

江苏鸿信系统集成有限公司

江苏鸿信系统集成有限公司于2007年10月成立，现注册资金1.1亿元，是由中国电信江苏公司投资组建具有独立法人资格的全资子公司，在全省十三个地市设有分公司。公司先后获得计算机信息系统集成资质（一级）、电子与智能化工程专业承包一级、建筑智能化系统专项设计甲级、CMMMI5、软件企业认定证书、江苏省认定企业技术中心等资质。

江苏鸿信立足于现代通信技术，在物联网、云计算和大数据方面持续创新，以各级政府和企业信息化需求为发展导向，积极响应客户信息化发展诉求，通过推进公司的持续转型，践行公司价值与客户价值共同提升的承诺。





中国通信建设第四工程局有限公司

CHINA TELECOMMUNICATION CONSTRUCTION 4ST ENGINEERING CORPORATION LIMITED

中国通信建设第四工程局有限公司成立于1965年6月，是一家国有控股企业，隶属于中国电信在香港上市的中国通信服务股份有限公司，坐落于河南省省会郑州。经过四十多年的发展，公司已成为一家专业齐全、技术雄厚、装备精良、管理先进的大型现代信息化服务企业。

公司经过四十多年的发展，拥有信息化、智能化类型的多项顶级资质：拥有通信总承包一级、电子与智能化一级、电力、机电、钢结构总承包资质；还获得了国家涉密信息系统集成和软件开发等多项资质。

公司紧紧围绕企业改革、发展、稳定的大局，以改革创新精神不断加强党的建设，倡导并推行“上善若水的乙方文化”，以“创新、包容、坚韧、信赖、伙伴”为核心价值观，讲服务、求效益、负责任、重执行、善合作。通过建立现代企业制度，提升核心竞争力。始终坚持“安全第一、质量

公司立足通信建设行业，以国内市场为基础，积极开拓海外市场；以市场为导向，以经济效益为中心；以体制、机制、管理创新为动力，以技术进步为支撑；致力于提供具有成本优势的优质特色服务，创新打造“中国通建四局”知名品牌，建设成为能满足各类通信工程建设需求、门类齐全、专业配套的，在国际上具有一定竞争力的综合通信建设承包商和服务商。

在集团公司倡导的新型产业结构调整的契机下，我单位全力拓展集团客户业务，16年以来，全局突破集客产值近8个亿，服务范围已经由传统运营商走向了全社会，在智慧城市、智慧交通、智慧安防、智慧建筑等领域着力开拓，在全国多个地区的政法系统、交通系统和国家重点企业的信息化、智能化建设上都有紧密合作。

中国通建四局秉承“上善若水的乙方文化”，以高质量为保证，竭诚为客户提供满意的服务，诚邀全国智能化、信息化合作伙伴共赢未来。



翟琪

电话：13515299747 15366759222 单位：中国通信建设第四工程局有限公司 地址：河南省郑州市中原路102号

邮箱：13515299747@139.com 15366759222@189.cn

网聚信息能量 赋能百业千行

当前，信息化革命席卷全球，世界经济格局、利益格局、安全格局、治理体系变革进入关键时期。人工智能、量子信息、移动通信、物联网、区块链、大数据等新技术正加速突破，并彼此融合发展，逐步成为推动经济社会高质量发展的强大力量。2019年9月召开的第七届江苏互联网大会以“数说七十载 网联新时代”为主题，围绕网络基础设施建设、核心技术创新、数字经济发展、网络安全保障等方面的新思路、新举措、新成就进行探讨，进一步对江苏互联网行业发展起到了积极推动作用。

新中国成立70年来，我国工业由小到大、由弱到强。进入新时期信息通信新技术新应用广泛普及，制造强国和网络强国建设迈出历史性步伐，走在了新的历史征程上。今年10月11日，在2019中国国际数字经济博览会上，工信部部长苗圩强调，“数字经济发展正展示巨大的发展潜能”、“促进数字经济发展取得积极成效，造福人类社会”，极大鼓舞了全国信息通信工作者以永不懈怠的精神状态和一往无前的奋斗姿态，继续朝着建设网络强国目标不懈努力。

在全省各地、各部门和各行业共同推动下，江苏信息通信业正加速发展，为工业、制造业乃至各行各业发展提供坚实的信息网络基础。围绕省委、省政府关于“5G先试先用推动长三角数字经济率先发展”的工作要求，江苏5G试点先行，发展进入快车道。截至8月底，全省5G基站达5423个，各企业开展了多项国家级5G网络试点工程。计划2019年底全省5G基站将达10800个，2020年底将达到55000个。全省IPv6规模部署呈现加速发展态势，IPv6发展指数全国排名第三。到今年年底获得IPv6地址的LTE终端比例将达到90%，获得IPv6地址的固定宽带终端比例将达40%，LTE网络IPv6活跃连接数将达到5200万，IPv6网络基础设施能力水平和网络安全保障能力将得到进一步加强。全省信息通信行业正抓住当前数字经济大发展机遇，充分发挥互联网对江苏经济社会发展和产业转型升级的引领支撑作用，为建成“网络强省”的目标而不懈奋斗。

本期杂志收入了涵盖互联网与移动通信等领域的多篇技术论文，对高铁移动网、物联网、VoLTE单通、工业PON、SAEGW容灾、负载均衡、云数据中心平滑演进等主题进行了深入探讨，体现了信息通信工作者对行业转型发展的新思考与新实践。希望全行业就5G技术、工业互联网、IPv6、智能制造等热点话题继续深入研究，凝聚智慧，为网络强国建设贡献更多江苏力量。

《江苏通信》主编

03 刊首语 PREFACE

08 行业要闻 INDUSTRY NEWS

- 08 江苏省通信管理局深入开展漠视侵害群众利益问题专项整治工作
- 09 长三角区域一体化发展信息通信监管研讨会在南京召开
- 09 第七届江苏互联网大会开幕

10 无线通信 —— 移动天地

- 10 5G 新空口网络性能验证方案探讨 / 王海飞, 马传项
- 14 5G 室分建设策略研究 / 樊国庆, 王 强



- 18 面向 5G 的高阶 MIMO 技术理论研究与应用分析 / 张 庆, 肖荣军, 施碧雄, 金 花, 郭 华
- 22 基于 Spearman 算法的 VoLTE 单通分析优化体系的研究与实践 / 陈向前, 胡 博, 贾 磊
- 28 面向 4G 用户感知的负载均衡策略研究 / 袁 旭
- 30 从价值工程的角度看通信运营商高铁的移动网覆盖 / 程长春
- 35 LTE-X2 切换比例的分析优化与探讨 / 张 燕, 梅立鑫, 孙 海

40 网络技术——重构与创新

40 基于 C/U 分离架构的 SAEGW 容灾技术方案探讨 / 薛凌云, 颜 鹏

43 基于 PCC 架构智能加速系统研究 / 郑 圣, 赵 越, 姚 勇

48 互联网+——转型与发展

48 一种端到端的物联网六元四阶业务保障系统 / 耶旭立, 曾 强, 刘立宇, 康 萌

53 工业 PON 在智能制造业的应用 / 宁 玉

57 传输与接入——基础与服务

57 高带宽需求的 PON 网络技术升级方案初步探讨 / 肖荣军, 徐义光

60 PeOTN 网络承载高品质专线业务的方案研究 / 陆 源, 白立武, 张立明

66 数据中心与节能环保——基础与两型社会

66 泰兴电信节能降耗管理应用实践 / 常亚峰

69 大数据、云计算、网信安全及其他新技术——创新与发展

69 中国联通 CORD 云数据中心应用实践 / 王俊敏, 郑 毅, 杨建军

73 基于机器学习的 WEB 安全威胁事件检测系统的设计及实现 / 仲思超, 朱 磊, 蔡 冰



双月刊 公开发刊

主管单位 江苏省通信管理局

主办单位 江苏省通信学会

协办单位 江苏省通信行业协会
江苏省互联网协会

中国电信股份有限公司江苏分公司

中国移动通信集团江苏有限公司

中国联合网络通信有限公司江苏省分公司

中国铁塔股份有限公司江苏省分公司

江苏省通信服务有限公司

中移铁通有限公司江苏分公司

南京邮电大学

支持单位 南京铁马信息技术有限公司

南京欣网通信科技股份有限公司

公诚管理咨询有限公司

中邮建技术有限公司

江苏亨通光纤科技有限公司

编委会主任 袁瑞青

副主任 董 涛 周 毅 方一明 李 工

杨 震 刘立斌 王 鹏 姚 岳

朱新煜

委员 任光裕 白学任 华仁方 黄克新

邵彪宁 魏 刚 马 利 魏海彬

余 冰 郭光亮 陈 兵 许公全

乔 振 马晓勇 林敬涛 王 鹰

戴 源

主编 朱新煜

副主编 任光裕 王 鹰 戴 源

责任编辑 陈 喆 王 玉

编辑出版 《江苏通信》编辑部

发行单位 江苏省通信学会

地址 南京市中山北路 301 号

《江苏通信》编辑部

邮编 210003

电话 025-85030087 83342299

电子信箱 jstxy@jsca.gov.cn (综合稿)

jstx@jsca.gov.cn (技术稿)

国内统一连续出版物号 CN32-1782/TN

广告经营许可证 3200004030687

广告代理 南京苏瑞文化传播有限公司

印刷单位 江苏新华日报印务有限公司

出版日期 2019 年 10 月

定价 11.8 元

声明:稿件自录用之日起,其专有出版权和信息网络传播权即授予本刊,同时许可本刊转授合作第三方使用。若作者对此有异议,请在来稿时声明,本刊将作适当处理。

江苏省通信管理局深入开展漠视侵害群众利益问题专项整治工作



为贯彻落实工信部关于专项整治漠视侵害群众利益问题工作部署，查找和整改信息通信行业在为广大群众提供服务过程中存在的问题与不足，江苏省通信管理局领导班子高度重视此次专项整治工作，把专项整治作为当前首要的政治任务，在迅速制定专项整治方案后，第一时间向省纪委作专题汇报，局领导随即分别带队深入基层调研督查，确保专项整治工作落到实处。

一是迅速制定专项整治方案。江苏省通信管理局党组高度重视，及时召开党组扩大会议，传达学习陈肇雄副部长有关工作讲话精神，专题研究并制定下发《江苏省通信管理局关于落实专项整治漠视侵害群众利益问题的工作方案》，要求各电信企业提高认识，切实落实责任，重点抓好农村网络运行维护、及时完成网络故障修复、提升用户申诉处理能力以及做好农村应急通信保障等工作，通过企业自查自纠及省通信管理局监督抽查的方式落实部专项整治相关工作要求。各基础电信企业根据部省工作要求，制定具体实施方案，均成立了由省公司领导挂帅的专项工作组推进工作落实。



二是向省纪委专题汇报落实专项整治漠视侵害群众利益问题工作。袁瑞青局长就江苏管局坚决杜绝漠视侵害群众利益，切实保障农村网络设施正常使用的工作方案以及江苏省电信普遍服务试点项目助力农村通信基础设施建设等方面工作向省纪委作了专题汇报。省纪委常委李圣华对近年来江苏管局对省纪委有关工作的支持表示感谢，对制定的专项整治漠视侵害群众利益问题的工作方案给予了肯定。

三是局领导班子深入基层开展督查调研。局长袁瑞青带队赴盐城督查调研，实地走访了“响水 3.21 爆炸”事故所在地响水县陈家港镇王商村，在村民委员会与村支书、驻村扶贫干部进行了交流。深入县公司一线装维部门，对农村地区报障、修障指标完成情况及用户满意度进行了详细了解。现场检查了响水县城 3 家基础运营企业部分营业场所，重点对基层窗口单位落实规范套餐设置、做好资费公示、明确投诉服务流程、扶贫和残疾人资费等工作情况开展了检查。局党组成员、巡视员、省通信行业“专项整治漠视侵害群众利益问题工作专班”班长陈夏初赴宿迁督查调研，深

入宿豫区大兴镇新新村、泗洪县临淮镇溧河村村委会、学校、医务室及农户家中了解通信业务使用情况，要求各单位确保农村地区尤其是村委会、学校、卫生所、农户家庭的通信服务正常，持续完善光纤网络建设和优化 4G 网络覆盖，在极端情况下做好应急通信保障工作，对于用户投诉或信访反映的问题必须高度重视，立行立改。副局长王鹏赴淮安市洪泽区和盱眙县督查调研，走访了盱眙县维才村、洪泽区富民村等多个行政村，查看了村委会、农户家、田地边的固定光纤宽带和 4G 网络信号覆盖情况；走进部分贫困、残疾村民家中，调查了解村民对当前通信费用、服务以及通信网络使用方面的意见建议。对于个别群众反映的通信服务及网络质量问题现场督办，要求相关企业立即核查处理，切实为群众解决实际困难。副局长耿力扬到徐州、南京地区督查调研，重点对三家电信企业落实专项整治漠视侵害群众利益问题方面开展督查，抽查了徐州市汴塘镇凤楼村、八义集镇汤海村、耿庄村以及南京市六合区竹镇侯桥村，主要从农村网络建设和日常维护情况，村委会、医务室、农户家庭、个体商贩等通信网络使用情况、农村用户投诉处理和资费政策等方面进行了调研，并对光纤宽带和 4G 网络进行了实地测速。下一步，江苏省通信管理局将按照专项整治工作方案，继续深入开展专项整治督查，督促企业及时处理和解决农村网络使用问题，确保整治工作取得实效。

（责任编辑：陈喆）

长三角区域一体化发展信息通信监管研讨会在南京召开

9月2日，长三角一体化发展信息通信监管研讨会在南京召开，工业和信息化部信息通信管理局局长韩夏、

江苏省通信管理局局长袁瑞青、上海市通信管理局局长陈皆重、浙江省通信管理局局长徐建华、安徽省通信管

理局局长祝军出席会议。

会议指出，长三角一体化发展上升为国家战略是党中央作出的重大决

策部署，长三角地区信息通信行业要深入学习贯彻习近平总书记关于推动长三角一体化发展重要指示精神，学习领会《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》，研究部署好有关工作的贯彻落实。长三角地区信息通信行业要以协同建设新一代信息通信基础设

施为基础，抓好 5G 示范应用和网络质量管理、IPv6 规模部署、建设工业互联网安全保障体系等各项重点工作，深化车联网、智慧交通等应用，促进信息通信产业应用一体化，在 5G+ 工业互联网、数据中心、信息通信市场监管、网络安全体系建设等方面推进

合作。全行业要统一思想，增强一体化意识，加强互动交流，不断深化合作，扎实推进长三角区域一体化发展。

江苏省通信管理局副局长王鹏、耿力扬及部、省管局有关处室负责同志参加了会议和研讨。

(责任编辑：陈喆)

第七届江苏互联网大会开幕

数说七十载，网联新时代。9月3日上午，2019（第七届）江苏互联网大会在南京开幕。省委常委、宣传部部长王燕文、工业和信息化部信息通信管理局局长韩夏出席开幕式并致辞，副省长王江参加开幕式，中国工程院院士邬江兴等做了专题报告。江苏省委网信办主任兼省委宣传部副部长徐纓发布数字江苏建设发展报告，江苏省通信管理局局长袁瑞青发布江苏省互联网和 5G 发展情况，会议由农工党中央副主席、江苏省互联网协会理事长杨震主持。本次大会由江苏省互联网信息办公室、江苏省通信管理局指导，江苏省互联网协会主办。



江苏省委常委、宣传部部长王燕文致辞

王燕文在致辞中说，从我国全面接入互联网 25 年以来，江苏主动把握互联网发展的历史机遇，积极抢占信息化发展的制高点，取得明显成绩。她指出，面对新一轮信息技术革命浪潮，要以习近平总书记关于网络强国的重要思想为指导，坚持守正创新，切实把经济发展的支撑优势、技术应用的先发优势、思路理念的开放优势转化为数字江苏建设的领先优势。要

始终锚定“走在前列”的目标，抓住机遇、主动作为，切实扛起网络强省建设的责任使命。要始终坚持主流价值的引领，进一步加强和改进网上正面宣传，持续做好网上重大主题宣传，大力推进媒体深度融合，构筑网上网下最大“同心圆”。要始终紧跟技术革新的潮流，把突破核心技术作为重中之重，大力推动传统产业的数字化、网络化、智能化发展，扎实推动网络安全研发应用和融合创新，促进信息技术与经济社会深度融合。要始终牢记为民造福的初心，用大数据助力破解民生难题，加快公共基础设施智慧化改造，不断开辟互联网促进创新创业、共享发展成果的新领域新途径，让互联网发展成果更广泛、更充分地惠及广大人民。



工业和信息化部信息通信管理局局长韩夏致辞

韩夏在致辞中说，近年来我国互联网产业政策不断完善，网络能力不断提升，关键技术不断突破，融合产业不断创新。工业和信息化部将着力优化产业政策，完善数字经济发展环境；加快网络建设，夯实产业持续发展基础；推动融合应用，大力发展工

