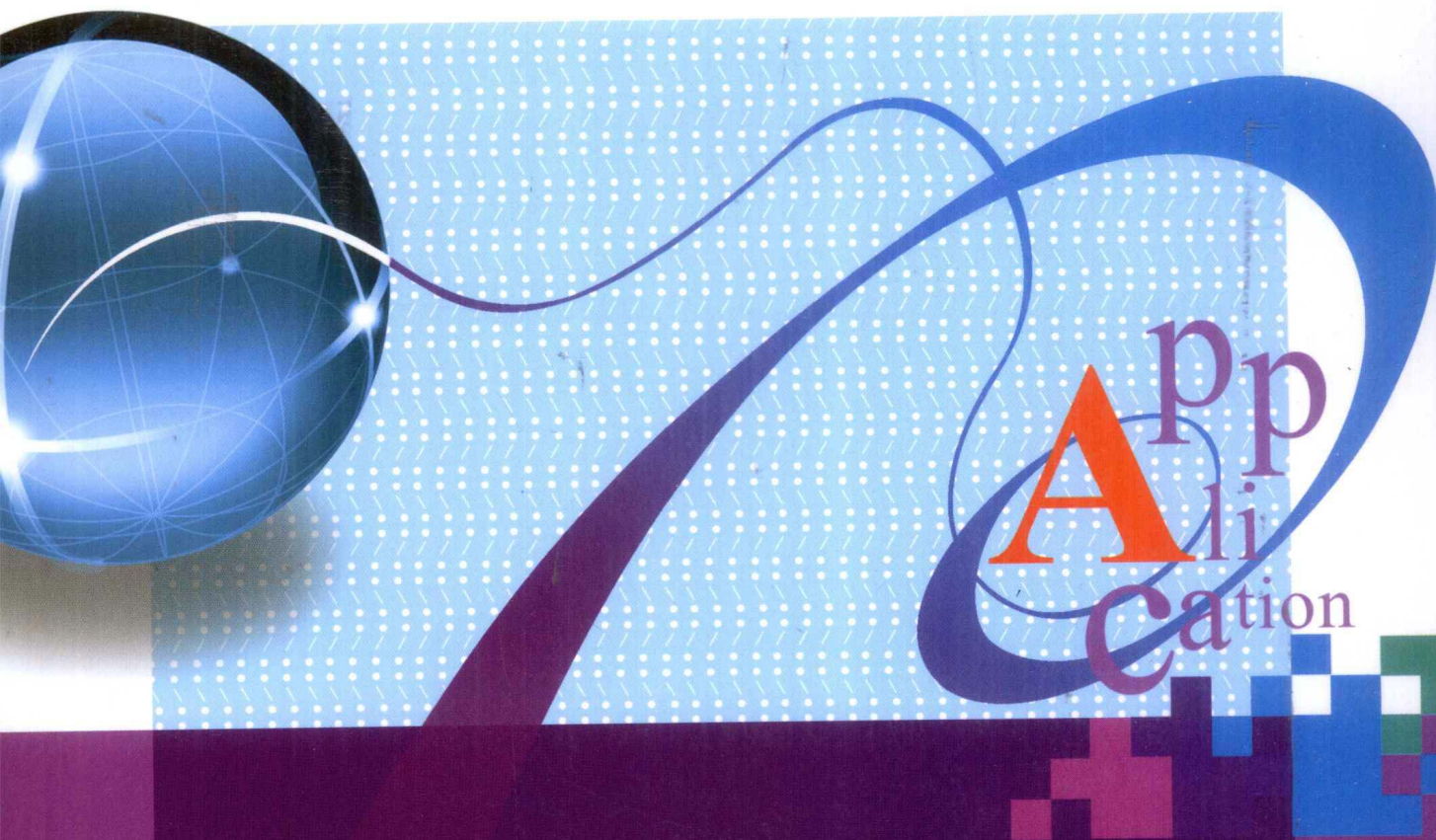


► 21世纪通信网络技术丛书



网络通信与工程应用系列

TD-SCDMA/HSPA

无线网络优化原理与实践

于伟峰 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

21 世纪通信网络技术丛书
——网络通信与工程应用系列

TD-SCDMA/HSPA 无线网络优化原理与实践

于伟峰 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

出版说明

为了促进和推动我国通信产业的发展,迎合国家在 21 世纪的中长期信息通信技术的发展规划,电子工业出版社通信出版分社特策划了一套《21 世纪通信网络技术丛书》。这套丛书根据不同的技术应用层面,又细分为 4 个系列:《移动通信前沿技术系列》、《3GPP LTE 无线通信新技术系列》、《物联网技术与应用开发系列》和《网络通信与工程应用系列》。

《移动通信前沿技术系列》以移动通信技术(3G 技术)的应用现状与发展情况为导向,结合新一代移动宽带系统(4G 技术)的逐步建立,全面介绍当今移动通信领域涉及的前沿关键技术与热点技术,以理论创新和技术突破为主。

