心网功能及无线接入网络的功能, 一个可能的变迁模型包括以下几个阶段。

第一阶段 (现有的): 第一阶段是以基于 3GPP Rel-99 架构的 GSM-R 为特点。因为在图 1-1 中, 简单的 GPRS 没有考虑在内。

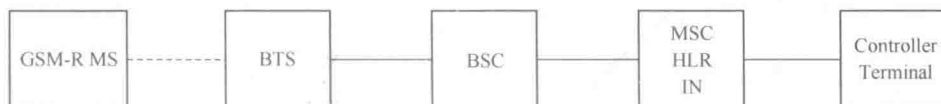


图 1-1 第一阶段的变迁概述

第二阶段 (中级阶段, 2012—2020 年): 在第二阶段中, 核心网络的功能及传输网络/连接功能是基于 IP 技术的。该系统的体系结构符合基于 3GPP Rel-4 (BICN) 的 GERAN。MSCs 被 MSC 服务器和 MGW 取代 (见图 1-2)。控制器终端 (包括所需要的传输链路/网络) 支持 IP / VoIP 服务。MSs 的交换是没有必要的, 因为在图 1-2 中, 简单的 GPRS 没有考虑在内。

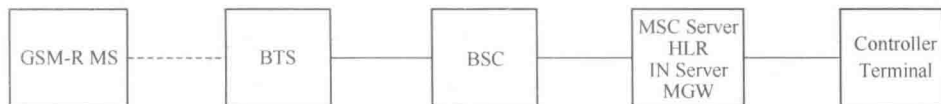


图 1-2 第二阶段的变迁概述

仍然有必要弄清楚是否有任何规范空白, 了解基于 IP 的核心功能和 IP 传输网络/连接功能的 EIRENE 特征 (包括 QoS)。无线接入子系统和移动台在中期的交换应该提供和支持 SDR 技术和多模式技术, 以便做好第三阶段的准备。在 MSC 和 BSC 之间的可选择连接, 可以通过一个 IP 连接实现。MGW (媒体



网关) 可以设在 BSC 的位置。在这种情况下, 连接的第一部分倾向于一个可能基于 IP 的基站。基于 IP 的 A 接口 (在 MSC 和 BSC 之间) 在 3GPP Rel-8 中标准化。理想情况下, MSC 服务器应该升级到 IMS, 以便为第三阶段做好准备。

第三阶段 (长期阶段, 2020 年之后): 第三阶段需要替换现有的 GSM-R 无线接入网络 (GERAN→E-UTRAN) 和 GSM-R 核心网络系统, 以及以 EPC 为目标的核心网络及移动台。所有被更换的子系统 (见图 1.3) 至少要基于 3GPP Rel-8/9。核心网络功能和传输网络/连接功能已经适应自第二阶段的 IP 技术。在第三阶段, MSC 服务器功能将由 IMS 接管。与图 1-1 和图 1-2 类似, GPRS 在图 1-3 中也不被包括。



图 1-3 第三阶段的变迁概述

SDR/多模无线接入子系统、SDR/多模移动台和一个可升级的 MSC 服务器 (到 IMS) 作为变迁第二阶段的部分将使第三阶段的实现简化。如前所述, 特别是在 E-UTRAN 实施的开始, 仅在分散位置覆盖的话, LTE 的服务是最需要的。应该值得注意的是, LTE 系统可以提供在 E-UTRAN 和 GERAN (这里指 GSM-R) 之间的话音呼叫 (软) 切换, 为移动台支持基于 LTE/SAE 的和 GSM-R 的铁路特征。GSM-R 专用的 MSs 在 LTE/SAE 系统中不能工作。因此, 必须在基于无线接入网络的 GERAN 被 LTE 替换之前, 把现有的 MSs 替换成多模/SDR MSs。

没有中间的第二阶段, 第三阶段 (LTE/SAE 的阶段) 的推出也是可行的, 可以直接变迁到第三阶段, 而不用强迫转换到中期的 GSM-R 子系统。如果一个 GSM-R 网络运营商打算尽早地引进 LTE/SAE 技术, 而此时 LTE/SAE 尚未充分开发和验证有关铁路功能 (例如在 2015 或 2016 年之前), 那么第三阶段会分成 3a 阶段和 3b 阶段。在 3a 阶段, 非安全数据传输通过 LTE/SAE (PS) 传输, 而 GSM-R 系统 (CS) 仍然保留, 以传输 ETCS 数据和话音 (包括 VGCS 及 VBS)。ETCS 及话音服务 (点对点 and 点对多点) 通过 LTE/SAE (见图 1-4) 的传输并不早于 3b 阶段。