业互联网；加强行风建设，解决人民群众关心问题。工业和信息化部将一如既往地关心和支



王江副省长、韩夏局长主持互联网诞生 50 周年暨中国·江苏接入互联网 25 周年纪念仪式

开幕式上，举办了纪念互联网诞生 50 周年暨中国·江苏接入互联网 25 周年仪式，王江副省长和韩夏局长主持仪式。会上还发布了第二届“绽放杯”5G 应用征集大赛江苏分赛区获奖结果和江苏省互联网名企榜单，业界专家围绕产业互联网发展进行了高端对话。两天的会议程中，还举行了一系列分主题高端论坛和数字成果展。省级机关、各设区市有关部门和新闻单位、互联网企业近千人出席开幕式。



江苏省通信管理局局长袁瑞青发布江苏省互联网和 5G 发展情况

(责任编辑：陈喆)

5G 新空口网络性能验证方案探讨

王海飞 马传项
中邮建技术有限公司

摘要: 5G 新空口 (NR) 有多种设计解决方案, 而且部分部署方案存在特定的限制, 但 5G NR 性能验证并不一定非常复杂。NR 技术带来了显著的性能优势, 新的部署限制可能会涉及更高的挑战性。文本通过使用特定解决方案的设计框架, 可以有效地实施关键绩效指标 (KPI) 测量验证。

关键词: 5G; KPI; 结构化框架; 性能验证; 网络部署

0 引言

5G 的快速发展意味着更快的下载速度, 出色的网络可靠性以及对我们的生活、工作和娱乐方式的巨大影响, 自动驾驶汽车、智能社区、工业物联网等都将依赖 5G。为了保证 5G 网络为人们提供可靠服务, 网络测试验证是必不可少的手段。

1 面临挑战

5G 部署是一项复杂且具有挑战性的工作, 需要仔细规划和无缝执行。在许多情况下, 某些阶段将被压缩和重叠。成功部署 5G 的重要前提是强大的测试验证, 此阶段包括验证虚拟网络功能和网络服务性能, 以确保在部署网络后获得规划的服务质量和可靠性。

降低测试成本将对 5G 的成功起到关键作用。如果没有令人信服的商业案例来部署 5G 服务, 该技术可能无法按预期推出。为了控制测试成本, 必须决定需要进行哪些测试, 从更大的测试意义上讲, 通过设计测试方案可以实现经济效率的提高。

2 性能验证

2.1 驱动因素分析

5G 网络将推动人类社会信息交互方式进一步升级, 为用户提供增强现实、虚拟现实、超高清 (3D) 视频等更加身临其境的业务体验。进一步发展也将促进移动流量超千倍增长, 推动移动通信技术和产业的新一轮变革。

(1) 业务要求

5G NR 部署可能存在多个业务驱动因素, 需要详细了解业务驱动因素, 以确保验证过程和时间表符合运营商的要求。

(2) 预期用例

5G NR 网络将用于解决一个或多个需求, 并促进新应用的开发, 其中许多还没有明确定义, 但是 5G 技术必须支持下面三个主要移动用例。分别是: 增强型移动宽带: 通过改善峰值/平均/小区边缘数据速率、容量和覆盖范围, 扩展对传统 MBB 的支持; 超可靠的低延迟通信: 适用于新兴的关键应用, 工业制造、远程医疗等; 大规模机器类型通信: 支持具有数百亿连接设备和传感器的 5G 物联网场景。

此外, 固定无线接入将成为 5G 的首批用例之一, 基于 LTE 的固定无线接入已被证明能够在各种不同的使用场景中提供稳定的高质量宽带。

(3) 部署方案

部署方案将确定用于验证 5G NR 网络性能的方法, 其中用于测试中频段部署性能的方法与用于验证热点区域高频段性能的方法不同, 共享 5G NR/LTE 低频载波的性能目标与高频固定无线接入网络的性能目标也不同。

覆盖: 典型的覆盖场景涉及在特定地理区域内的所有或大多数基站站点部署的 5G NR 设备, 在进行 5G NR 网络覆盖时, 要考虑正在部署的 5G NR 信道的相对传播特性以及基础网络设计的基线频带。

热点或目标: 有选择地识别用于安装 5G NR 设备的站点, 这些站点可能因为现有网络的容量卸载需求而被识别, 或用于竞争性营销目的。

无处不在: 无处不在的覆盖部署旨在使用特定地理区域内的 5G NR 设备提供全面、重叠的覆盖。

共享频谱: 频谱共享软件提供在现有 4G 运营商中引入和添加 5G 的能力, 这将允许在低频和中频频段上引入 5G 以实现广域覆盖。

(4) 接入网配置

5G NR 物理层具有灵活及可扩展的设计, 支持具有极端且有时相互矛盾的要求的各种用例, 选择部署的 5G NR 解决方案将对实现的性能产生重大影响。5G NR 网络的解决方案

设计将是许多竞争要求和约束之间的折衷，这些将影响性能指标，并意味着如果网络针对一个指标进行了优化，则可能会出现另一个或多个指标的恶化。

NSA vs SA: 5G 标准的第一个版本涵盖非独立模式，使 5G NR 能够与 4G 共存并互通。对于最初的 5G NR 部署，NSA 将提供缩短商用时间并确保良好覆盖和移动性的方法。独立 (SA) 模式的 5G 标准引入了一种新的基于服务的核心网络架构，该架构将部署 5G 作为覆盖或独立于 4G 覆盖。

从网络验证的角度来看，从可接入性、可保持性和移动性角度来看，5G 设备的性能将与底层 LTE 网络的性能紧密相关并依赖于其性能。

双工方式: 5G NR 帧结构支持 TDD(时分双工)和 FDD(频分双工)方式，以及授权和非授权频谱中的通信。5G NR 部署选择的双工方式和帧结构将影响网络中实现的 KPI 性能值。例如，TDD 技术共享用于下行链路和上行链路传输的相同无线频谱，这意味着低于 FDD 技术相同带宽的吞吐量。TDD 系统还需要配置保护时间间隔，以保护基站的上行传输免受来自另一 BS (基站) 的延迟的同信道 DL (下行链路) 传输信号的干扰。

Numerology: 5G NR 引入了可扩展的正交频分复用 (OFDM) 技术，可在各种频率和部署中实现各种服务。比例因子的选择取决于各种属性，包括部署类型、载波频率、服务要求、移动性和实现复杂性，不同选择将影响网络性能。

互通和频谱共享: 如前所述，5G NR 有可能与 LTE 部署密切配合。频谱共享等功能可以智能、灵活、快速地在现有 4G 运营商中引入和添加 5G。在验证 5G NR 性能目标时，5G NR 和 LTE 之间共享带宽和资源的引入将约束 5G 相关性能。例如，如果实现频谱共享，则可实现的 5G NR 吞吐量将受到 LTE 网络负载的影响。

频带: 每个频带具有不同的物理特性，这意味着在容量、覆盖范围和延迟之间存在权衡。5G NR 部署将引入扩展中频和高频频谱的使用，在设定验证目标时，需要考虑这些频带的覆盖能力。

带宽: 5G NR 部署可用的带宽将对可实现的峰值、平均和小区边缘吞吐量产生重大影响，在确定适当的网络验证目标时，需要充分考虑这一点。

RF 功率: 在某些监管辖区，对蜂窝基站站点允许的总射频 (RF) 功率发射的限制很常见，RF 载波的功率限制可能限制 RF 载波的覆盖能力和可实现的吞吐量。

2.2 验证节点与项目范围对齐

5G NR 部署项目将包含项目交付重要节点的多项活动。

项目的范围将决定重要节点适用于不同的项目利益相关者。同时一些重要节点将涉及网络性能验证，这些通常可以映射，如图 1 所示。

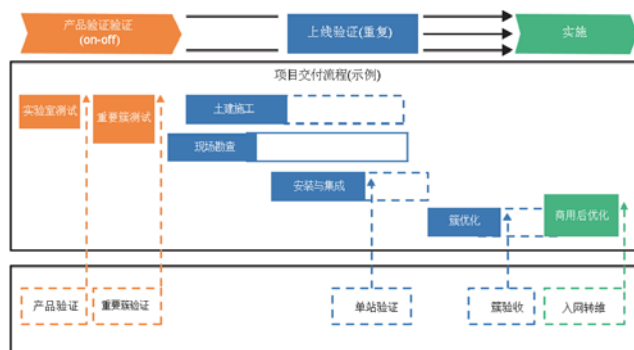


图 1 项目交付流程示例

通过及时的网络性能验证，可以减少管理和部分项目交付流程，加快网络商用时间。

2.3 KPI 框架设置

使用 KPI 框架设置实际的性能目标，典型的网络部署涉及若干阶段，如图 2 所示。



图 2 典型网络部署的验证阶段

KPI 框架用于确定：

需要性能测量的区域；

进行测试的环境，例如实验室、重要站点、重要簇、所有簇等；

测量的验收标准和用于进行测试的测试方法；

确定 KPI 指标，以及将被指定为性能监控的绩效指标；

适用于环境和测试方法的目标值选择。

使用 5G NR 网络性能验证框架非常重要，因为 5G 网络变得越来越复杂，不仅在设计和优化方面，测试和验证方面也是。其结果是重点引入结构化验证方法，以支持简单性和透明度，旨在加快产品商用速度。

3 KPI 框架详细介绍

有许多方法可以衡量网络性能，下面提出了一个简化网络性能验证过程的框架，并提供与用户体验一致的简洁性能视图。

该框架的主要特点是：

符合 ITU 和 ETSI 关于性能指标的建议；
使用标准网络参数设置的商用终端；
仅包含与用户体验相关的 KPI；

指定应测量每个 KPI 的方式和位置；
重点关注符合运营商优先级的验证，适用于战略性选择的领域。

表 1 NR 服务保障 KPI 框架示例

KPI 分类	KPI	控制环境	现场验证	重要簇	簇	入网操作
可用性	小区可用性					●
可接入性	会话建立成功率	●	●	●	●	●
可接入性	会话建立时延	●				
保持性	会话异常释放	●	●	●	●	●
服务完整性	RTT 时延	●	●	●		
服务完整性	下行用户峰值速率	●		●		
服务完整性	上行用户峰值速率	●		●		
服务完整性	下行用户吞吐率		●	PI	PI	PI
服务完整性	上用户吞吐率		●	PI	PI	PI
服务完整性	下行丢包率	●		●		●
服务完整性	上行丢包率	●		●		●
移动性	切换成功率	●		●	●	●
移动性	移动掉线	●		●		

注：不同的用例涉及不同的目标值和测试方法。

3.1 KPI 框架开发

5G NR 网络的预期用例是开发验证框架的关键输入内容，应以可以真实反映用户使用感知的方式来进行网络性能测试，所选的测试和验证方法应根据预期的网络用例进行调整。

3.2 解决方案构建

新功能通常在严格搭建的具有理想网络条件的试验场景中去测试验证，一般使用高性能用户设备原型来执行测试。虽然这些试用环境可配置特定的网络参数，但并不能完全准确反映真实的网络环境和性能。在实际的运营网络中，性能和容量之间存在权衡，这在试验中并不总是被考虑在内。

在结构良好的验证框架中，复杂且耗时的验证程序应限于实验室或受控现场环境，当验证最终的 KPI 集中在目标值范围内时，这样的测试可能是有利的。重要站点和重要簇是设计测试环境相关概念，用于在实时场景中进一步测试技术，但仍处于受限环境中。

通常，重要站点或重要簇优化阶段总结各种场景测试方法和参数配置，目的是简化在大规模部署期间使用的参数配置和测量方法。对于簇调整和验收，应选择少量 KPI 以进行有效测试，并在测量用户体验时确保足够的准确度。聚焦验证可以基于诸如关键用户的位置、密集交通区域、困难环境和已知故障点等因素，这将确保簇性能可用于商业发布。

3.3 关键指标选择

开发验证框架的下一步是确定要监控的性能以及如何监

控，对于移动网络，国际电联电信标准化部门与 ETSI 合作，从用户的角度描述了 QoS 的一般模型。3GPP 定义的 QoS 类别包括：服务可访问性、可保持性、完整性和移动性。

为了经济高效地验证，建议使用少量 QoS 对齐 KPI 进行用户体验和网络质量验证。运营商需要确保给定的 KPI 在推出后能够准确反映实际的用户体验，例如，当始终在线的 LTE 设备不发送数据时，可以丢弃无线承载。测量这样的 KPI 并不能提供对用户体验的真正理解，因为会话在需要时快速重新建立，并且用户不会注意到任何延迟，这样可以适当关注用户体验，用于报告和分析。这减少了收集和分析太多指标的潜在浪费，然后可以花费额外的精力快速解决任何问题，快速跟踪网络性能的改进。

(1) 覆盖性能评估主要指标

覆盖测试是网络性能测试中最常用的评估网络覆盖性能的方法，通过覆盖率、电平值、信噪比、峰值速率等各项指标，综合评估某项移动通信技术是否满足客户需求。

5G 取消了 LTE 中的 CRS 信号，取而代之的是 CRI-RS 等参考信号，当前 5G 下行主要定义了 SS RSRP、CSI RSRP、PDSCH RSRP 三种不同的 RSRP。5G 下行 SSB 和 PDSCH Beam 与 4G 存在较大差异。LTE 可通过 CRS RSRP 准确评估下行覆盖，但 5G 中用 SS RSRP 评估覆盖不完全准确，主要是由于 LTE 的 CRS 和 PDSCH 都采用传统宽波束，所以可以用 CRS RSRP 近似等效 PDSCH 信道上用户的 RSRP。同时 5G 的所有信道支持窄波束，SSB 采用静态波束赋形，PDSCH 采用

动态波束赋形，其波束赋形特征也不尽相同，所以 SS RSRP 和 PDSCH RSRP 不能直接映射。

覆盖测试主要测试各 RS 信号的覆盖强度与 SINR 值，并结合峰值吞吐率等指标综合评估网络性能，主要测试指标如下表所示。

表 2 覆盖性能测试主要评估指标

上下行	指标名称	指标说明
	Best Server	主服务小区
	DL RSRP	CSI-RS 信号电平
下行	DL RS SINR	CSI-RS 信号质量
	PDSCH Signal Level	下行业务信道电平
	PDSCH SINR	下行业务信道质量
	PDSCH MAC Peak Throughput	下行业务速率
	Sounding RSRP	SRS 信号电平
	SRS SINR	SRS 信号质量
上行	PUSCH Signal Level	上行业务信道电平
	PUSCH SINR	上行业务信道质量
	PUSCH MAC Peak Throughput	上行业务速率

(2) 容量性能评估主要指标

容量测试是网络性能评估中的一项重要工作，容量性能评估中单用户数据业务覆盖强度 / 质量及速率考虑要素与覆盖基本一致，多个用户可通过 MU-MIMO 进行波束域的配对。当前 5G 容量性能评估主要内容如下表所示。

表 3 容量性能评估主要内容

维度	仿真内容
站点	业务上行 / 下行 MAC 层吞吐率
	业务上行 / 下行应用层吞吐率
	上行 / 下行负载
小区	业务上行 / 下行 MAC 层吞吐率
	业务上行 / 下行应用层吞吐率
	服务 / 掉话用户数
用户	主服小区
	上行 / 下行 CS-RS/BRS 信号强度
	业务上行 / 下行信道质量
	业务上行 / 下行 MAC 层在吐率
	业务上行 / 下行应用层吞吐率

3.4 KPI 目标值确定

为 KPI 选择的目标值应考虑 5G NR 网络约束、解决方案和设计，同时 KPI 的目标值还应反映进行测量的不同测试环境。

一旦网络运行，基于计数器的 KPI 可用于在流量增加时监控性能。基于商业流量和网络计数器的这些 KPI 与簇优化

调整选择的 KPI 不同，后者主要基于路测测量。例如，通过驱动器测试来测量用户感知的延迟，但是这对于网络计数器来说是不切实际的。

4 结构化框架优势

使用标准化、结构化的 KPI 进行网络性能的评估，已在业内得到认可。这些 KPI 分为五大类：可接入性、可保持性、完整性、可用性和移动性，其中测量使用通用公式和方法。

(1) 对运营商的好处

加快新网络、服务和覆盖范围的商用速度；
对以工作为中心的网络测量准确反映用户体验的信心；
能够将资源和工作重点放在能够为用户带来最大利益的领域；

能够实现有针对性的网络效率；

(2) 对供应商的好处：

可以将资源和精力集中在调整网络、最大化网络效率和改善用户体验上；

能够满足激进的时间表；

更快的网络部署；

建立强大的运营商合作伙伴；

提供高质量网络的机会，可以适应不断变化的技术和市场条件；

5 结论

新服务、新型设备和多种技术的使用为 5G NR 网络部署带来了复杂的环境，这种变量的增加需要一种有效的网络性能验证方法，该方法包括从初始测试贯穿整个 5G NR 部署。

本文实现效率意味着运营商能够专注于快速部署 5G NR 网络，并确保成功的商用和持续运营。采用正确的 5G NR 网络性能验证方法，使运营商能够确信以网络为中心的测量能准确反映用户体验，这使得资源和工作可以集中在为用户带来最大利益的领域，同时帮助运营商完成提升其网络效率目标。

(收稿日期：2019-08-13；

技术审核：陈桃；责任编辑：王玉)