《3GPP LTE 无线通信新技术系列》以 TD-LTE、WCDMA-LTE、cdma2000-LTE、WiMAX-LTE 的新技术与新标准为主攻方向,以 3GPP 中 LTE 标准的关键技术在无线、宽带、高速、资源中的有效管理和实现为主。LTE 作为无线通信技术的一个重要的长期演进计划,代表了国内外无线通信领域的最新发展需求和解决方案。以新一代移动宽带通信技术为主。

《物联网技术与应用开发系列》以下一代 ICT(信息通信技术)产业的新增长点之一——物联网作为主攻方向。将物联网技术与应用开发单独列为一个系列主要是从无处不在的应用广泛性和无所不能的移动互联网对人们生活和工作的深刻影响而构建的。物联网是互联网的自然延伸,以 IP 技术为核心,是一种架构在基于 IPv4/IPv6 的各种网络上的综合应用和通信能力。根据它的 4 个层面——感知、传输、处理和应用,通过技术与应用开发的紧密结合去推动物联网工程应用的进一步发展。以物联网技术开发应用为主。

《网络通信与工程应用系列》是以构建网络的体系结构、标准、协议为目标所开展的现代无线、移动、宽带通信网络的规划与优化,以及结合工程应用的成功案例所提出来的。以移动通信网络工程应用为主。

为了提升本套丛书的影响力,依托各高等院校在通信领域从事科研、教学、工程、管理的具有丰富的理论与实践经验的专家、教授;各科研院所的研究员;国内有一定规模和研发实力的科技公司的一线研发人员,以及国外知名研究实验室的专家、学者等组成编写和翻译队伍,力求实现内容的先进性、实用性和系统性;力求内容组织循序渐进、深入浅出;理论阐述概念清晰、层次分明、经典实例源于实践;力求很强的可读性和可操作性。

本套丛书的主要读者对象是广大从事通信网络技术工作的各科研院所和公司的广大工程技术人员;各高等院校的专业教师和研究生;刚走上工作岗位的大学毕业生;以及与此相关的其他学科的技术人员,供他们阅读和参考。

本套丛书从 2008 年上半年开始陆续推出,希望广大读者能关注它,多对本套丛书提出宝贵意见与建议,欢迎通过电子邮箱 wchn@phei.com.cn 进行探讨、交流和指正,以便今后为广大读者奉献更多、更好的优秀通信技术类图书。

电子工业出版社
通信出版分社

前 言

TD-SCDMA 是第三代移动通信系统的主流标准之一。自 2007 年中国移动集团启动 TD-SCDMA 网络第一期招标以来,其网络规模不断扩大,各种针对网络优化的新思路、新技术不断涌现:系统间互操作方面的三新规范、Iur-g+、共 LAC、精确寻呼、准 FR 等;RRM 算法方面有 TFFR 算法、MDIC 算法等。这些新技术和新思路体现了中国移动和各设备商的集体智慧。本书编写的目的之一就是希望能将这些新算法和新思路的背景、原理,以及对网络优化的影响进行阐述。

对于 TD-SCDMA 系统的基本原理,业内已经有很多作品问世,因此并不是本书的描述重点。作者在编写本书的过程中,更加倾向于以下方面的内容。

首先是信令分析。作者在 TD-SCDMA 的优化、培训、技术应答工作中得到的一个深刻体会就是,信令通信系统交互的“语言”是了解和学习一个系统的最佳线索。对信令的分析,首先需要了解信令解码,并能将信令体系与其他关键技术有机地串联起来,形成一套完整的知识体系。资深的网络优化工程师往往通过对信令解码的分析即可判断网络问题的成因,甚至可以逆向分析当前网络的算法参数配置情况。本书在接入优化、切换优化等章节中,均对信令解码进行了详细的描述,并试图将信令体系与功控、算法、信道配置等知识点联系起来,希望能够为网络优化入门者提供参考,并抛砖引玉。

其次是分层优化的概念。数据业务是无线网络应用的大趋势,对于数据业务而言,网络的分层优化是目前业内关注的热点之一,其目标是在优化过程中充分考虑物理层、MAC 层、RLC 层、TCP 层、应用层之间的相互作用与影响,达到最佳的折中与平衡。本书的章节安排也绕开了对系统原理的阐述,直接从网络分层的角度切入:物理层、数据链路层、RRC 层、TCP 层、应用层,基本上是每章一“层”。