5G 室分建设策略研究

樊国庆 王强

中通服咨询设计研究院有限公司

摘要: 本文通过穿透损耗及路径损耗的测试数据及相关技术资料, 对比 5G 室分建设与 4G 室分建设的差异, 提出对应的弥补措施, 分析了无源 DAS 系统、有源 DAS 系统、数字化室分系统的优缺点, 给出不同建设单位因地制宜的建设思路, 同时还研究了 5G 时代电源及空间方面配套资源升级措施。最后介绍了各类室分建设场景业务情况, 并推荐了相应的建设方式, 为后续 5G 室分建设提供重要的指导参考。

关键词: 5G 网络; MDAS; 数字化室分系统

0 引言

5G 将给人们带来更智能、更丰富的业务应用, 并将广泛用于智慧医疗、远程教育和工业制造等领域。其中, 高清视频、AR/VR、工业制造自动化、现代物流管理等将主要发生在室内场景中, 但 5G 更高的频段信号难以从室外抵达室内, 还需实现 MIMO 功能。此外, 机房配套资源占用要求更高, 因此, 5G 时代的室内覆盖, 将不仅仅是用户的个人通信需求, 更是企业生产过程所必要的条件之一。

1 5G 建设方式分析

与 4G 网络相比, 5G 将工作于 3.5GHz 和毫米波频段, 对比目前室内覆盖的主要方式, 本文分析 5G 建设可能受到的影响, 从而选择相应的 5G 建设方式。

1.1 室外覆盖室内

如图 1 所示, 根据某运营商 4G 室分建设站点统计, 住宅小区占比超过 70%, 考虑到建设成本及覆盖效果, 外打方式是住宅小区最佳的覆盖方式。5G 住宅小区外打覆盖规划, 需考虑室内穿透损耗、路径损耗等问题, 从而判断 5G 住宅小区是否使用外打覆盖方式。

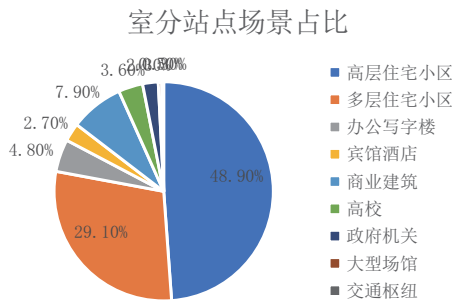


图 1 站点场景占比图

住宅小区用户主要活动区域为客厅、卧室, 主要穿透损耗由建筑外墙、玻璃等材料阻挡造成。外打覆盖通过在小区楼宇顶部或地面安装射频单元和室外天线的方式对楼宇 (通常为客厅或卧室区域) 进行覆盖。

通过模测数据求平均值, 从表 1 可以看出不同的墙体材质的穿墙损耗是不同的。2.6G 相较于 1.8G 频段穿透损耗高 1dB 左右; 3.5G 相较于 1.8G 频段穿透损耗高 5dB 左右; 4.9G 相较于 1.8G 频段穿透损耗高 7dB 左右。

表 1 不同墙体材质穿透损耗测试数据

材质	各频段损耗 (dB)				
	900MHz	1.8GHz	2.6GHz	3.5GHz	4.9GHz
玻璃	9	10	12	15	17
砖混墙	13	16	17	22	23
钢混墙	35	43	44	48	50

若 5G 共用 4G 天线点位, 发射功率谱密度相同, 边缘场强要求相同, 各系统路径损耗如表 2 所示, 2.6G 与 1.8G 路径损耗相差 4-5dB; 3.5G 与 1.8G 路径损耗相差 6-7dB; 4.9G 与 1.8G 路径损耗相差 10-12dB。

表 2 不同频段路径损耗差异

系统	边缘场强要求 (dBm)	基站发射功率 (dBm)	路径损耗 (dB)
1.8G	RSRP≥-105dBm	CRS=12.2	0
2.6G	RSRP≥-105dBm	CRS=12.2	4-5
3.5G	RSRP≥-105dBm	CRS=12.2	6-7
4.9G	RSRP≥-105dBm	CRS=12.2	10-12

综合考虑室内穿透损耗及路径损耗, 2.6G 相较于 1.8G 频段链路总损耗高 5 dB 左右; 3.5G 相较于 1.8G 频段链路总损耗高 12dB 左右; 4.9G 相较于 1.8G 频段链路总损耗高 18dB 左右。

为了弥补 5G 链路损耗的差异, 可以通过增加 5G 设备、大规模天线来提升覆盖能力和频谱效率, 同时还可以双侧外打, 共享路灯杆、监控杆、电力杆等资源。

1.2 室内覆盖

室内覆盖系统主要有无源 DAS 系统、有源 DAS 系统、数字化室分系统三种覆盖方式。

无源 DAS 系统由天馈线及无源器件组成，其面临的挑战非常多，比如需要支持高频段器件、高阶 MIMO，施工及维护也比较困难。无源器件、馈线及连接器、天线情况如下表所示。

(1) 无源 DAS 系统

表 3 无源器件、馈线及连接器、天线情况

无源 DAS	类别	3.5GHz		4.9GHz		备注
		现网情况	行业情况	现网情况	行业情况	
无源器件	耦合器					
	功分器	不支持	已有样品	不支持	无样品	样品支持 800MHz-3600MHz
	合路器					
馈线、连接器	1/2 馈线					频段越高，损耗越大
	7/8 馈线	支持	支持	支持	支持	
	连接器					
天线	室分天线	不支持	已有样品	不支持	无样品	样品支持 800MHz-3600MHz

由于 5G 高频段的问题，1/2 馈线损耗较大，是限制链路损耗的最大瓶颈，根据表 4 某线缆厂家馈线对比情况可以看到，新型馈线 3/4 馈线，可适当弥补 1/2 馈线损耗，相比 1/2 馈线，

衰减减少 35% 左右，同时外径增加 6.5mm，但目前尚未有行业规范。

表 4 馈线对比情况

频段	1/2 馈线	3/4 馈线	3/4 馈线与 1/2 馈线对比	7/8 馈线
2.3GHz	13	8	-38.5%	7
2.6GHz	13.7	8.6	-37.2%	7.5
3.5GHz	16	10.5	-34.4%	9.2
4.9GHz	20	12.8	-36%	11.2
线缆外径	16.4mm	22.9mm	+6.5mm	28.8mm
最小弯曲半径	125	150mm	+25mm	250mm

对于 2.6G 频段，5G 现网站点可通过合路方式直接改造；对于 3.5G 频段，依然可以使用无源 DAS 方式，但分布系统需要完全替换，性价比较低，不推荐建设；4.9G 频段不适合无源 DAS 方式。

(2) 有源 DAS 系统

多业务分布式接入系统 MDAS，可以支持多运营商、多制式、多载波、多无线通道的射频信号。使用 MDAS 技术的 5G 共享室内建设方案如图 2 所示。接入单元 MAU 将来自各运营商基站的射频信号经变频、数字化处理后，通过光纤传输到扩展单元 MEU，扩展单元将信号分配到对应的远端单元 MRU 上。

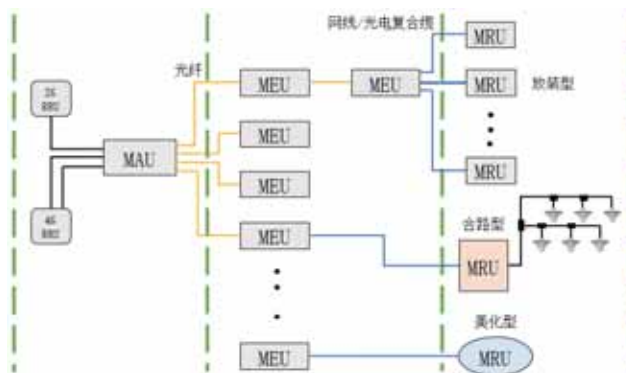


图 2 5G MDAS 示意图

与无源 DAS 系统相比，有源 DAS 系统不需要链路预算，线缆布放便捷，方便快速部署。但是有源 DAS 一般由第三方厂家提供，所以监控系统不能共用主设备厂家监控平台。

实际需要，推荐搭配使用内置天线型远端和外接天线型远端。

对于超市、体育场、大型停车场等范围较大的空旷场景，建议优选内置天线型远端；对于医院、办公楼等隔断多的场景，建议优选外接天线型远端；对于住宅小区等复杂场景，根据

(3) 数字化室分系统

数字化室分系统如图 3 所示，具有远端单元有源化、传输光纤化、运维可视化等特点，可同时满足 5G 需要的覆盖和容量要求，具有可维、可管、可控的特点，在配置开站、网络优化、日常运维监控等方面具有优势。

数字化室分在建设时也带来了电源、传输、运营维护等一系列新问题，在解决相关建设问题的同时，需要培养一支专业化的维护队伍，以保障网络的可靠运行，保障室内业务和应用的有效开展。

相对于4G数字化室分系统设备，5G pRRU需支持4T4R。



图3 数字化室分覆盖系统网络架构示意图

三种室内覆盖方式各有优缺点，可灵活搭配，使得室内覆盖方案更加合理。

1.3 运营商自建

由于分配频段的差异，在选择5G方案时，中国移动可考虑在一般室分站点采用无源DAS改造方案，建设双路或四路天馈系统，在重点场景新建数字化室分系统。

电信及联通公司可通过合路原有室内分布系统进行5G室分系统，但困难较大，可以根据场景来选择相应的5G室分建设方案。

1.4 共建共享

4G时代，室内分布式系统建设已广泛采用铁塔公司统一建设、三家运营商共享的方式，有效地推进了室内环境的网络建设进度，5G时代也可以延续这种建设模式。

对于室内话务密度低环境，可以使用无源DAS覆盖系统，推荐使用基于光纤分布式的5G MDAS系统；对于业务密度较高的环境，推荐使用数字化室内覆盖技术。与此同时加快推进5G有源室分共享，一套微站实现多家共享，简化5G室分部署，不仅可以节省建设成本，还可在传输引入、外电接引、设备占用等方面做到资源复用。

2 5G 配套规划方案分析

根据5G室内覆盖的设备产品形态，预计5G室内覆盖建设需更多的设备空间、更大的用电容量和更完善的配套体系。初期5G设备暂不能实现一套系统同时兼容2G/3G/4G/5G，故将出现多代设备同时部署安装的情况，因此需要提前考虑电源、空间等5G配套规划。

2.1 电源

室内覆盖系统的设备一般设置在中心机房内，通过专用电源设备供电；扩展单元一般位于设备建筑物弱电间内，通常就地利用物业的交流市电进行供电；远端单元通过光电复合缆由汇聚单元进行远程供电。

由于5G的高频率以及带宽增加，设备功耗增加。4G建设时，各大设备厂商BBU、RRU普遍功耗不超过500W和600W。但由表5可知，5G BBU功耗是4G BBU功耗的3-4倍左右，AAU功耗为4G RRU功耗的1.5-2倍左右，数字化室分远端单元功耗是4G远端单元1.5-2.5倍左右。

表5 数字化室分射频拉远单元参数表
(数据参考厂家交流材料)

基本参数	4G	5G 单模	5G 多模
工作频段	2.3G	3.5G	1.8G/2.1G/3.5G
信号带宽	50MHz	100MHz	100MHz
发射功率	2×125mW	4×250mW	2×125mW+4×250mW
功耗	25W	35W	65W
工作温度	-10+55°C		

某地铁工程原设计接入制式只有2G/3G/4G，建设中需增加5G网络，经测算用电量增加1-1.5倍，部分车站用电量情况如图4所示。

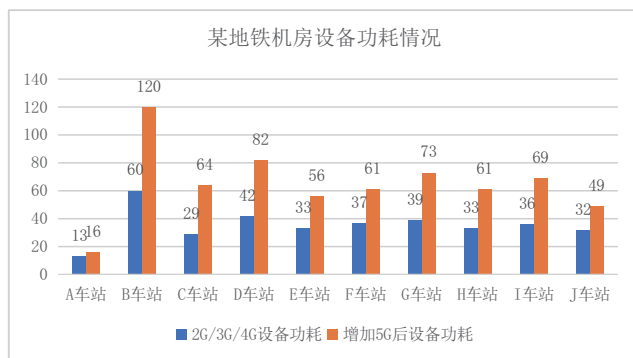


图4 5G设备功耗增长情况

由于用电量可能大幅增加，需为大功率电源预留容量，做好电预留余量的考虑等，同时还要考虑高功耗所带来的散热问题。根据机房设备总功耗及机房面积，计算机房制冷量，匹配相应空调，保证设备处于正常工作温度，维持最佳性能。

随着5G基站软硬件的优化升级，5G能效将逐渐提升，未来5G基站可以采用一些新型节能技术，如数据中心式的散热/冷却技术、智能化能耗调节技术、动态休眠技术等，不断改进5G电源问题。

2.2 空间

(1) 设备间

设备间是建设网络覆盖的重要设施。室内场景覆盖需考虑三家运营商共享的要求，设备间内设备将达到数十个、甚至更多。设备总功耗、设备间面积和承重能力需求将大大增加。根据设备间功能特点的不同，分为中心设备间和拉远设备间。

目前，主流厂家的机房设备机架、开关电源架、交流配电屏以 600mm×600mm 为主，设备前后走道还需留有维护空间。500AH 蓄电池设备占地一般是 1300mm×460mm 左右，1 台 5P 空调占地约 550mm×400mm，理想的共用机房需要 40 m² 空间。但在实际建设过程中，大多数机房在 20-30 m² 左右，如此就需要从电源、接地、监控、空调系统、走线架和馈线窗的设计综合考虑，统筹规划，既要让三家运营商都有安装空间，也要做到高效、整齐，节省投资。

中心设备间用于集中放置本楼宇的所有无线主设备，相关电源、传输和空调等配套设备。中心设备间宜设置在靠近建筑物中心区域的弱电竖井位置，其面积根据设备的布置和操作维护等要求确定，并应预留发展空间，建议不宜小于 24 平米。

拉远设备间用于同楼层或相邻多楼层远端单元汇聚设备的安装，各拉远设备间的分布应结合建筑物内业务及待覆盖区域的特点确定。机房至远端单元之间光电复合缆长度及远供电电源线的线径应满足该光缆所有连接设备电压的压降要求。不具备提供专用拉远设备间条件的，可共用建筑物内的弱电间，具备条件的需提供面积不小于 2 平米的房间做为拉远设备间。

(2) 室内槽道空间

由于 5G 高频段及 MIMO 功能的实现，其线缆在楼宇安

装槽道内空间占用相较于 4G 增加 2-4 倍。对于无源 DAS 系统中的馈线，考虑更高阶的 MIMO 需占用更多楼宇槽道资源，由于光电复合缆特性及缺乏相关标准，无法像普通光缆一样铺设在弱电管道内。

综合考虑以上两种情况，通信工程专用槽道的建设尤为重要，因此建设时需提前介入，及时与管综、土建等相关专业配合工作。

根据运营商建设策略，2G/4G/5G 将长期并存，因此会对建设场景的空间提出很高的要求，过往的室分设计中只体现平面图纸，无法直观体现管道桥架、天馈的安装，所以可以在室分方案中引入 BIM 制图，通过 BIM 展示机房空间、管道桥架、天馈点位等情况信息，进而更加明确地指导施工，方便后期维护及升级改造。

3 5G 建设场景分析

近些年，随着我国通信网络技术的发展以及智能手机的普及，国内对于通信的需求也朝着高质量的方向转变，根据《中国互联网发展报告 2018》，2018 年我国移动互联网的接入流量达到了 711.1 亿 GB，同比增长了 189.1%，数据流量爆发式增长背后是线上线下服务的加速融合，手机支付、智能出行、视频直播等应用迅速普及。如表 6 所示，根据室分各类场景的业务特点，推荐相应的建设方式。

表 6 5G 建设场景及业务特点

应用场景	主要业务	主要特点	建设方式推荐
大型商场	云 VR/AR、移动直播	大容量、低时延	数字化室分方式
办公写字楼	社交网络、8k 高清视频	大容量、广覆盖	数字化室分方式
医院、企业	智慧医疗、智慧监控	低时延、高可靠	数字化室分方式
工业园、物流园	物联网、车联网、联网无人机	移动性、海量连接	无源 DAS 方式 外打方式
运动场、交通枢纽	高清视频、移动直播	海量连接、大容量	泄漏电缆方式 数字化室分方式 外打方式
住宅小区	智慧监控、物联网	低功耗大连接	外打方式 MDAS 方式

随着 5G 标准的落地应用，可穿戴设备、工业物联网、人工智能等领域也将有大量的应用场景，更多的新型业务将会推进移动通信网络的发展。

4 结束语

加快 5G 网络商用部署是政府推动新形势下经济转型发

展的着力点之一，也是中央经济工作会议部署的重点工作之一。对于 5G 建设，如何用更短的时间、更少的投资，完成更加繁重的 5G 建设任务是本重点关注的问题。研究 5G 室分建设策略，因地制宜地制定 5G 室分建设方案，对推动通信行业健康有序发展意义重大。

(收稿日期：2019-08-10；

技术审核：王荣；责任编辑：王玉)

面向 5G 的高阶 MIMO 技术理论与应用分析

张庆 肖荣军 施碧雄 金花 郭华

中国移动通信集团江苏有限公司

摘要: 随着移动通信技术的发展,新一代移动通信系统中需要更高的数据传输带宽、更快的传输速率,Massive MIMO 凭借其高频谱利用率成为新一代移动通信系统中无线信号发射和接收的核心技术。本文介绍了 MIMO 的工作原理以及新一代移动通信系统 MIMO 优化算法,为 MIMO 技术及应用提供系统解决方案。

关键词: Massive MIMO; 新一代移动通信; 256QAM; AFC

0 引言

随着 5G 的正式商用,高速数据业务时代将拉开帷幕,基于高带宽、低延迟、大连接的 5G 网络将在网络的体系结构、无线侧的毫米波、大规模 MIMO、智能设备和物联网应用等方面引入新技术,提升网络吞吐量,提升无线网络链路的传输带宽、无线频谱资源应用、高密度基站部署的网络异构应用等。

在新一代移动网络中,原先 4G 网络中的多天线技术如 8 端口 MU-MIMO (多用户多输入多输出)、CoMP (Coordinated Multi-pointTx/Rx 协作多点传输) 等技术已不能满足需求,需要在新网络中采用大规模天线阵列的 MU-MIMO 技术,称为 Massive MIMO。

Massive MIMO 在无线信道物理层进行优化,主要包括:基站无线天线架构革新、基站无线侧信道预编码改进、基站侧无线信号检测、基站侧信道误码估计、控制信道算法性能优化等。

1 MIMO 技术介绍

随着无线通信技术的发展,5G 网络已推出。在新一代移动通信系统中,人们对通信系统的带宽、传输速率提出了更高的要求。MIMO 系统在频率利用率以及无线覆盖提升方面带来了创新性的改变。

典型的 MIMO 应用系统如图 1 所示,在发射端通过 m 个发射天线进行发射,在接收端设置 n 个接收天线。根据无线通信理论,在接收端 n 根天线都会接收到发射端天线的内容。在 MIMO 系统中,大数据应用系统产生的高速、高带宽数据流被系统切割成低速率的数据流,系统通过不同的天线进行发射。接收端接收到多个数据混合数据源,利用空间信道独立的衰落特性,区分这些并行、分布式的数据流,并进行合并整合复原,从而在相同的频率资源内获得更高的传输带宽、输出速率。

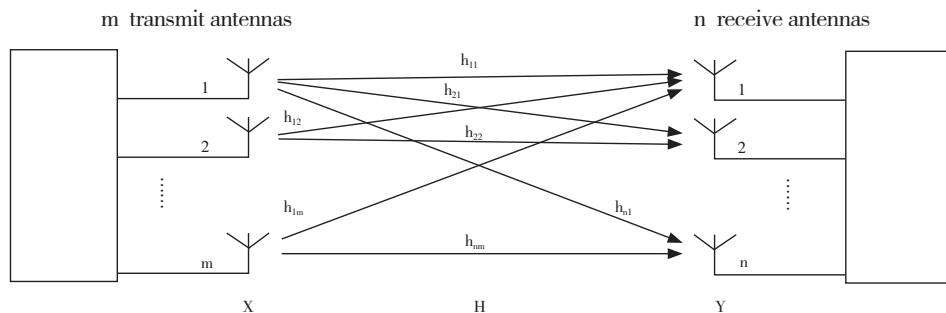


图 1 MIMO 应用系统

2 接收端高阶 MIMO 解调算法优化

在接收端,多天线系统中多根天线接收的信号是所有发射端天线信号经过对应信道后所得信号的总和,因此需要对接收算法进行优化,从多根接收天线中准确解调出发射端多根发

射天线信号,这是多天线系统的至关重要的技术。目前,常用的 MIMO 检测算法分为为两类:线性检测和非线性检测。其中,线性检测中传统的算法如 MMSE (Minimum Mean Squared Error 最小均方误差),复杂度低但其性能受制于无线通信的信道环境,随着高阶 MIMO 的引入,其系统的误码性能不够

理想。而非线性检测中的最优检测算法 ML（最大似然算法）由于其复杂度随着调制阶数和天线数成指数增长，基本上不可能被应用在实际系统，尤其是采用了 256QAM（Quadrature Amplitude Modulation 正交振幅调制）和 8 天线的 TD-LTE 高频高速热点接入系统。

为提升高阶调制算法 MIMO 的性能，需优化算法与高阶 MIMO 检测算法。通过分析 256QAM 星座图，基于 256QAM 分层结构的特点，把 256QAM 分割成多层低阶调制星座图。根据各层调制特点，设置不同的加权系数，同时在接收端接收到的数据对应的比特在判决系统中出错的概率也不尽相同。

256QAM 分层调制技术为进行低复杂度的解调技术提供了基础，同时也为联合开发低复杂度、高性能的检测算法提供了一条途径。

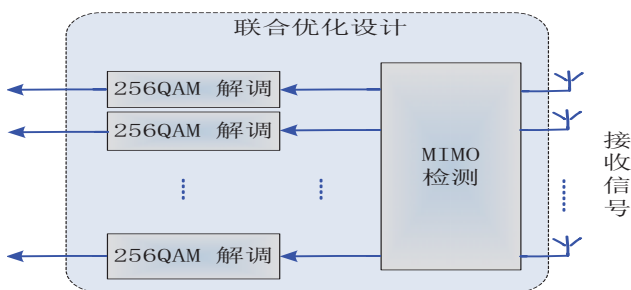


图 2 高阶 MIMO 解调算法优化方案

优化算法中提出联合高阶调制与高阶 MIMO 的低复杂度、高性能的联合解调检测方案，能够灵活地满足用户 QoS（服务质量）要求，具体的算法解析如图二所示。在设计联合解调检测方案的同时，要兼顾考虑影响高阶 MIMO 性能的一个重要因素：大量天线间的干扰相关性问题。基于以上对高阶 MIMO 接收端两个主要问题的分析和可能方案的探讨，本文认为在此基础上进行深度研究开发，可以创造出具有自主知识产权的核心技术，为 TD-LTE 高频率、高速热点接入系统提供具有一定的先进性、创新性和可行性的检查方案。

该技术的创新点将有：

- (1) 联合解决了高阶调制与高阶 MIMO 的复杂度、高性能算法，联合了解调检测方案，提升了接收端的解调性能；
- (2) 考虑接收天线干扰相关性的选择性天线接收优化的 MIMO 解调算法。

3 高阶单用户 MIMO 自适应机制和算法优化

为了满足 5G 通信条线下用户对网络带宽快速增长的要求，特别是小视频直播、高清电视会议、VR（虚拟现实）游

戏等业务，需对高阶用户 MIMO 无线发射端算法进行优化和改进，主要是对频率残差估计方案进行优化。

3.1 频率残差优化算法

导频密度降低后，必须考虑残余频偏对信道估计精度的影响。频率残差估计方案如下。

(1) 频率域估计

没有做导频减少时子帧，不用估计频率偏差，对应数据位置上的信道直接通过 CRS 估计（cell specific reference signal 小区特定参考信号），而导频减少的子帧需要考虑频率残差的问题，估计频率残差使用的是相邻的两个 CRS，如图 3 所示。

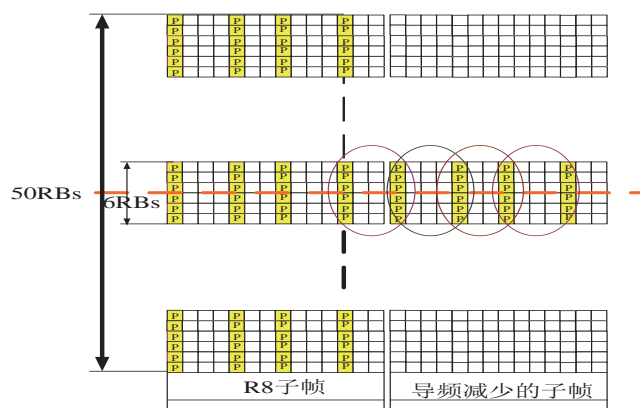


图 3 CRS 开销降低后的导频设计图

对接收信号做 FFT（快速傅氏变换），在频域利用前后两个相邻导频（同一个频点）做延迟相关， M_{chip} 为两个相邻 RS 之间的采样点个数，目前我们系统有两个值。

$$\begin{aligned} Z &= \sum_{n=0}^{N-1} R(n)R^*(n + M_{chip}) \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} s(n)e^{j2\pi\Delta f n T_s} \left(s(n + M_{chip})e^{j2\pi\Delta f (n + M_{chip}) T_s} \right)^* \\ &= e^{-j2\pi\Delta f M_{chip} T_s} \sum_{n=0}^{N-1} |s(n)|^2 \end{aligned}$$

因此， $\Delta\hat{f} = -\frac{1}{2\pi M_{chip} T_s} \arg(Z)$ 。

(2) 时域频偏估计

利用 CP 的相关性，在时域对接收信号做延迟相关，有

$$\begin{aligned} Z &= \sum_{n=0}^{L-1} r(n)r^*(n + N) \\ &= \sum_{n=0}^{L-1} s(n)e^{j2\pi\Delta f n T_s} \left(s(n + N)e^{j2\pi\Delta f (n + N) T_s} \right)^* \\ &= e^{-j2\pi\Delta f N T_s} \sum_{n=0}^{L-1} |s(n)|^2 \end{aligned}$$

因此， $\Delta\hat{f} = -\frac{1}{2\pi N T_s} \arg(Z)$ 。

(3) AFC 环路模型

由于目前的方案采用的是同源本振，所以载波频偏非常小，并不需要实时去调节 PLL，我们把这种频率偏差称之为残留频偏。这种残差通常采用跟踪方式进行估计并纠正。我们称之为自动频率纠正 (AFC)。AFC 的闭环结构如图 4 所示。

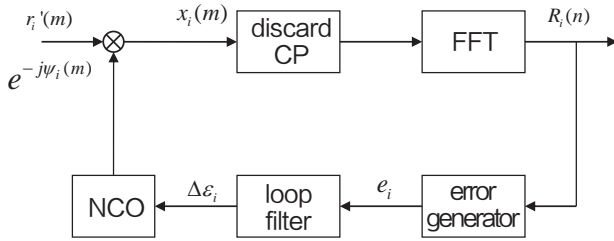


图 4 AFC 的闭环结构图

基本思路为，单次频偏估计可以在时域或频域进行，然后将单次的频偏估计结果输入环路滤波器，最后产生相位对下一部分数据进行补偿。设残留频偏为 $\Delta\epsilon_i$ ， $r_i'(m)$ 为时域接收信号， $-N_g \leq m \leq N-1$ 。e_i 为单次频偏估计结果， α 为滤波器系数。

$$\Delta\hat{\epsilon}_{i+1} = \Delta\epsilon_i + \alpha \cdot e_i$$

$$\psi_i(m) = \psi_i(m-1) + 2\pi\Delta\hat{\epsilon}_i/N, \quad -N_g \leq m \leq N-1$$

导频 overhead reduced 子帧对应最后一个有 CRS OFDM (正交频分复用技术) 符号时域信道值为: $h(n)=\rho_{Amplitude} \times \exp(\theta_{phase})$ ，每个时域采样点的相位因频率残差额外产生的相位差: $\varphi(n)=$

$$\Delta f(t) (n+N_s)T_s。$$

N_s 为一个 OFDM 的采样点数。

则估计的信道为:

$$\hat{h}(n) = h(n) \times \exp(\varphi(n))$$

(4) 频率补偿方案

在 AWGN 下我们知道每个子载波的幅度是固定的，唯一变化的是相位，所以只需要补偿相位就可以达到估计信道的目的。有两种方法:

一种是计算导频开销减少后导频中心子载波的相位 φ_1 ，不做导频开销减少时的子帧对应最后一个 CRS OFDM 符号对应中心子载波的相位 φ_2 ，导频开销减少后的频域信道为 $H(n) = \rho_{Amplitude} \times \exp(\theta_{phase})$ ，对应子帧的信道估计为: $\hat{H}(n) = H(n) \times \exp(\varphi_1 - \varphi_2)$ ；另一种是计算不做导频开销减少后最后一个导频符号和做导频开销减少时相隔 D 个 OFDM 符号，不做导频开销减少子帧的最后一个 OFDM 符号频域信道为 $H(n) = \rho_{Amplitude} \times \exp(\theta_{phase})$ ，对应子帧的信道估计为:

$$\hat{H}(n) = H(n) \times \exp(\Delta\hat{f} \times 0.001 \times D / 14)$$

3.2 频率残差优化算法流程

为解决新一代移动通信中高频、高速、热点应用场景下用户接入系统的问题，高阶单用户 MIMO 调制下行传输系统中，发送端可以利用短时信道状态信息进行一体化的 MIMO 自适应传输，如图 5 所示。

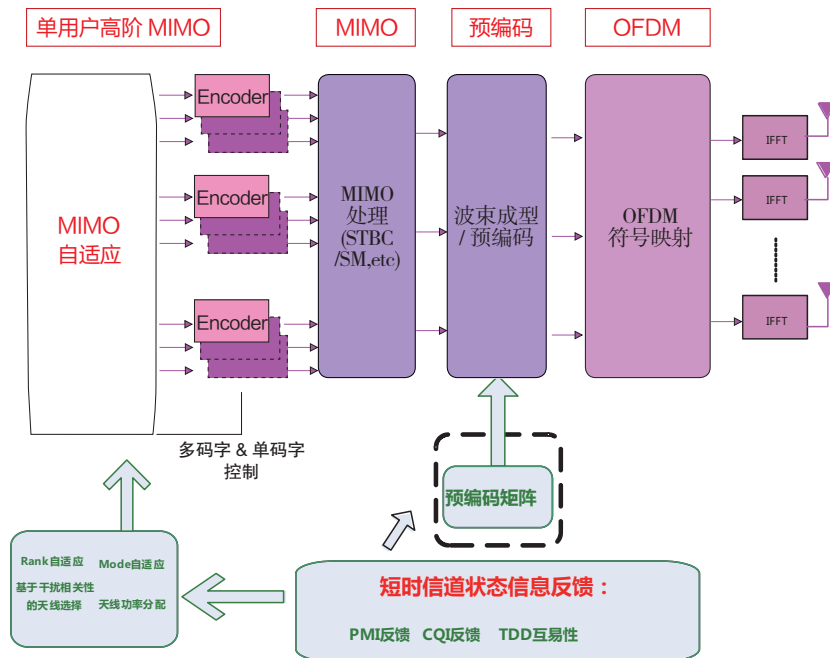


图 5 单用户高阶 MIMO 自适应传输方案

一体化框架下自适应机制中，MIMO 信号分集、MIMO Rank 自适应、权值设定（1, 2, 3, 4 甚至多至 8 个数据流的选择）、MIMO 模式切换、MIMO 发送功率分配（尤其是每个发送天线通道最大发送功率受限下的最优/次优功率分配）以及基于天线间干扰相关性的自适应天线选择等关键问题需要通过算法优化解决。这些 MIMO 自适应都依赖发送端知道全部或者部分信道状态信息。在高频、高速移动环境下，基于用户反馈短时信道状态信息，需要通过给用户多种反馈方式，以保证上述一体化的 MIMO 自适应传输达到最优。一方面，由于是高频、高速移动室内环境，意味收发端之间的信道状态变化快，接收端需反馈全部的信道状态信息；另一方面，基于码本的有限反馈传输方式，由用户将其信道估计得到信道状态信息的有限值，比如均值或者方差反馈到发送端。

在新一代移动通信系统中，由于上行链路、下行链路存在互易性，理论上可以利用上下行链路的互易性，由接收链路获取的下行链路的信道状态信息作为发送上行链路的信道状态信息，即发送端可以通过估计上下行链路而得到信道衰落信息。但是实际系统中由于发射端接受端射频模块的不一

致性、信道估计的时延、信道的时变特性等非理想因素信息，想有效地利用上下行链路的互易性，需要深入、系统地进行研究。

物理层接入的降开销及应用场景具有低时延、低速率的信道条件，其对应的频率选择和时变特性如下：

相干时间：Doppler = 950 Hz @ 500 km/h 2 GHz, Coherence time = 0.45ms；

相干带宽：RMS delay spread = 991 ns, coherence bandwidth \approx 200 kHz。

可见，室内信道的相干时间和相干带宽都远远大于 LTE 的信道场景，为参考信号和控制信道的开销降低提供了很大的空间。

在时间上由于信道慢变，可以只在部分子帧上发送 CRS。对于调制参考信号来讲，一个物理层时频资源内可以使用与 LTE 相同的 pattern 设计，只在部分子帧上发送。在一个子帧内解调参考信号只在用户所在 PDSCH 的部分 PRB 上发送，其它 PRB 的数据解调使用 DMRS 所在 PRB 的信道估计结果。