第 1 章对网络优化的理念进行了概述,包括网络优化的目标、网络优化人员需要具备的知识体系、网络优化流程、常用网络优化工具等。本章阐述的一个重要理念是,网络优化是一种追求折中与平衡的过程。第 2 章主要介绍网络 KPI 和 QoE。KPI 是评估网络质量、网络优化水平的重要考核标准,本章对 TD-SCDMA 网络的无线网络 KPI 的定义、统计意义以及缺陷都做了描述;QoE 是近几年逐步得到重视的一个概念,它能在很大程度上体现运营商所关注的“用户感知”,本章也对 QoE 的基本概念做了介绍。第 3 章重点描述了物理层的射频优化,并与射频优化相关的功率、功控参数配置、PCCPCH 信道的系统信息块等内容也一并纳入。第 4 章介绍了数据链路层的优化。第 5 章介绍了 RRM 算法的优化,包括 RRM 算法体系,以及各个模块之间的相互作用、RRM 算法的创新等。第 6 章介绍了 TCP 协议的基本原理,包括 TCP 的确认机制、序号机制、超时与重传、慢启动与拥塞避免,并重点介绍了移动通信网络中的 TCP 优化。第 7 章从应用层的角度对用户的行为进行了分析,并提出了针对应用层的优化手段。第 8 章至第 14 章则将重点转向专题优化,包括接入优化、切换优化、HSDPA、HSUPA、HSPA+的优化,以及特殊场景的优化。

本书在编写过程中得到了很多同事和朋友的帮助。我的同事陈静、严玉平博士、高杰复、周仁贵为本书提供了很多建设性的意见和指导,没有他们的支持,本书难以完成;此外,普

天信息技术研究院网规网优部经理李晓坪在本书编写过程中提供了一贯的支持，我的同事杨棠也为本书的内容提出了很多好的意见和建议，并帮我构思和编排了很多原理图，在此一并表示感谢。

由于 TD-SCDMA 系统的建设和优化仍处于不断完善的过程中，很多技术与思路也处于不断地演进过程中，加上时间仓促，本书的内容难免会出现一些错误和不妥之处，还请读者和业内同行批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 网络优化概述	1
1.1 网络优化的目标	1
1.2 对网络优化人员的技能要求	2
1.3 网络优化的流程	4
1.3.1 网络开通优化	4
1.3.2 日常维护优化	6
1.4 网络优化工具的应用	6
1.4.1 路测软件及后台分析软件	6
1.4.2 KPI 报表	7
1.4.3 网络规划软件	7
1.4.4 扫频仪	9
1.4.5 Call Trace 工具	10
1.4.6 MR 分析工具	12
1.4.7 TCP/IP 嗅探工具	13
1.5 从“分层”的角度理解网络优化	13
第 2 章 无线网络 KPI 与 QoE	16
2.1 无线网络 KPI	16
2.1.1 呼叫建立特性	16
2.1.2 呼叫保持特性	17
2.1.3 移动性管理	19
2.1.4 系统资源	24
2.1.5 KPI 体系的局限性	24
2.2 QoE 与客户感知	25
第 3 章 物理层：射频优化基础	27
3.1 时隙结构对网络优化的影响	28
3.1.1 帧结构	28
3.1.2 时隙结构	30
3.2 核心资源是频点	32
3.2.1 频点资源的重要性	32
3.2.2 频率的规划与优化	32
3.3 公共信道配置	34
3.3.1 PCCPCH	34
3.3.2 系统信息块	34
3.3.3 SCCPCH	46
3.3.4 PICH	47

3.3.5	寻呼能力估算	48
3.3.6	FPACH	49
3.3.7	PRACH	50
3.4	R4 的功率控制	50
3.4.1	开环功控	51
3.4.2	闭环功控	55
3.5	射频优化中的常见问题	57
3.5.1	覆盖问题	57
3.5.2	干扰问题	63
3.6	产品形态与射频解决方案	65
第 4 章	数据链路层: ARQ 与 HARQ	69
4.1	概述	69
4.2	链路层功能简介	69
4.3	RLC 层的 ARQ 机制	71
4.3.1	RLC 层的 3 种模式浅说	71
4.3.2	确认模式的工作原理	72
4.4	MAC 层 HARQ	76
4.4.1	MAC 层介绍	76
4.4.2	MAC 层 HARQ 的工作原理	80
4.5	HSPA+ 的层 2 增强技术	85
第 5 章	RRC 层: RRM 参数优化	86
5.1	RRM 的作用和意义	86
5.2	接纳控制	88
5.2.1	接纳控制算法的关键特性	88
5.2.2	接纳判决算法的应用场景	93
5.3	DCA	97
5.3.1	慢速 DCA	97
5.3.2	快速 DCA	98
5.4	干扰抑制算法	98
5.4.1	代价与增益之间的平衡	98
5.4.2	内/外圈干扰隔离算法	99
5.4.3	多小区下行干扰协同评估算法	100
5.5	测量控制	101
5.6	切换控制	102
5.6.1	切换测量	102
5.6.2	切换判决	105
5.6.3	切换执行	105
5.7	负载控制	105
5.8	功率控制	106