综上所述，下行参考信号结构如图 6 所示。

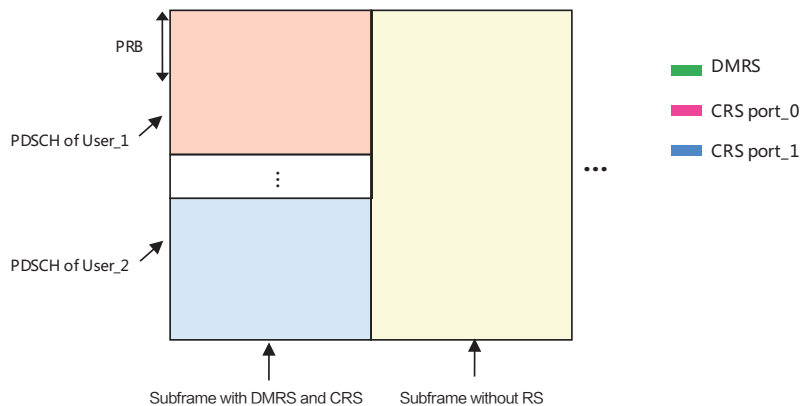


图 6 DL 参考信号开销降低

针对高速数据的场景，其时延要求通常不高，考虑到基于 IP 的语言传输调度周期的典型值为 20ms（即 SPS 业务周期），为用户也假设 20ms 的调度周期。考虑到用户条件通常较好，每个 DL Assignment 占用 1~2 个 CCE 即可满足其性能要求。对于 8 个用户的场景，每个用户都被调度一次，DL Assignment 的总开销不超过 16 个 CCE。在一个子帧内，有 8.5 个 CCE 可以用作 DL Assignment 的传输，那么在 20ms 内，从 DL Assignment 所需要的总开销来看，只需要在 16/8.5=2 个子帧中分别各有一个 OFDM 符号用于 PDCCH 传输。

因此可以得出，该场景下，每个无线帧有一个下行子帧的一个 OFDM 符号用于 PDCCH 传输，此时可支持 8 个用户。

可见，通过降低开销下行峰值速率能够达到甚至超过 WiFi 的峰值速率。

算法优化后主要优势：

- (1) 网络容量大幅度提高，满足 5G 基站的建设要求；
- (2) 多天线发射，提升信号叠加增益，每根天线只需较小功率发射信号，降低基站发射设备的制造成本，减少基站发射设备之间的频间干扰，从而减低系统的建设成本；
- (3) 传统的通信技术引起低延时，需对信道的深度衰落进行技术处理，需要使用信道编码和交织器处理技术，造成接受端通信时延。在大规模天线技术应用条件下，得益于大数定理而产生的衰落消失，信道变得良好，对抗深度衰弱的

下转第 27 页

(陕西省通信学会 2018 年“学术金秋”应用类优秀论文三等奖)

基于 Spearman 算法的 VoLTE 单通分析优化体系的研究与实践

陈向前 胡博 贾磊

中国移动通信集团陕西有限公司

摘要: 本文通过对 VoLTE 的单通问题成因以及关键特征的深入研究和分析, 基于 VoLTE(Voice over LTE) 单通问题的 RTP(Real-time Transport Protocol) 包特征及单通问题和性能指标的关联分析, 借助 Spearman 算法定义出了和 VoLTE 单通问题具有“极强相关性”的 7 项指标, 形成了单通预评估算法体系和单通问题原因定位算法体系, 可以实现对单通问题的高效优化和预防。

关键词: VOLTE; 单通; 预评估; 拐点算法

0 引言

VoLTE 语音业务是中国移动“4G+”战略的重要组成部分, 部署 VoLTE 意味着开启了传统 CS 语音向移动宽带语音演进之路, 同时也标志着移动语音进入了高清语音时代。借助 VoLTE 音质清晰、时延低、可实现语音和数据并发等优点, 4G 网络用户使用感知将会上升到一个新的高度。VoLTE 语音业务正式商用以来, 借助 4G 大带宽、抗干扰能力强的特点, 困扰传统语音的掉话、接通等问题得到了全面地改善。但同时随着 VoLTE 用户逐步增多, VoLTE 通话中语音质量问题也逐渐凸显, 吞字、断续、单通问题严重影响 VoLTE 业务的使用感知, 成为当前语音质量的难点问题。由于单通问题的成因复杂, 再加上业界对宽带语音优化经验不足, 造成现有技术手段难以实现对单通问题全面识别, 单通问题定位困难, 优化难度十分巨大。本文针对 VoLTE 语音的以上问题, 通过对 VoLTE 单通问题的建模分析, 寻找到了 VoLTE 单通 RTP 包特征和关键性能特征。同时结合现网大数据分析结果, 通过建模分析、关联分析、特征识别等步骤, 建立起了一套能够准确识别定位和预识别高单通概率小区的感知评估优化体系, 实现以业务感知驱动网优生产的目标。

1 VoLTE 语音单通定位的原理研究

语音单通是指, 在通话建立后通话双方不能进行正常通话, 其中一方或者双方无法听见对方声音的现象。

在 4G 网络中, VoLTE 语音数据采用 RTP 承载(协议栈如图 1 所示)。RTP 通过引入承载的媒体类型、序列码、时间戳等参数增强 UDP 对数据承载的功能。RTP 本身只保证实时数据的传输, 并不提供可靠的传送机制, 也不提供流量控制或拥塞控制。RTP 的控制由 RTCP(Real-time Control Protocol) 协议来完成。RTCP 主要用于对传输质量的回馈, 各个媒体流之间的同步, RTCP 周期性地汇报 RTP 的传输质量。因此, VoLTE 语音的质量主要和 RTP 包的传输质量相关, RTP 包在传输过程中的丢包、抖动、时延等问题是影响语音质量的关键因素。

1.1 丢包和单通的关系研究

如果收到的 RTP 包序列号不连续, 则可以系统判决为存在 RTP 丢包。由于 VoLTE 终端采用插值补偿机制, 丢包在 2 个以内时可以自行恢复, 但当连续丢包 3 个以上时就会出现吞字问题, 连续出现多个吞字就会形成单通。因此丢包和单通问题具有强相关性。



图 1 RTP 包传输中的丢包问题

1.2 抖动、时延和单通的关系研究

抖动和时延问题会造成 RTP 包到达接收端比预期要晚，如果 RTP 到达接收端的时延仍在接收端允许的时间范围内，虽然语音质量会受到较大影响，但语音包仍能够正常解码，因此不会出现语音单通问题。但是，当 RTP 包到达接收端的时延超出了时间的允许范围，RTP 语音包将被丢弃，此时 RTP 包解码将失败，从而引发单通问题，但单通的根本原因实际仍为语音丢包。因此，抖动、时延和单通不具有强相关性。

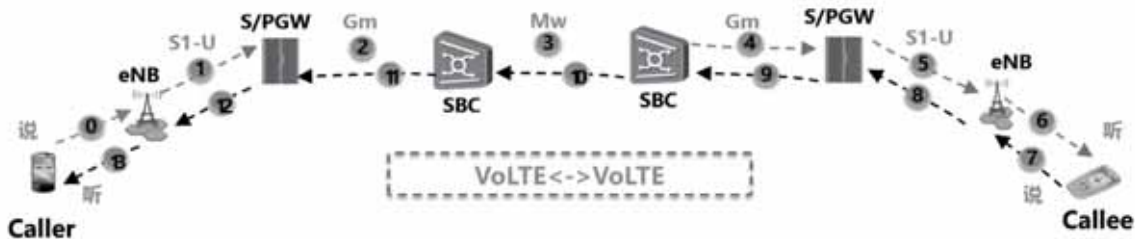


图 2 RTP 包传输通路及相关网元

RTP 的丢包情况一般会使用 RTP 丢包率来进行量化统计，通过对某个方向的两个一组的 RTP 帧进行测量，根据 RTP 报文的序列号（Sequence Number）获取累计总包数和累计丢包数。根据某一方向的 RTCP 报文发送者报告（Sender Report）内容获得累计总包数和累计丢包数，从而可以实现对 RTP 及 RTCP 的丢包率的统计。

综上所述，VoLTE 语音单通问题和 RTP 丢包存在强相关性，通过在设备侧的关键接口对 RTP 丢包情况进行统计，即可发现和定位单通问题。

2 单通的精准识别方法的研究

通过人工听取海量录音文件的方式（58420 次通话），精准采样出单通问题语音样本文件。通过对这些单通样本的 RTP 特征分析和总结，可以从语音样本采集、单通样本人工识别、单通样本 RTP 特征识别、单通识别方法形成四个步骤，

$$\text{通话期 RTP 包数} = \frac{\text{统计周期}}{\text{通话期 RTP 包发送周期}} = \frac{5000}{20} = 250 \text{ 个}$$

公式 1 通话期 RTP 包个数计算方法

通过对 58420 次通话的语音质量进行人工听取筛查，筛查出单通问题样本 8867 例，对问题样本的 RTP 丢包率进行关联分析，发现约有 60% 以上的样本丢包率大于 80%，有 40% 左右的样本 RTP 丢包率为 0。

进一步对丢包率为 0 的 RTP 包数进行统计分析，发现此类样本的 RTP 包数均在 0~3 个，根据前面的计算，在统

1.3 RTP 丢包的统计方法研究

如图 2 所示，在 4G 网络中 RTP 包的传输要经过终端、无线空口、传输网、EPC、IMS 等众多设备和网元的转发才能够到达接收端，通过在关键网元和端口上进行 RTP 包的收发情况的统计即可实现对 RTP 丢包统计的采集。当前业界较为成熟的采集方法为在 Gm、Mw（图 2 中 2、3、4 点所示）等端口进行 RTP 相关报文的采集。

对单通问题的数字化标准建模。

2.1 单通的 RTP 特征识别研究

VoLTE 的通话可以分为通话期和静默期，通话期 (Talk spurts) 是指对应用户正在通话的状态，在通话状态下，每 20ms 传送一次数据。通话期的语音包大小取决于当前采用的编码速率。静默期 (Silent Period) 是对应用户通话停顿的状态，每间隔 160ms 发一个很短的 SID (Silence Insertion Descriptor) 帧。对于 AMR 语音编码速率，SID 帧的长度都是 56bits。在通话过程中，数据用 RTP 包传输，RTP Sequence Number 按照 0,1,2,3,4... 自然数进行编号，直到通话结束。如果收到的 RTP 包序列号不连续，可以通过前后 RTP 包序列号计算丢包个数。

当前局限于采集平台的能力，对 RTP 性能的统计周期最小仅能做到 5s，按照这一统计周期，正常通话中的通话期和静默期的 RTP 的数据量计算如下：

$$\text{静默期 RTP 包数} = \frac{\text{统计周期}}{\text{静默期 RTP 包发送周期}} = \frac{5000}{160} = 31.25 \text{ 个}$$

公式 2 静默期 RTP 包个数计算方法

统计周期内 RTP 包数不应少于 31 个（统计周期内终端处于静默期），说明这些样本的实际丢包率大于 80%。

2.2 精准单通识别规则的确定

考虑到通话过程的各个阶段，并结合上一章节的分析结果，单通的 RTP 特征场景可以分为以下四种：

(1) 单通样本的总体 RTP 包数大于 31 个，并且在统计周期内 (5s) 的 RTP 丢包率大于 80%，则可判定为单通；

(2) 单通样本中的 RTP 包数大于 31 个，但特定两个连续序号的 RTP 包之间的时间间隔大于 5s，即长时间无包的情况，则可以判定为单通；

(3) 单通后用户主动挂机场景，通话结束前最后一个 RTP 包和 BYE 消息的时间间隔大于 3 秒，则可以判定为单通；

(4) 单通样本中无包或者包数较少，即统计时间内 RTP 总包数小于 7 个，则可以判定为单通。

3 单通预评估分析和定位优化体系的研究

由于核心网在 RTP 包传输中具有较高的可靠性，因此在进行问题评估和定位时仅需要考虑无线原因造成的 RTP 传输失败问题，通过 RTP 包特征和无线性能特征的关联分析，确认出单通问题的具体成因以及小区单通发生概率，就能够解决当前 VoLTE 单通优化中的难点问题，研究具体开展思路如下。

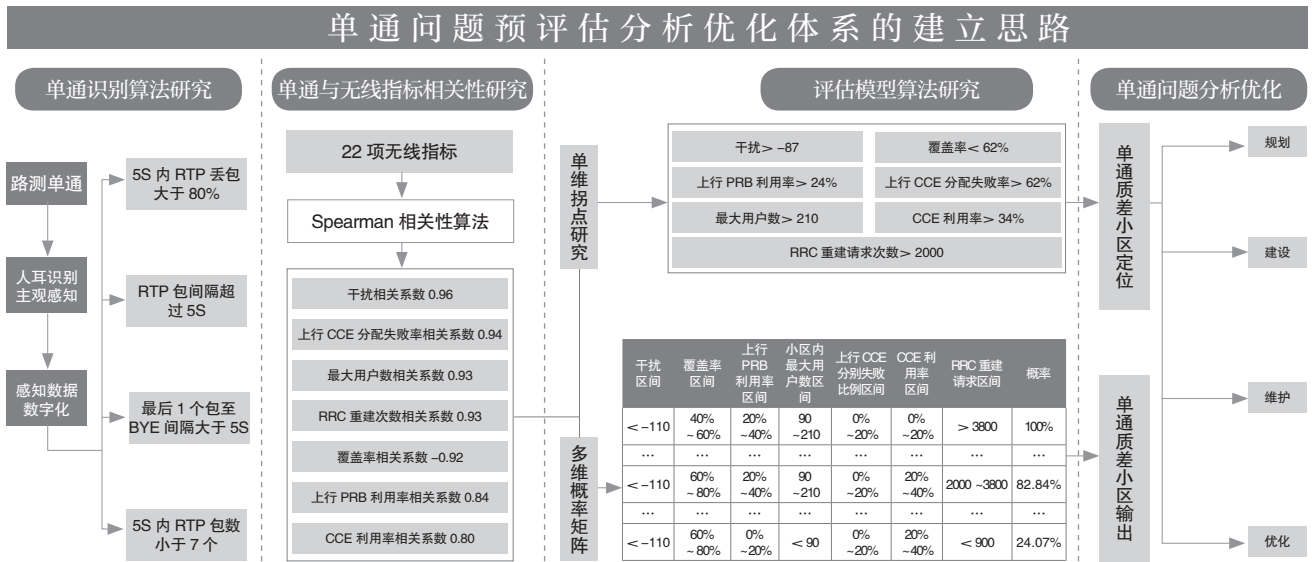


图 3 单通预评估分析优化体系研究思路

3.1 相关性算法研究与选择

目前业界常用的相关性算法有 Pearson 和 Spearman 两种算法，根据需要分析数据的特点，选择恰当的算法，能够保证分析结果的准确性。两种相关性算法的基本原理如下：

(1) Pearson 相关性算法

Pearson 相关系数是用来衡量两个数据集合是否在一条线上，它用来衡量定距变量间的线性关系，相关系数计算公式如下：

$$\rho_{X,Y} = \frac{E(XY) - E(X)E(Y)}{\sqrt{E(X^2) - E^2(X)} \sqrt{E(Y^2) - E^2(Y)}}$$

公式 3 Pearson 计算方法

(2) Spearman 相关性算法

在统计学中，以查尔斯·斯皮尔曼命名的斯皮尔曼等级相关系数，即 spearman 相关系数。经常用希腊字母 ρ 表示。它是衡量两个变量依赖性的非参数指标。它利用单调方程评价两个统计变量的相关性，如果数据中没有重复值，且当两个

变量完全单调相关时，斯皮尔曼相关系数为 +1 或 -1。对于样本容量为 n 的样本，n 个原始数据被转换成等级数据，相关系数 ρ 可用如下公式计算：

$$\rho = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

公式 4 Spearman 计算方法

(3) 两者的区别与算法选择

Pearson 算法适合于连续数据、正态分布、线性关系数据，当所分析的数据不能满足这三个条件之一时，使用 Spearman 算法更为合理。如果所分析数据为定序的测试数据时，使用 Spearman 算法更为准确。

由于本研究中所使用数据均为定序的测试数据，并且不呈现正态分布，因此在相关性算法上更适合使用 Spearman。

3.2 关键性能指标和单通的相关性研究

通过对网络关键的性能指标和单通的相关性进行研究，

定义出和单通相关性最强的性能指标作为单通评估模型中的关键性能评估项，业界对 Spearman 算法相关系数的定义如下：

- 0.8-1.0 为极强相关；
- 0.6-0.8 为强相关；
- 0.4-0.6 为中等程度相关；
- 0.2-0.4 为弱相关；
- 0.0-0.2 为极弱相关或无相关。

为了保证评估结果的精准，我们要求评估体系构建时所选的 KPI 项和单通问题具有“极强相关性”，也就是说两者的相关系数要大于 0.8。

选择干扰、覆盖、容量、切换、语音质量等 5 个维度的 22 项关键 KPI 项和单通进行相关性计算，计算结果如下表。

分类	无线指标	Spearman 相关系数
干扰问题	干扰	0.96
	覆盖率	-0.92
覆盖问题	过覆盖小区数	0.56
	同频重叠覆盖度	0.78
	TA 大于 2km 占比	0.62
	eSrvcc 切换占比	0.35
	上行 PRB 利用率	0.84
容量问题	最大用户数	0.93
	平均用户数	0.75
	小区内业务数据待发送的最大用户数	0.49
	小区内业务数据待发送的平均用户	0.7

容量问题	上行 CCE 分配失败率	0.94
	CCE 利用率	0.8
切换问题	乒乓切换次数	0.34
	Volte 掉话率	0.03
信道质量问题	RRC 重建比例	0.73
	RRC 重建次数	0.93
	Volte 接通率	-0.42
	Volte 上行丢包率	0.75
	上行初始 Ibler	0.76
	上行遗留 Ibler	0.75
	上行发射功率余量	-0.77

我们确认出干扰、覆盖、容量和质量维度的 7 项关键 KPI 和单通的相关系数大于 0.8，也就是说两者之间存在“极强相关性”，可以作为构建单通评估体系和问题定位的依据。

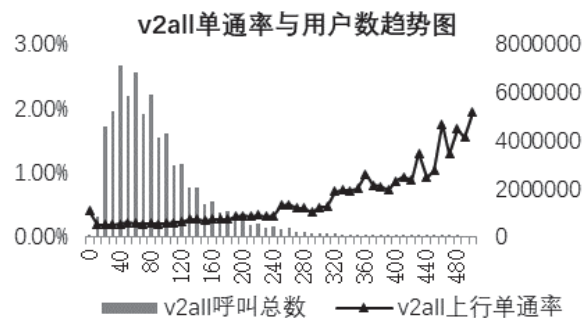
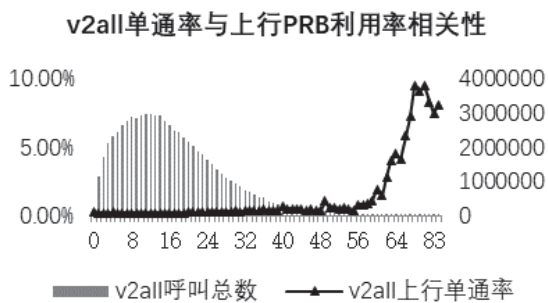
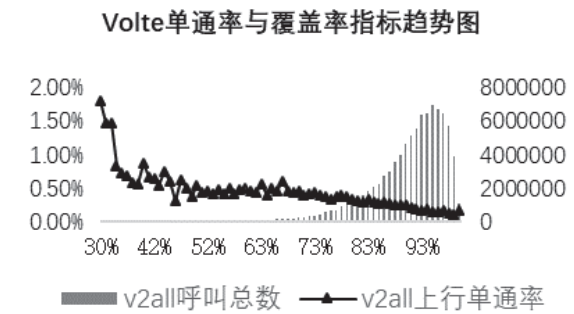
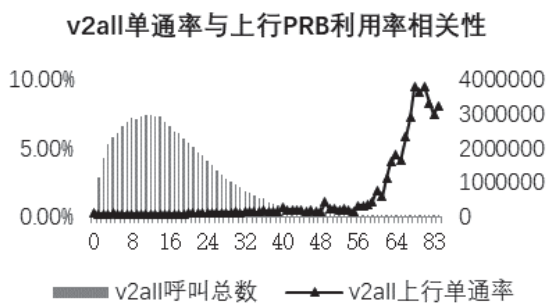
3.3 单通问题定位算法的研究

将 2.2 章节中的确定的单通精准定位算法固话在工具平台，可以实现对小区的单通次数和通话次数的统计，从而得到小区的单通率：

$$\text{单通率} = \frac{\text{单通次数}}{\text{通话次数}} \times 100\%$$

公式 5 单通率计算方法

将小区的单通率和 3.2 章节中的 7 项“极强相关”的 KPI 进行关联分析，关联数据结果如图 3 所示。



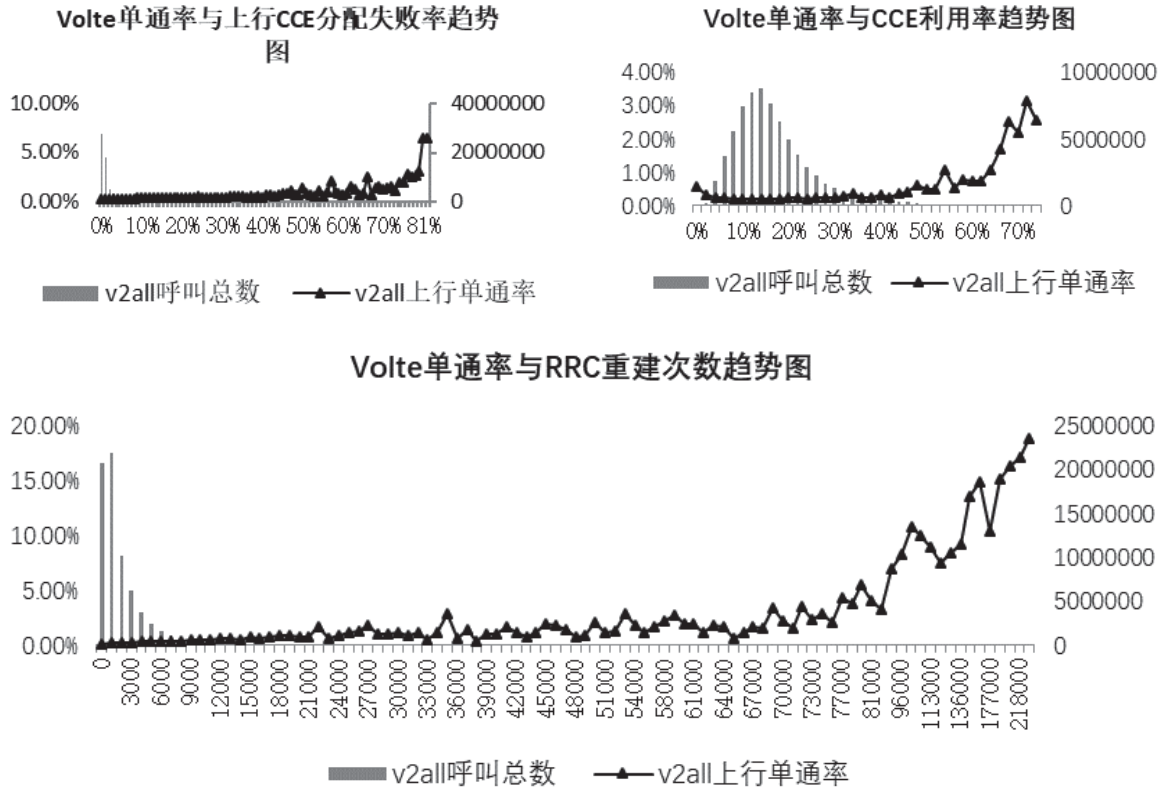


图3 小区单通率和7项“极强相关”KPI 关联分析结果

根据上述的关联分析数据，结合质量阈值算法，可以实现对单通问题的精准定位，质量阈值算法实现如下。

$$T_n = \begin{cases} n, p_n \geq p & (\text{正相关} +1; \text{负相关} -1) \\ n \pm 1, p_n < p \end{cases}$$

$$T = (\sum_{i=1}^n (n_1 + n_2 + \dots + n_i)) / \text{小区总数}$$

其中n为单通小区质量阈值、T为质量阈值、P为概率阈值。举例说明，假设概率阈值为60%，则 $p_n = (\text{干扰大于}-87\text{的单通小区}) / (\text{干扰大于}-87\text{的所有小区}) \geq 60\%$ 时，我们就定义该采样点质量阈值 T_n 为-87；当 $p_n = (\text{干扰大于}-87\text{的单通小区}) / (\text{干扰大于}-87\text{的所有小区}) < 60\%$ ，则定义该采样点的质量阈值为 $T_n = -87 - 1 = -88$ 。通过对3000个有效样本的累计计算，最终得出准确的质量阈值。

通过质量阈值算法，我们可以计算得出7项关键KPI的概率阈值所对应的质量阈值。采用三维八元单通问题定位体系，即可实现单通问题的原因定位。

3.3 单通问题预评估算法的研究

将7项关键指标可能的取值进行区间划分，具体划分原则如下：

- (1) 干扰: <-110、-110~-105、-105~-100、>-100；

- (2) 覆盖率区间: 0~20%、20%~40%、40%~60%、60%~80%、80%~100%；
- (3) 上行PRB利用率区间: 0~20%、20%~40%、40%~60%、60%~80%、80%~100%；
- (4) 小区最大用户数区间: 0~90、90~210、210~280、>280；
- (5) 小区CCE分配失败率区间: 0~20%、20%~40%、40%~60%、60%~80%、80%~100%；
- (6) CCE利用率区间: 0~20%、20%~40%、40%~60%、60%~80%、80%~100%；
- (7) RRC重建请求区间: <900、900~2000、2000~3800、>3800；

将这些区间组成一个7维的矩阵，那么网络中的所有小区必然回落到这个7维矩阵中的某个区间中，然后对每个区间进行单通概率计算，得出每个区间的单通概率，具体单通概率算法如下：

$$\text{单通概率} = \frac{\text{该区间中的单通小区数}}{\text{该区间中的所有小区数}}$$

由此可以形成四维七元单通预评估概率表，通过对所有小区进行查表操作，就可以计算得出每个小区得单通概率。

4 优化体系的实现与实践验证

4.1 单通预评估和优化分析装置的实现

本装置包括：数据自动采集模块、单通精准识别模块、单通预评估模块、单通分析优化模块，如下图所示。

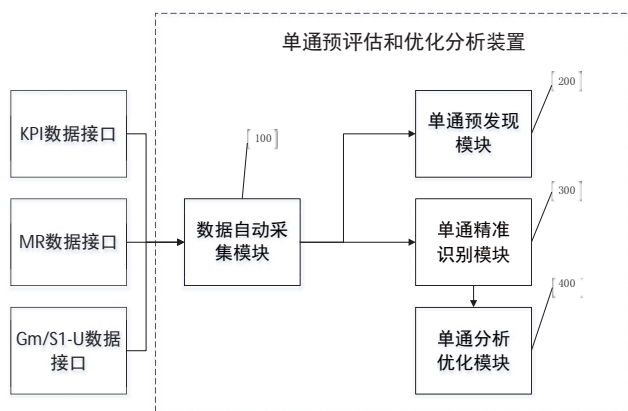


图7 单通预评估和优化分析装置示意图

装置组成具体说明如下：

步骤1：自动采集KPI数据、MR数据、Gm/S1-u口数据等。

步骤2：自动进行小区数据分析，输出预测小区单通概率，针对高概率小区输出分析结果和优化方案。

步骤3：自动根据收集的Gm/S1-u口数据输出单通小区。

步骤4：根据单通精准识别模块输出的单通小区，自动输出单通分析结果和优化方案。

4.2 单通预评估和优化分析工具的实现

使用64位ACCESS2013对本文中的相关研究结果进行固化，工具主要实现两个功能：

(1) 通过输入小区的无线指标预测小区的单通概率，并自动分析高概率单通小区主要质差原因，同时输出解决方案；

(2) 通过输入SEQ平台的单通数据和无线指标，自动分析小区单通的主要原因并输出解决方案。

4.3 单通预评估和优化分析装置的实现

使用近期数据进行单通概率预评估，其中单通概率大于80%的小区约有1149个，主要为地铁、高层居民区、村庄等覆盖不够完善区域。对高频单通概率小区进行问题定位，发现造成单通的主要原因为容量小、弱覆盖、信道质量差等问题，占比约为83%。

目前已落地了4轮单通质差小区的分析结果，其中未处理问题主要为高铁和地铁站点，已处理问题占比为68%，闭环占比45%。优化实施落地后，优化区域的整体单通率降低了0.56%。

5 结论

本文从VoLTE的单通问题成因以及关键特征进行了深入研究和分析，实现了对单通问题的快速优化和预防，研究成果在生产过程中得到应用，并有效地改善了用户感知问题。

（收稿日期：2019-04-08；

技术审核：李鹏；责任编辑：王玉）

（上接第21页）

过程可以大大简化，时延也可以大幅降低。

4 总结

随着5G移动通信网络的大规模建设，通信频段向更高的频段部署，大规模天线理论及Massive MIMO等核心技术将在满足5G业务需求中发挥至关重要的作用。高阶MIMO自适应机制及算法的技术能很好满足5G系统设计中频谱效率、

峰值速率、用户体验速率、能量效率的要求。尤其在热点覆盖、分布式覆盖、楼宇覆盖等应用场景中，大规模天线技术能很好解决系统建设中的相关问题。

5G改变社会，5G高速率业务应用场景将有力推动MIMO相关技术日渐成熟，推动大规模MIMO技术的标准化，为产业化提供技术发展动力。

（收稿日期：2019-05-20；

技术审核：丁飞；责任编辑：王玉）

面向 4G 用户感知的负载均衡策略研究

袁旭

江苏省南通专用通信局

摘要: 本文通过研究 IMMLB (Idle Mode Mobility Load Balancing, 空闲态负载均衡)、AMLE (Active Mode Load Equalization, 主动模式负载均衡)、IFLB (InterFreq Load Balance, 异频负载均衡) 三种负载均衡策略之间不同优势特点, 并结合实际扇区 KPI 及 DPI 数据进行分析。技术上, 创新引入伙伴小区负载均衡策略, 通过站间 X2 接口进行负荷交互, 实现服务小区与伙伴小区间负荷动态平衡。方案上, 创新采取激活空闲双均衡, 高低话务双策略, 提高组网灵活性和可用性。

关键词: 负载均衡; 负荷交互组网; 资源利用率; 用户感知

0 引言

在话务日渐增长且结构复杂的网络中, 提高负荷场景的网络品质是一大难题。本文从技术创新、方案创新两个方面, 总结出在不同网络覆盖及负荷场景中, 通过采用多种负载均衡参数策略实现高负荷场景扇区间负荷分流平均, 替代原本通过控制覆盖及接入来分担网络负荷的方式。采用的新型 AMLE (Active Mode Load Equalization, 主动模式负载均衡) 负载均衡策略, 不同于传统负载均衡方式中通过固定门限实现功能开关, 而是通过 X2 口动态监控及目标对象间智能排序, 实现更加科学合理的负载均衡。同时针对不同负荷场景, 研究网络负荷与用户感知间的关系, 总结感知影响拐点负荷门限, 将场景分为高低负荷两种, 在保证用户感知前提下灵活采取不同的负载均衡策略。

1 负载均衡功能原理

1.1 IMMLB 功能

IMMLB (Idle Mode Mobility Load Balancing, 空闲态负载均衡) 基于实时检测服务小区可用容量触发, 根据参数配置可用于空闲态负载均衡调度的 UE (User Equipment, 用户设备) 百分比来判定需要释放多少个 UE, 并根据参数中配置邻小区的特定频点的权重, 采用加权轮循调度算法计算出各频点临时优先级, 并在 RRCCConnectionRelease 的 IdleModeMobilityControlInfo 中下发优先级以控制将 UE 重选到目标小区。

1.2 AMLE 功能

AMLE (Active Mode Load Equalization, 主动模式负载均衡) 基于服务小区与伙伴小区通过 X2 交互小区可用容

量 (CAC), 并以此判断源小区与目标小区负荷是否满足 AMLE 激活条件。针对 iFLBBearCheckTimer 满足且非 iFLB 状态的 UE, 启动 A4 测量异频伙伴小区 (相邻小区) 频点, 滤掉 RSRP & RSRQ & CAC 等条件不满足的小区后, 将所有小区按 ΔCAC (伙伴小区与服务小区的 CAC 差距门限) 降序, 选择 ΔCAC 最大的小区作为目标小区进行异频切换。

CAC 的交互说明:

- (1) 同站: 开启 AMLE 功能, 同站不同小区间 CAC 交互;
- (2) 异站: 服务站点与目标站点同时开启 AMLE 功能, 周期性 X2 交互 CAC。



图 1 CAC 交互流程图

AMLE 的激活需同时满足以下 3 条件:

- (1) $CACS < \max CacThreshold$ (建议值: 0);
- (2) $CAC_T \geq cacHeadroom$ (建议值: 80);
- (3) $CAC_T - CACS > \Delta CAC$ (建议值: 20)。

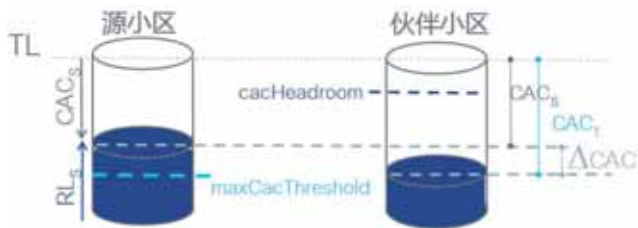


图 2 AMLE 激活条件

AMLE 执行对象的选择:

剔除 RSRQ&RSRQ 小于 thresholdRsrpIFLBFilter 和 threshold RsrqIFLBFilter 的小区;

剔除负荷切换黑名单小区;

剔除 CAC 不满足要求的小区 (同 AMLE 激活条件);

目标小区按 Δ CAC 降序排序;

选择 Δ CAC 最大的小区作为 AMLE 执行对象进行异频切换。

1.3 IFLB 功能

IFLB(InterFreq Load Balance, 异频负载均衡)功能打开后,每个小区都会周期性的测量 DL GBR、DL non-GBR 和 PDCCH load,同一 ENB(eNodeB)中的小区会相互交换负载信息。ENB 会决定小区退出或进入 IFLB 状态。针对 IFLBBearCheckTimer 满足的 UE,启动 A4 测量异频伙伴小区频点,滤掉 RSRP&RSRQ&CAC 条件不满足的小区后,同站所有小区按 CAC 降序,再选择 CAC 最大的小区作为目标小区进行异频切换。如果同站没有合适的小区则会按 RSRP 高低选择,如果 RSRP 最好的小区不存在 REL,则会选择 RSRP 次好的小区,以此类推。

(1) 负载的监控

同站:每个小区都会周期性的测量 DL GBR、DL non-GBR 和 PDCCH load,同个 ENB 中的小区会相互交换负载信息。ENB 会决定小区退出或进入 IFLB 状态。