5.9	分组调度与多协议状态	107
5.9.1	分组调度	107
5.9.2	多协议状态	110
5.10	深度包检测技术	111
第 6 章	TCP 层：无线通信中的 TCP	112
6.1	TCP 原理简介	112
6.1.1	TCP 数据报格式	112
6.1.2	TCP 连接的建立和终止	114
6.1.3	确认机制和序号机制	115
6.1.4	TCP 的超时与重传	117
6.1.5	慢启动与拥塞避免	120
6.2	无线通信中的 TCP	122
6.2.1	空口丢包与 TCP 慢启动	122
6.2.2	RTT 与 BDP 的概念	122
6.2.3	无线网络中的 TCP 优化	123
6.2.4	对 TCP 协议的改进	127
6.2.5	TCP Proxy	129
6.3	Wireshark 抓包入门	130
第 7 章	应用层：用户行为分析	135
7.1	概述	135
7.2	HTTP	135
7.3	FTP	138
7.4	P2P 下载	140
7.5	流媒体	141
7.5.1	RealSystem	142
7.5.2	Flash	142
7.5.3	PPStream	143
7.5.4	移动流媒体存在的主要问题	145
7.6	应用层的优化	145
第 8 章	接入优化	147
8.1	信令流程概述	147
8.1.1	CS 业务	147
8.1.2	PS 业务	154
8.2	工程实例详解	155
8.2.1	典型 CS 业务接入流程	155
8.2.2	典型 PS 业务接入流程	177
8.3	接入问题分析思路	186
8.3.1	影响接入时延的因素	186

8.3.2	常见的接入失败原因	189
8.3.3	问题解决思路	190
第 9 章	重选与切换优化	193
9.1	小区选择	193
9.2	系统内重选	194
9.3	系统间重选	195
9.3.1	TD-SCDMA 重选至 GSM	195
9.3.2	GSM 重选至 TD-SCDMA	196
9.3.3	降低重选时延的方案	198
9.4	TD-SCDMA 系统中的切换技术	200
9.5	切换测量事件分类	201
9.6	切换信令流程概述	202
9.6.1	RNC 内硬切换	202
9.6.2	RNC 内接力切换	205
9.6.3	RNC 间重定位	207
9.6.4	系统间切换	211
9.7	工程实例详解	217
9.8	切换问题分析思路	232
9.8.1	常见的切换失败原因	232
9.8.2	问题解决思路	237
第 10 章	HSDPA 的优化	238
10.1	概述	238
10.2	HSDPA 信道配置	240
10.2.1	HS-SCCH	240
10.2.2	HS-PDSCH	241
10.2.3	HS-SICH	241
10.2.4	伴随 DPCH	242
10.2.5	各信道的相互配合	242
10.3	HSDPA 功率控制	242
10.3.1	HS-SCCH	242
10.3.2	HS-SICH	243
10.3.3	HS-PDSCH	244
10.4	典型业务流程	244
10.4.1	RB 建立	244
10.4.2	DCH 切换至 HSDPA	244
10.4.3	HSDPA 切换至 DCH	246
10.5	AMC 优化	246
10.5.1	AMC 原理	246
10.5.2	AMC 优化	248

10.6	HARQ	251
10.6.1	HARQ 算法原理	251
10.6.2	HARQ 算法优化的考虑	253
10.7	快速分组调度	256
10.7.1	快速分组调度算法原理	256
10.7.2	调度算法优化上的考虑	257
10.8	HSDPA 流量控制算法	260
10.8.1	流控算法原理	260
10.8.2	流控算法优化的基本原则	265
10.9	HSDPA 分层优化	267
10.9.1	终端相关核查	268
10.9.2	空口质量检查	270
10.9.3	RLC 层的问题	272
10.9.4	MAC 层的问题	277
10.9.5	TCP 层的问题	280
10.9.6	总结	289
第 11 章	HSUPA 优化	291
11.1	概述	291
11.2	HSUPA 新增信道	291
11.2.1	E-PUCH 信道	291
11.2.2	E-AGCH 信道	292
11.2.3	E-HICH 信道	293
11.2.4	E-RUCCH 信道	294
11.3	HSUPA 功率控制	295
11.3.1	E-PUCH 信道	295
11.3.2	E-AGCH 信道	301
11.3.3	E-RUCCH 信道	302
11.3.4	E-HICH 信道	302
11.4	HSUPA 的典型业务流程	303
11.4.1	调度与非调度	303
11.4.2	非调度业务建立流程	304
11.4.3	调度业务建立流程	305
11.4.4	切换流程	306
11.5	AMC	307
11.6	HARQ	309
11.7	HSUPA 调度算法	311
11.7.1	调度算法原理	311
11.7.2	调度算法优化	313
11.8	HSUPA 端到端分析	315
11.8.1	终端侧核查	316

11.8.2	空口质量检查	316
11.8.3	MAC 层速率检查	317
11.8.4	RLC 层检查	317
11.8.5	TCP/IP 层检查	318
第 12 章	HSPA+优化	320
12.1	概述	320
12.2	层 2 增强技术	320
12.3	CPC	323
12.3.1	背景和目的	323
12.3.2	HS-SCCH-Less 机制	325
12.3.3	E-AGCH-Less 机制	326
12.3.4	Cell_DCH 下控制信道的 DRX 接收	326
12.3.5	反馈、功控和同步	328
12.3.6	非调度传输	329
12.4	E-FACH	330
12.4.1	背景和目的	330
12.4.2	增强的用户业务传输	331
12.4.3	Node B 发起上行同步建立	332
12.4.4	增强的 CCCH 控制信令传输	332
12.4.5	增强的 BCCH 接收	333
12.4.6	增强的寻呼过程	334
12.4.7	Cell_PCH 到 Cell_FACH 的状态自动转换	335
12.4.8	Cell_FACH 下控制信道的 DRX 接收	336
12.5	64QAM	338
12.6	MIMO	338
第 13 章	室内分布设计与优化	339
13.1	分布系统分类	339
13.2	室内分布系统设计总体原则	340
13.3	场强与覆盖半径估算	340
13.3.1	边缘场强估算	341
13.3.2	覆盖半径推导	341
13.4	室内分布系统组成	342
13.4.1	室内分布系统信源选取	342
13.4.2	天线	343
13.4.3	功分器	346
13.4.4	耦合器	347
13.4.5	合路器	348
13.4.6	衰减器	349
13.4.7	负载	349

13.4.8	同轴电缆	350
13.4.9	泄漏电缆	351
13.4.10	干线放大器	351
13.5	功率分配	352
13.5.1	功率分配方法	352
13.5.2	多系统共存功率分配方法	352
13.6	切换区域设计	353
13.6.1	建筑物出、入口处切换区域设置	353
13.6.2	建筑物内部切换区域设置	353
13.6.3	高层小区切换区域设置	353
13.6.4	电梯切换区域设置	354
13.6.5	居民小区切换区域设置	354
13.7	室内信号外泄控制	355
13.7.1	室内信号的外泄指标要求	355
13.7.2	室内信号外泄控制的目的	355
13.7.3	室内信号外泄原因及控制方法	355
13.8	TD-SCDMA 室内分布系统改造方案	356
13.8.1	改造原则	356
13.8.2	改造方案	356
13.9	室内覆盖增强方案	359
13.9.1	基于多通道的干扰分离及覆盖增强技术	359
13.9.2	空分复用在室内覆盖中的应用	361
13.9.3	双通道	363
13.9.4	基于 CATV 的接入方案	365
13.9.5	基于 Femtocell 的室内覆盖技术	366
第 14 章	特殊场景解决方案	369
14.1	高速铁路	369
14.1.1	高速环境对物理层的影响	369
14.1.2	针对高速场景的算法	370
14.1.3	高速环境网络优化	372
14.2	超远距离覆盖	372
14.2.1	站址高度对覆盖距离的影响	372
14.2.2	时隙结构对覆盖距离的影响	372
14.2.3	优化措施	373
参考文献		374

第 1 章 网络优化概述

移动通信网络提供空中接口的信息传送管道，网络规划设计了这条管道的布局，网络优化就是在一定的成本范围内，通过各种手段，使已建成的管道符合不断变化的需求。网络优化是理论和实践不断迭代的过程，优化工程师通过理论来指导实践，并通过实践来不断修正对理论的理解。网络优化贯穿了网络的整个生命周期，是一项长期的，循序渐进的工作。

1.1 网络优化的目标

无论是从技术层面，还是从非技术层面看，都可以认为网络优化是一种折中和平衡的过程。从技术层面来讲：很多问题往往并没有十全十美的解决方案，为解决某一方面的问题，往往需要在另一方面有所牺牲。例如，为了提高接通率而更改某个定时器，在解决接通率问题的同时，可能会使平均接入时延有所提高，影响用户感受。优化工程师希望寻求最优解，但技术上的最优解往往只能无限趋近，而不可能完全达到。很多最终的解决方案，往往也并不是技术上最优的，而是在不同因素之间经过反复折中和平衡的结果。其次，同一网络问题，往往有不同的解决方式，而每种解决方式的代价与收益往往有所不同，也需要网络优化工程师进行折中。最后，广义上的无线网络优化，也包括对算法和体系架构的优化，这就需要在资源占用、运算速度、系统的健壮性之间寻求平衡。

从非技术层面来讲，网络优化需要考虑成本与收益之间的平衡、短期目标与长期目标之间的平衡。例如，对于设备厂商和运营商来讲，首先需要明确优化目标：在各个阶段需要达到什么样的目标、并准备为此目标付出多大的代价？如何在成本和目标之间进行折中和平衡？举例来讲，一个网络的某项 KPI，从刚开通时的 70% 提升到 80%，付出的时间和人力成本为 1；而要使接通率从 80% 提升至 90%，付出的成本可能为 3，再从 90% 提升至 95% 以上，成本可能需要 8 或更高——理想化的目标只能无限趋近，而不能完全达到，越是接近于极限目标，成本与收益之间就越是呈指数关系而不是线性关系（如图 1.1 所示）。那么，究竟以什么为网络优化的最终目标？为了实现此目标，又该如何分解各个阶段的任务，并在短期利益和长期利益之间寻找平衡？这也是值得思考的问题。