异站:非同站的小区的 CAC 信息是未知的,即切换会以同站异频小区优先,如果同站没有合适的小区则会按 RSRP 高低选择。

(2) IFLB 激活条件

GBR Load、non-GBR Load 和 PDCCH Load 只要有一个超过 high-load 门限,小区就进入 IFLB 状态;GBR Load、non-GBR Load 和 PDCCH Load 都低于 target load 门限,小区就退出 IFLB

状态。

(3) IFLB 执行对象选择

剔除 RSRP&RSRQ 小于 thresholdRsrpIFLBFilter 和 threshold RsrqIFLBFilter 的小区;

剔除负荷切换黑名单小区;

目标小区按 CAC 排序;

选择 CAC 最大的小区作为执行对象进行异频切换;

如果同站没有合适的小区则会选 RSRP 最高的异站小区。

2 实际组网应用

选取校园场景采取多方案负载均衡策略,该校园完全依靠室外站覆盖,共安装室外站 6 个,其中每个扇区方向同时装有 1.8G 和 2.1G 两个载频,长期存在 PRB (Physical Resource Block, 物理资源块) 利用率高到但用户感知差的问题。对两频点统计发现,UE 主要集中在 1.8G 载频上,2.1G 载频吸收的用户数较少。这主要是因为 1.8G 相对于 2.1G 网络,频率衰减较小,深度覆盖质量较好,UE 在进入业务态后容易通过 A3 事件切换到 1.8G 频段。该校园网络特征为:

(1) 从时间维度的业务分布来看,校园 4G 网络的业务高峰主要出现在节假日或者夜间 20 点 -23 点时间段;

(2) 从地理维度的业务分布来看,业务量主要集中在校园宿舍覆盖区域的扇区上;

(3) 从业务类型方面来看,以在线游戏、直播、视频为主,该类业务对时延和速率的要求较高。

现网运行中,当用户数大于 82 且扇区 PRB 利用率大于 58.5% 时,用户感知会出现明显下降,如图 3 所示。在开通所有扇区 IMMLB 均衡策略后,将校园内站点按 PRB 利用率分为两类:忙时 PRB 利用率高于 58.5% 的忙小区和忙时 PRB 利用率小于 58.5% 的一般小区。

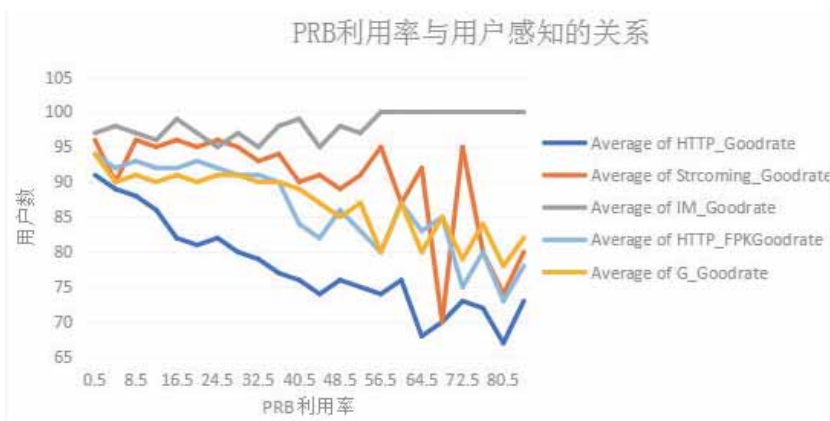


图 3 PRB 利用率与用户感知的关系

下转第 34 页

从价值工程的角度看通信运营商高铁的移动网覆盖

程长春

中国电信股份有限公司连云港分公司

摘要: 随着我国高速铁路的迅速建设,人们的出行更加便捷,但这也对高铁上移动网覆盖带来新的挑战 and 压力。

本文结合高铁移动网建设的方式、难点、成本、价值等方面,从价值工程角度出发,提出跨界合作,联合建设,采用新的覆盖方式,降低建设成本,提升用户感知,实现双赢等方案。

关键词: 高铁移动网; 价值工程; 高铁 WIFI; 高铁无线宽带接入网

0 引言

伴随着高铁和移动互联网的发展,人们在高铁上使用手机、笔记本电脑等终端的频次也越来越高。由于高铁移动网络覆盖自身的特点,如车体损耗大、移动速度快、多普勒效应明显、切换频繁等,使得高铁用户体验存在信号不稳定、数据连接速率低、用户感知差等问题。在 KPI 指标上则使得掉线率、无线连接成功率、切换成功率等指标劣化。

1 高铁移动网的建设

高铁沿线的移动网覆盖,需要结合网络结构、无线环境、投资情况等多种因素综合确定。

1.1 高铁移动网覆盖的难点

高铁移动网覆盖的主要特征:

(1) 高铁无线覆盖区是狭长定向形,天线的指向角度比较明确;

(2) 列车移动的速度非常快;

(3) 车体损耗较一般车辆大,从而带来高铁覆盖的三大难题:多普勒频偏、穿透损耗大、频繁切换。

目前,我国的高铁机车类型主要有庞巴迪、动车组列车,新型全封闭高速列车穿透损耗更高。若再考虑实际覆盖时基站入射角度与列车夹角等问题,实际穿透损耗会更大,从而导致列车内覆盖严重下降,影响正常切换,产生掉话和通话质量差的问题。以庞巴迪列车为例,24dB 的穿透损耗相当于目前城区中新建钢筋混凝土住宅的墙体损耗。

1.2 高铁移动网的主要建设方式

高铁上的移动网信号覆盖质量对三家通信运营商来讲,不仅代表经济利益,更涉及用户满意度和品牌,意味着社会影响。为此,三家运营商均倾力打造,中国电信、江苏电信更是率先喊出“高铁不掉线”的口号,也打出了电信的品牌。但是,在提升品牌的同时,高铁沿线通信网的建设投资随着基站数量的增加也大幅增加。以江苏某运营商为例,高铁沿线平均站间距在 800 米左右,与城区的站点距离相当。

目前高铁覆盖主要有两种方式:分别是公网方式和专网方式。但是,不管何种方式,高铁沿线基站覆盖的数量均要增加到一定量,才能满足覆盖要求。

(1) 公网方式:是将高铁沿线的覆盖,融入周边大网统一规划和考虑;

(2) 专网方式:采用的是单独组网。即高铁专网和周边大网分开,除车站外,高铁专网基站和周边大网基站不设邻区关系,避免发生切换。

无论是公网方式还是专网方式,为了减少终端的切换次数,都在网络中不同程度地将沿线多个不同 RRU 进行扇区合并,牺牲了一定的网络资源,特别是高铁的大部分路段都处于郊区、农村区域。在资源紧张的情况下,不利于提升资源利用率。

2 高铁移动网的价值工程分析

价值工程简称 VE,也称价值分析(Value Analysis,简写 VA),是指以产品或作业的功能分析为核心,以提高产品或作业的价值为目的,力求以最低寿命周期成本实现产品或作业使用所要求的必要功能的一项有组织的创造性活动,有些人也称其为功能成本分析。

价值工程涉及到价值、功能和寿命周期成本等三个基本要素。其基本思想是以最少的费用换取所需要的功能。

价值工程把“价值”定义为：“对象所具有的功能与获得该功能的全部费用之比”，即 $V=F/C$ ，公式中， V 为“价值”， F 为功能， C 为成本。

提高价值的基本途径有 5 种即：

- (1) 提高功能，降低成本，大幅度提高价值 $F \uparrow C \downarrow = V \uparrow \uparrow$ ；
- (2) 功能不变，成本降低，提高价值 $F \rightarrow C \downarrow = V \uparrow$ ；
- (3) 功能有所提高，成本保持不变，从而提高价值 $F \uparrow C \rightarrow = V \uparrow$ ；
- (4) 功能略有下降，成本大幅度降低，从而提高价值 $F \downarrow C \downarrow \downarrow = V \uparrow$ ；
- (5) 以成本的适当提高换取功能的大幅度提高，从而提高价值 $F \uparrow \uparrow C \uparrow = V \uparrow$ 。

2.1 高铁移动网的功能、成本和价值

功能：从用户角度来讲，高铁移动网的主要功能与其他场景相比，除了用户身处高铁其他没有明显的差异，同样是为用户提供通话、上网、微信、视频、网购等业务。从运营商角度来讲，通过为用户提供各类服务和流量而获取收益。但不管是用户还是运营商，不会因为用户身处高铁或是身处市区、农村等不同场景，就收取或缴纳不同业务费用，高铁移动网和其他场景的功能相同，特别是郊农区域的高铁和一般的郊农区域。

成本：即运营商进行高铁覆盖而投入的一次性建设投资以及后续基站维护、优化等费用的总和。

价值：即相应的收益与总的成本费用的比值。

2.2 高铁移动网的价值分析

我们以某三线城市新建高铁为例，该市全市共有 LTE1.8G 室外站点 3454 个，L800 室外站点 1175 个。其中该市新建高铁约 140 公里，沿线基站分两层信号覆盖，分别采用 L1.8G 和 L800M。L1.8 基站数量约 150 个，站间距在 900 米左右；L800 基站数量约 120 个，站间距在 1150 米左右。

(1) 基站成本：

一次性投资/站：主设备平均 8 万元，落地光缆 1.2 万，设计、监理 2 万，电源基础 8000 元，天线 6000 元。每站合计 12.6 万元。按基站设备生命周期 10 年计，每年均摊投资约 1.3 万元。

后续维护支出/站/年：铁塔租赁费 3 万，电费 7000--8000 元，代维费 2000 元，合计每站每年维护性支出 4 万元。

每个基站总成本支出在每年 5.3 万元、每月 4400 元左右。则全市基站总的成本支出每年 21008.7 万元，每月约 1750.725 万元。其中该市高铁总的支出每年 1071 千万元，每月 89.25 万元。其中由于 L800 与 L1.8 共站安装，共站址的铁塔租赁费只计算一次。

(2) 收益：按每站的流量统计汇总，一周 7*24 小时，该市全市总的室外站点上下行流量每周约 1200TB，每月约 5143TB，按 4 元/GB 的流量收入计，全市室外站点每月流量收入约 2057.2 万元。

其中高铁沿线基站上下行总流量每周约 38TB，每月约 163TB。该市的相应路段的基站流量收入每月 65.2 万元，总体收不抵支，处于亏损。且所统计的流量收入还包含高铁沿线相应的城区、郊区、农村等区域的所有流量收入，不仅仅是高铁上用户使用的流量。

(3) 价值：从总体基站的收支比，即基站的价值来看，高铁沿线基站的值不及全网均值。

表 1 基站价值分析比较

基站比较范围	L1.8 室外站	L800 室外站	流量收入 (元/GB)	总流量 (TB/月)	总支出 (万元/年)	总支出 (万元/月)	总收入 (万元/月)	收支比
全市	3454	1175	4	5143	21008.7	1750.725	2057.2	117.51%
高铁沿线	150	120	4	163	1071	89.25	65.2	73.05%

(4) 按纯高铁上用户产生的话务进行价值分析

首先确认普通用户的业务使用模型，该市用户月平均消费流量为 1.5GB，按每天平均使用 10 小时计，用户平均使用流量约 5MB/小时。按话务忙时计算，每用户忙时平均流量为 18.9MB/小时。

那高铁用户的话务模型呢？根据中国铁道研究院的实测，京沪高铁每分钟同时在线用户数最多为 170 人，平均 100 人左

右。通过对京沪高铁上用户的行为分析发现，所有内容中，图片所占比例最高，约占 48%；其次是应用程序发送的各类信息，约占 37%；再次是文本内容，约占 7%；视频内容约占 5%；其他的内容传输占 2% 左右。超过 90% 的上行流的大小都小于 3.1 KB，超过 90% 的下行流的大小都小于 19.5 KB，上行数据中只有 0.283% 的流大小超过 100 KB，下行数据中只有 3.374% 的流大小超过 100 KB。列车平均总吞吐量始终稳定保持

在 2.5MB/s(20 Mb/s)，每小时累计使用流量 9000MB，每用户平均使用流量 90MB/小时。

该段高铁目前开通列车共 6 对，每辆高铁按短编组共 8 节车厢，列车满员在 800 人。按每辆车有乘客 800 人计，不同运营商按 30% 的市场份额，各有用户 240 人左右。列车运行速度 250 公里/小时，则列车在该路段 140 公里包括停站时间共行驶时间约 1 小时。

按照京沪高铁用户话务模型 90MB/小时计，即使每辆列车 240 名用户在通过该路段同时不间断使用，产生的流量也只有 21.6GB，所有六对列车月使用流量 7776GB，产生收益约 31104 元/月。

那么为完成高铁覆盖，该市新增的基站有多少呢？该市郊农地区 L1.8G 基站的平均站间距在 1500-2000 米，L800M 基站的平均站间距在 1800-2200 米。为完成高铁覆盖，该市大约新增与原有基站同等数量的站点来完成高铁的移动网覆盖。新增基站每月的总体费用支出近 45 万元，新增基站的价值极低。特别是随着不限流量套餐的价格的不断下降，每 GB 的话务收入也在下降，从而使得基站的收益进一步降低。

2.3 优化方案

针对该市高铁覆盖站点的规模，结合京沪高铁的用户话务模型，该段高铁 L1.8G 和 L800M 双频覆盖属于超前投资，对高铁用户流量的使用情况预估过大。从该段高铁的实际测试情况看 L800M 覆盖的平均信号强度 RSRP-85.41dBm，SINR 均值 8.88；L1.8G 的平均信号强度 RSRP-81.89 dBm，SINR 均值 10.84。两路频点的信号接收电平强，信号干扰较为严重，且

L1.8G 和 L800M 同站址安装，与实际的无线传播模型和路径损耗的要求不符。从节约成本、提升基站价值的角度建议如下：

(1) 结合高铁沿线的无线覆盖和话务分布，调配 L1.8G 的站点，减少 L1.8G 站点数量。(2) 将 L1.8G 和 L800M 的站址位置进行调整，将郊区、农村区域的 L1.8G 和 L800M 由同路段重叠覆盖改为 L800M 单层覆盖，后续根据高铁列车开通数量和话务量的增加进行扩容。预计可以减少现有站点中大约 100 个站点数，预计节约主设备投资 800 万元，每月节约维护成本 10 万元。

3 高铁移动网新的竞争者

伴随着中国铁路投资有限公司、浙江吉利控股集团与腾讯公司共同组建的国铁吉讯科技有限公司（国铁吉讯）的正式成立，高铁 WiFi 建设取得了重要进展。用户可下载、使用由国铁吉讯开发的掌上高铁 APP，该 APP 是中国铁路官方 WiFi 入口，能够在保障用户信息安全基础上，为广大旅客提供流畅、免费的高铁 WiFi 服务。目前，掌上高铁 APP 已经覆盖了 274 列复兴号列车，免费 WiFi 每天覆盖旅客约 50 万人次。

高铁 WiFi 覆盖通过每节车厢部署的一台单车服务器进行无线覆盖，车厢之间通过无线桥接或网线互联，一辆列车中部署一台中心服务器，列车通过中心服务器的 4G 链路连接互联网，中心服务器在场站内采用千兆级无线网络同步本地存储信息。用户访问互通时，中心服务器根据收到的用户访问互联网的数据对用户进行审计、安全控制、应用识别、流量限制等。

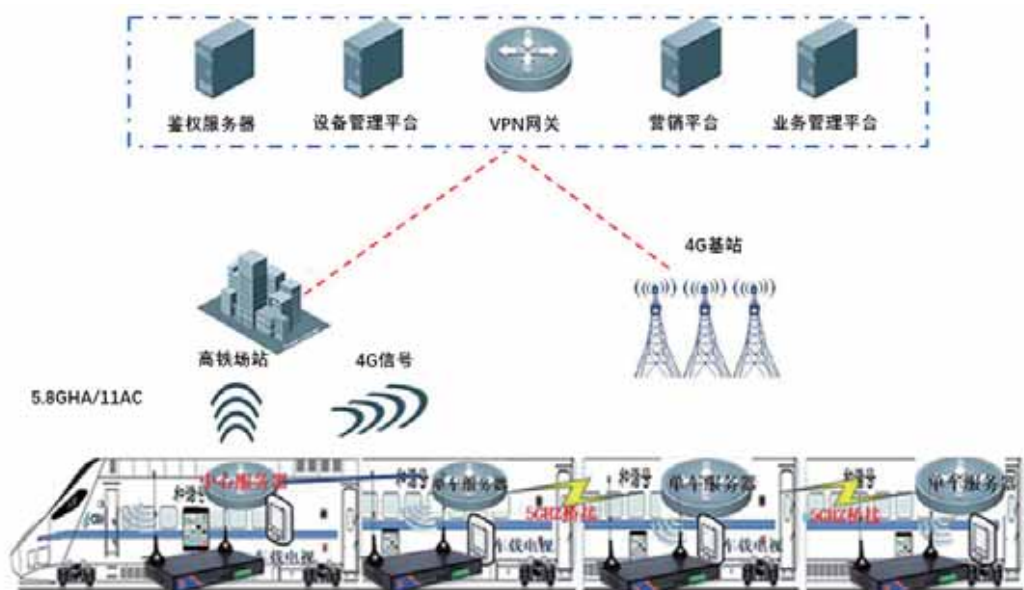


图 1 高铁 WiFi 覆盖方案示意图

从业务使用的角度看,该方案将业务分为车内业务与车外业务,只有需要与车外发生实时联系的业务才通过列车的4G 链路连接运营商的移动网,其余均通过车内的服务器进行处理。