举一个例子，信道资源总是相对有限的，就目前来讲，同样多的信道资源（如 BRU），应用于 PS 业务所带来的收益率与应用于 CS 语音业务相比，还是要相对偏低。因此如果仅从投资的角度来讲，为保证短期利益，似乎应将重点放在 CS 语音。但 PS 业务毕竟是大势所趋，且人们始终不能排除不久的将来在 PS 领域产生“杀手级”应用的可能性（运营商维护优化的重点应放在语音业务还是数据业务，这两种观点存在长期的博弈）。这就给网络优化带来另一项需求，就是在保证用户 QoS 的基础上，通过算法优化和参数微调，尽可能提高资源复用度，降低 PS 业务每比特的维护和优化成本，降低 PS 资源占用对 CS 带来的不利影响。

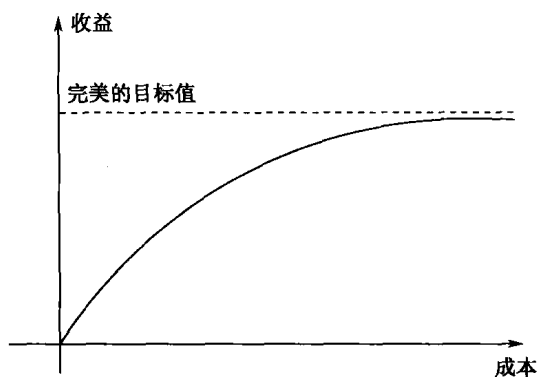


图 1.1 成本与收益之间的平衡

再如，网络优化工程师的很多工作都是围绕着“增加资源复用度”和“降低干扰”这两个目标来进行的。而“增加资源复用度”和“降低干扰”这两个层面在很大程度上是相互影响、相互制约的。对于大部分算法来说，增加资源复用度的代价往往就是干扰抬升，从而间接影响到 KPI 和 QoE。没有无代价的复用。因此，很多提高复用度的算法并不适用于所有场景，而应该进行有针对性的设置和微调。例如对于用户量较少的小区，未必需要打开资源复用算法。

1.2 对网络优化人员的技能要求

很多优化问题的难点在于，需要从无头绪中找出头绪，这就需要从大量的数据中筛选出有用信息，通过严谨的分析和判断，找出线索，并提出有效的解决方案。从目前来看，一名成熟的网络优化工程师，需具备以下专业技能。

(1) 了解信令流程。信令是网络通信的“语言”。不了解信令的人去做网络优化，如同不会外语的人去做翻译一样。对于网络优化工程师而言，初次接触一个新的系统，面对繁杂的知识体系往往会觉得无从下手，而信令流程是熟悉一个系统的最佳切入点。以信令为主线，可以将各知识点结成一个网状的体系。具体来讲，按照循序渐进、由浅入深的次序，对信令流程的理解包括这几个方面。

① 熟悉端到端的信令流程。有经验的工程师往往可以通过对异常流程的查看，短时间内找出问题的关键所在。

② 熟悉信令解码，并能通过信令解码逆向分析网络的参数设置。很多 RNC 侧的参数设置，都通过下行信令发给 UE。测试过程中通过路测软件的信令解码即可大致判断出某些常用参数的设置是否合理，或者通过竞争对手网络中的空口信令解码判断其参数配置状况以及一些系统实现方面的细节，便于对比和判断。

③ 能将信令流程与功率控制、信道配置、参数优化等知识点串联起来，形成“网状”的知识结构，有助于迅速定位问题。例如，面对一个接入失败的案例，熟练的网络优化工程师一般首先观察信令，看究竟是走到哪一步断开的；随之就能想到，断开环节的信令，是通过哪个物理信道承载的；这个物理信道在发送这条信令的时候，采用的是开环功控还是闭环功控，与哪些参数有关。

(2) 了解射频知识。对于射频优化、干扰排查等工作，射频知识是不可或缺的。

(3) 了解物理层结构。任何一个系统，只要物理层结构确定下来了，那么，这个系统在网络优化时所面对的优势和瓶颈也就随之确定了。例如，系统的理论覆盖半径、功控特性、抗干扰能力，都与物理层结构有关。因此，如果要从系统的层面理解网络优化，那么物理层知识是不可缺少的。

(4) 了解系统的演进。每一个版本的系统，都不是完美无缺的，因此系统总是处在不断演进之中。往往为了解决某个既有的问题，而引入一项新技术，新技术在解决旧问题的同时，势必也会在其他方面带来一些影响，并随之引入很多新的参数和算法，这些都需要予以关注。

(5) 熟悉各网元、各接口网络优化工具的使用，以及各网元、各接口数据的同步分析。网络优化过程中遇到的很多问题，仅依靠路测软件是解决不了的，往往需要借助 Call Trace、LMT 甚至是 TCP 嗅探工具的辅助，对比各个接口在同一时间点的状态，才能找出线索。

(6) 了解 TCP/IP 协议。数据业务是未来的大势所趋。无论空中接口采用 WCDMA、TD-SCDMA 还是 LTE，数据最终都要通过 TCP/IP 协议来承载。很多与空口无关的上传、下载速率低的问题，往往需要通过抓包软件分析 TCP 数据包，才能定位出来。因此，网络优化工程师有必要了解 TCP/IP 的基本原理。

在通信领域分工越来越细致和明确的今天，网络优化工程师可能不如标准工程师懂协议的演进，不如系统架构师懂需求和架构，也不如研发工程师懂设备的代码实现。对网络优化工程师而言，重要的是在扩展知识体系的同时，能够形成自己的技能组合，并突出某些重点技能；能够形成自己的一套分析问题的思路。例如，小张的技能组合如图 1.2 所示，可能更适合做前台测试，小李的技能组合如图 1.3 所示，可能更适合做后台分析。

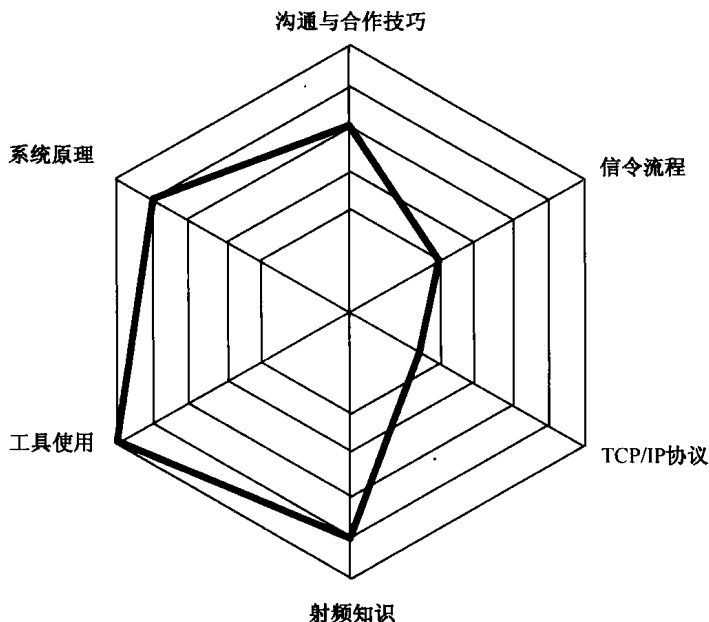


图 1.2 网络优化工程师小张的技能组合

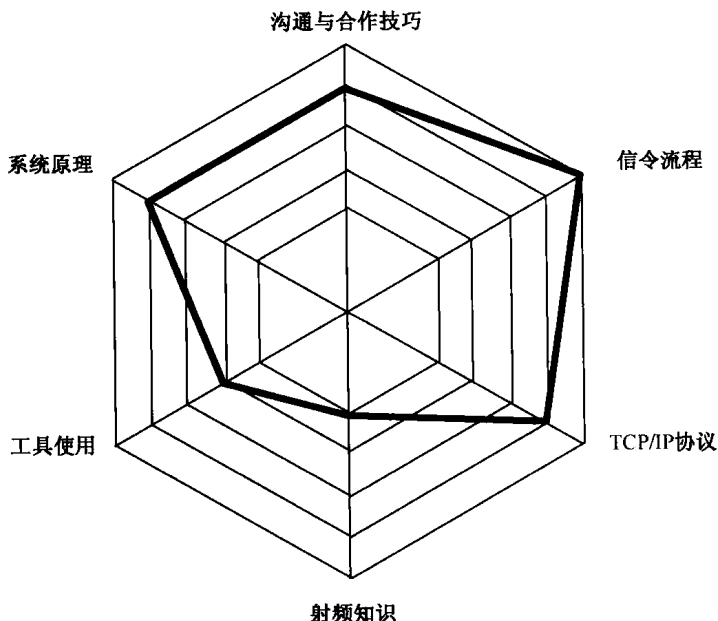


图 1.3 网络优化工程师小李的技能组合

1.3 网络优化的流程

网络优化是复杂的系统工程，单兵作战不可能解决所有问题，只能依靠团队合作，而完善的流程无疑是保证整个团队高效运转的先决条件，有助于使问题在第一时间得到解决。不完善的流程和分工体系往往会增加不必要的时间成本，最终，都会直接或间接导致工程成本的增加，尤其对于很多第三方优化公司而言，工程成本往往是制约项目成败的关键。从这个意义上讲，无论工程经理还是普通的网络优化工程师，都要做到各自职责范围内资源的最佳配置、调配。一个好的项目经理可能未必对技术了解得面面俱到，但他在面对棘手问题时一定知道该通过怎样的流程、找哪些人合作、怎样去解决，也一定能对任务和流程进行快速分解和高效率执行。

一般可将网络优化分为网络开通优化、日常维护优化。

1.3.1 网络开通优化

网络开通优化是为了使网络性能达到商用要求，并通过网络验收。网络开通优化可分为单站验证、簇优化、全网优化 3 个阶段。

1. 单站验证

设备安装调测完成之后，片区优化之前，需要对每个基站的配置及功能进行检查，以便及早发现设备故障，以及基站安装调测过程中的失误，确保每个基站工作正常。一般认为单站验证是网络优化的第一阶段，其目的是及早排查出潜在的问题，避免因单站问题给后续的优化工作带来不必要的麻烦。网络优化工程师需要对网络质量负责，是公认的压力较大的环节，尤其是网络开通前的优化。通信设备研发、生产、安装、调试等各个环节，都可能存在

一些未被及时查出的漏洞，例如软件上的 bug、人为的失误等，因此，如果将开通后的基站不加任何验证就交给网络优化工程师，这些累加的漏洞很可能在后续的优化工作中逐步暴露出来，引起 KPI 的恶化，此时再一步一步排查硬件安装调试方面的问题，需要消耗大量的时间和人力成本。单站验证的内容主要包括两个方面，一是状态检查；二是功能检查。

状态检查一般包括以下内容：

- (1) 核查是否存在设备告警、软件版本是否与工程规范一致；
- (2) 天线校准。包括时延、幅度、相位特性等；
- (3) 工程参数核查。例如扇区次序、天线接序、天线倾角、方位角等；
- (4) 参数配置检查；
- (5) 邻区配置检查。

单站功能检查是验证已开通基站的各项功能是否可以正常使用，例如单站接通率、PDP 激活成功率、FTP 下载速率等。

2. 簇优化

在完成单站验证后，就进入了簇优化的阶段。在大规模网络建设过程中，负责基站开通的工程师和负责网络优化的工程师都是有限的，甚至两个队伍需要存在一定程度的复用。等待网络全部开通后再进行全网优化的做法是行不通的，因为这样对于开通和优化工程师都会造成巨大的压力。因此通常的做法是“开通一片，优化一片”；一般将 15~25 个基站作为一“簇”(Cluster)，这些基站是在地理位置上存在紧密相邻关系的一片区域。簇不可过大或过小，如果是在诸如草原之类的空旷区域，可能一个簇所包含的基站数量很少，否则优化人员很难在半天内跑完整个区域。负责基站开通的工程师将一簇内的若干基站全部开通，并通过单站验证之后，即可将这片区域交给网络优化工程师，然后继续开通下一簇基站；而优化工程师接手此区域后，就开始针对此片区进行反复的射频优化和参数微调，直到本簇内的网络质量达到预期目标……需要注意的是，实际上的簇优化，往往受到很多条件制约，并不是一成不变的。例如，有的城市在开通时，站址资源和传输资源并没有完全就位，而此时还有工期的压力、业内竞争的压力存在，为了赶时间，只能选择那些具备安装条件的基站优先开通，如此一来，已开通基站的地理位置往往是零散的、不连续的，很难在短时间内形成一个簇。在此环境下，常规的簇优化方法难以开展下去。

簇优化在逻辑上一般分为两个阶段：射频优化和参数微调。

射频优化主要解决覆盖和干扰的问题。之所以强调优先解决射频优化的问题，是因为参数微调是一个需要折中的过程，往往更改某个参数之后，虽然可能会解决某一方面的问题，但也会在另一方面有所牺牲。因此，如果连射频优化这种基本问题都没解决，就大规模地进行算法参数优化，可能会得不偿失。建网初期的覆盖优化，需重点关注 RSCP 和 C/I（载波干扰功率比，也称载干比）等指标，包括 PCCPCH RSCP、DPCH C/I、DPCH RSCP、DPCH C/I 等。RSCP 值能在一定程度上反映网络覆盖水平。但在大规模网络中，C/I 的分布水平往往比 RSCP 更能反映网络质量，为保证业务质量，建议 PCCPCH C/I 最好大于 6 dB。在单个扇区的覆盖范围内追求较高的下行 C/I，难度并不大，可通过功率、功控以及工程参数的调整，在一定程度上提高 C/I，但若从整个片区内着眼，则往往会牵一发而动全身。因此，对整个片区内 C/I 的优化，往往是个反复微调的过程。除了覆盖优化之外，干扰排查也是射频优化中的难点。网络优化的核心是控制干扰。干扰排查工作尽可能在建网初期就开始抓起。建网初期用