从技术角度看,该方案有效克服了高铁上移动网覆盖穿透损耗大的问题,如果用户不与高铁外界发生业务联系,也有效克服了多普勒频移和切换频繁。

从用户使用的角度看,用户可以获得各类移动互联网服务,且信号稳定、感知良好。

从业务经营的角度看,国铁吉讯可以通过广告、休闲娱乐、新闻资讯、在线点餐、特色电商、联程出行、智慧零售等站车一体化、线上线下协同的出行服务来获得良好的收益。

从价值工程的角度看,国铁吉讯对高铁 WIFI 的开通、运营,有效实现了高铁移动网的异质替代,而且是免费使用,这一点对通信运营商极具杀伤力,有效地挤压了传统运营商的经营空间,通信运营商再一次被管道化。

其余车型还需要进行一定的改造和投入。

从系统的应用情况来看,根据中国铁道研究院的实测分析,该系统还需要在有效吞吐量、资源分配上进行优化。系统总的出口带宽受限于运营商 SIM 卡的能力,受限于运营商沿线的网络覆盖质量。系统下行大于 10MB 的大包数据流的速率 91.5% 在 10KB/S 以上,最大不超过 1000KB/S,与普通环境下的 4G 用户速率存在一定的差距。目前系统只支持三家运营商各三张 SIM 卡,系统总的带宽有限,随着后续业务发展和同时在线用户数的增加,出口带宽会成为瓶颈。

从目前高铁的移动网覆盖来看,运营商高铁沿线的移动网建设主要针对和谐号等车型的损耗来进行网络规划和建设的,网络覆盖也已完成,特别是江苏等东部沿海发达地区的沿线覆盖较好。如果参照复兴号的车体损耗,相应路段还需要增加基站。

由于高铁 WIFI 的系统收发天线是位于列车车厢外,相当于用户在列车外使用业务,从而有效解决了高铁列车穿透损耗大的难题,按照自由空间传播模型计算, $([Lfs](dB)=32.44+20lgd(km)+20lgf(MHz))$,传播距离每增加一倍,路径损耗增加 6dB,在达到同等覆盖电平的基础上,以庞巴迪列车 24dB 的损耗计算,基站与列车的站轨距离理论上可扩大到原来的 16 倍,使得高铁沿线的基站需求数量可大幅减少,从而也有效减少终端频繁切换的次数,有效减少沿线基站的建设投资和费用支出、提升高铁沿线基站的价值。

4 跨界合作、实现双赢

4.1 合作的基础

从高铁 WIFI 的进展来看,目前国铁吉讯仅仅在复兴号上做了 WIFI 覆盖,其余型号的高铁列车还没有进行覆盖,针对

LS-DPS : Light Sensor Data Processing System

RAU: Remote Antenna Unit

LS: Light Sensor

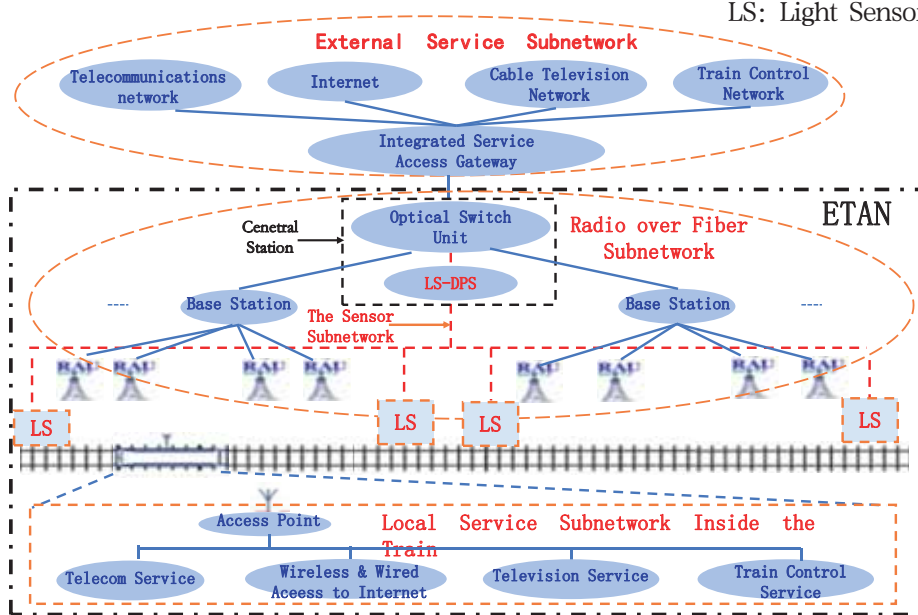


图 2 基于毫米波 5G 的高铁宽带接入网架构

特别是针对新建高铁,将在原有规划的基础上有效减少站址数量,不需要在高铁沿线建设大量基站,就从这一点,运营商就应主动寻求合作。更何况,随着5G牌照的发放,5G建设已经提上日程,由于5G基站的通信频率将更高,路径损耗、穿透损耗将更大,为完成同样的网络覆盖所需的基站数量也将更多,对通信运营商将是巨大的投资压力。

运营商的无线信号引入列车后,用户在列车内可直接与移动互联网相连,不再受到高铁WiFi出口带宽的限制,在良好的无线环境下,用户的业务需求和使用潜能将得到进一步释放。高铁WiFi系统直接接入移动互联网,可不再需要网关鉴权、认证等一系列设备,将节约一大笔投资和维护费用。

4.2 合作共赢

随着移动互联网的爆发式增长,用户在超高流量、超大连接、超高速度等场景下的高清视频、在线游戏等优质服务需求也越来越多。从高铁移动网的覆盖需求来看,北大深圳研究院和北大信息科学院联合研究的基于毫米波的高铁无线宽带接入网技术可有效解决这个需求。该系统由三个部分组成:负责地面到列车之间连接的毫米波RoF(Radio over Fiber)架构,负责车厢内部无线连接的分布系统或局域网(Local Access Network),捕捉列车移动状态和位置信息的光传感网。从系统

的分布来看,ROF毫米波架构和光传感网将由通信运营商建设,而车厢内部的无线连接系统部分,运营商鞭长莫及,只能与铁路部门合作,该系统的实现需要多部门跨界合作,可采用专网方式进行建设。

从市场运营的角度看,高铁移动网的业务需求对三家运营商来讲显得日益重要。如何打破行业壁垒,抢占市场先机,保持行业发展,需要运营商更加积极主动,从技术应用、市场合作等方面作出努力。其实国铁吉讯和高铁WiFi系统本身就是跨界合作的成果,毕竟在市场竞争日益激烈的今天,只有合作才能共赢。

5 结束语

随着高铁线路的不断延伸,高铁互联网将不断拓展,只有打破行业界限、积极推动跨界合作,才能实现高铁建设与移动网覆盖的有效融合,才能更好地实现移动互联网的有效延伸,才能推动智能高铁的快速发展,实现多方共赢、共同发展,真正实现“高铁不掉线”。

(收稿日期:2019-03-05;
技术审核:李鹏;责任编辑:王玉)



(上接第29页)

IFLB策略有固定的负载均衡启动门限(IFLBHighLoadGBRDL、IFLBHighLoadNonGBRDL、IFLBHighLoadPdch),且同基站中小区会相互交换负载信息,非同站小区采取盲切换。该校园站点组网为每个扇区方向同时装有1.8G和2.1G两个载频,在高负荷场景下,忙小区采用IFLB策略实现业务态负载均衡。

一般小区相对于忙小区,PRB利用率较低,这些小区用户感知受PRB影响相对较小,建议采取AMLE策略作为业务态负载均衡方案。站点间通过周期性X2交互CAC,AMLE执行对象选择要求更高,会从目标小区按 Δ CAC降序排序,选择最优的负载均衡策略,相对IFLB盲切换更加精确高效。通过使用AMLE策略,可提高一般小区的用户感知。由于校园扇区本身具有时间维度上负荷波动,因此,实际操作中建议两种策略同时实施。

表 开启负载均衡前后平均PRB利用率变化

扇区频点	开启负载均衡前 平均PRB利用率	开启负载均衡后 平均PRB利用率
1.8G	70%	48%
2.1G	21%	45%

经系统优化,主要扇区1.8G与2.1G载频间负荷趋于均衡,整体资源利用率得到提升(如上表所示),用户感知有较大改善。

3 结束语

本文对多方案负载均衡进行研究,解决了高话务区域原本不同频点间话务差异大现象,相同覆盖区域各载频间话务更加均衡,不仅提升了整体资源利用率、获得更大的实际容量,也使得各扇区PRB利用率及激活用户数趋于平均。这使得每个用户分到的网络资源更均衡,进而获得更加良好的感知体验。对于用户数较多的热点区域,该方案可使网络性能及容量得到最大化利用,提升用户感知。

(收稿日期:2019-06-04;
技术审核:丁飞;责任编辑:王玉)

(2018 年度“和勤杯”获奖论文三等奖)

LTE-X2 切换比例的分析优化与探讨

张燕 梅立鑫 孙海

中国联合网络通信集团有限公司苏州分公司

摘要: LTE 系统中处于连接态的 UE 从一个小区进入另一个小区或者系统时需要进行切换, 而 ENB 间切换分为 X2 切换和 S1 切换, 两者的区别在于源 ENB 和目标 ENB 之间基于哪种接口进行切换。S1 切换主要用于跨 MME pool 的 ENB 间切换, 相对 X2 需要和 MME 等上层节点更多的信令交互, 所以切换时延较长, 存在更高的切换失败风险。本文剖析切换占比的影响因素, 结合全网站 X2 切换的占比, S1、X2 切换成功率以及同频异频切换的比例, 分析提高整体切换成功率, 降低切换时延, 提升用户感知的可能性。

关键词: X2 切换; S1 切换; 切换占比; 切换时延; 切换成功率

0 引言

切换成功率直接影响用户的感知, 是非常重要的 KPI 指标之一。苏州联通针对这一问题, 对“X2 切换在 ENB 间切换占比”(简称“X2 切换占比”)结合参数配置和地理空间分析进行研究。

定义:

$$\text{X2 切换占比} = (\text{ENB 间 X2 接口同频切换出成功次数} + \text{ENB 间 X2 接口异频切换出成功次数}) / (\text{ENB 间同频切换出成功次数} + \text{ENB 间异频切换出成功次数})$$

$$\text{X2 同频切换占比} = \text{ENB 间 X2 接口同频切换出成功次数} / \text{ENB 间同频切换出成功次数}$$

$$\text{X2 异频切换占比} = \text{ENB 间 X2 接口异频切换出成功次数} / \text{ENB 间异频切换出成功次数}$$

$$\text{切换成功率} = (\text{ENB 间同频切换出成功次数} + \text{ENB 间异频切换出成功次数}) / (\text{ENB 间同频切换出尝试次数} + \text{ENB 间异频切换出尝试次数})$$

$$\text{X2 切换成功率} = (\text{ENB 间 X2 接口同频切换出成功次数} + \text{ENB 间 X2 接口异频切换出成功次数}) / (\text{ENB 间 X2 接口同频切换出尝试次数} + \text{ENB 间 X2 接口异频切换出尝试次数})$$

$$\text{S1 切换成功率} = (\text{ENB 间同频切换出成功次数} + \text{ENB 间异频切换出成功次数} - \text{ENB 间 X2 接口同频切换出成功次数} - \text{ENB 间 X2 接口异频切换出成功次数}) / (\text{ENB 间同频切换出尝试次数} + \text{ENB 间异频切换出尝试次数} - \text{ENB 间 X2 接口同频切换出尝试次数} - \text{ENB 间 X2 接口异频切换出尝试次数})$$

1 LTE 切换

当 UE 建立了 RRC 连接, 处于连接态, 此时 UE 从一个小区进入另一个小区或者系统时, 需要进行切换, 即连接态下的移动性管理。

LTE 系统内切换分为站内切换和站间切换, 站间切换分为 S1 切换和 X2 切换。其中 S1 即为 ENB 与 MME 的接口, X2 为 ENB 和 ENB 的接口。

LTE 切换时需要 UE 上报测量的结果(包括 RSRP, RSRQ 等), 而上报又分为周期性上报和事件触发的上报, 周期性上报由基站配置, UE 直接上报测量的结果。

系统内: 事件 A1, 服务小区好于绝对门限; 事件 A2, 服务小区差于绝对门限; 事件 A3, 邻小区好于服务小区; 事件 A4, 邻小区好于绝对门限; 事件 A5, 服务小区差于一个绝对门限且邻小区好于一个绝对门限;

系统间: 事件 B1, 表示异系统邻区质量高于一定门限, 满足此条件事件被上报时, 源 eNodeB 启动异系统切换请求; 事件 B2: 表示服务小区质量低于一定门限并且异系统邻区质量高于一定门限。

切换也分为基于业务、基于距离、基于覆盖、基于负荷等的切换, 建网初期多配置为基于覆盖的切换。

2 X2 切换和 S1 切换的区别

切换流程分为三部分: 测量、判决、执行, 下文我们会从各个不同的流程分析 S1 切换和 X2 切换的不同。

(1) X2 切换

A3 或 A4 触发事件上报, 当目标小区和源小区分别属于 2 个 X2 链路的 ENB 时, 引发 ENB 间的 X2 切换, 前提是 2 个 ENB 之间配置了 X2 关系。

当源 ENB 收到 UE 的测量上报, 并判决 UE 向目标 ENB 切换时, 会直接通过 X2 接口向目标 ENB 申请资源, 完成目标小区的资源准备, 之后通过空口的重配消息通知 UE 向目标小区切换, 切换成功后, 目标 ENB 通知源 ENB 释放原来小区的无线资源。此外还要将源 ENB 未发送的数据转发给目标 ENB, 并更新用户平面和控制平面的节点关系, 也就是说在 X2 切换过程中, MME 保持不变, 而与之相连的 SGW 则有可能发生改变。X2 切换过程是在两个 ENB 之间直接进行的, 在切换成功后才通知 MME 进行路径切换。

(2) S1 切换

S1 切换的流程和 X2 类似, 不同点在于有没有 ENB 之间的 X2 链路。如果没有配置 X2 链路, ENB 间的切换走 S1 口切换; 如果同时配置了 X2 和 S1 链路, ENB 间的切换优先走 X2 切换。

由于 HANDOVER REQUEST 中包含了 GUMMEI 信元, 也包含了 MME-GROUP-ID 源小区 MME 相关信息, 如果原基站所属 MME GROUP 和目标基站 MME GROUP 不一致, 则 X2 切换无法执行, 必须走 S1 切换。

如果选择了 S1 切换, 则 HANDOVER REQUEST、HANDOVER REQUESTACKNOWLEDGE 及数据转发需要走 S1 口转发。

二者的差别主要体现在切换准备上, S1 切换处理要比 X2 多两条信令消息, X2 切换时延通过测试统计大概在 30ms 左右, S1 的切换时延要比 X2 多出 20ms 左右, 而如果切换时延定义为重配置到重配置完成, 则切换时延没有差别, 但整个切换流程 S1 切换用时仍然多于 X2 切换用时。另外二者的传输时延也存在不同。

3 X2 占比及成功率的影响因素

以单用户为例, 假设小区半径为 R , 单用户移动速度为 v , 该用户当前的通信过程持续时间为 Δ 。

由此可以计算得出用户在通信过程中的实际移动距离为 $\Delta \cdot v$, 如果这个距离 $\Delta \cdot v \geq 2R$, 则必定超过小区覆盖范围, 必定发生切换; 如果 $\Delta \cdot v \leq 2R$, 则切换发生概率和用户所在小区位置以及移动方向有关。以移动台为参考系, 用户进行的移动和初始所在的点都是不确定因素, 如果以用户为参考系, 用户的移动可以看成是移动台的移动, 如果要求移动台的移动不影响用户的服务小区, 则要求用户处于移动台移动前后的重叠覆盖区域, 如下图所示。

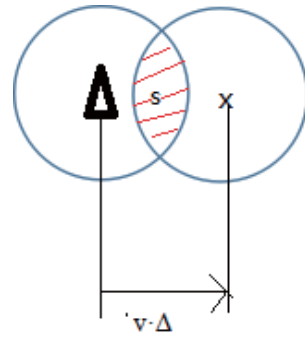


图 1 重叠覆盖区域示意图

即用户仍然驻留在原小区的比例为上图阴影面积占原小区面积的比例:

$$P_{\text{stay}} = \frac{S}{\pi R^2} \quad (1)$$

计算阴影面积 s 可得其概率为:

$$P_{\text{stay}} = \frac{1}{\pi} \left(2 \arccos \left(\frac{\Delta \cdot v}{2R} \right) - \frac{\Delta \cdot v}{R} \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta \cdot v}{2R} \right)^2} \right) \quad (2)$$

而切换出的比例为 $P_{\text{handover}} = 1 - P_{\text{stay}}$, 对于较小的 $\frac{\Delta \cdot v}{2R}$, 可以对上式进行泰勒级数展开, 泰勒级数展开式为:

$$f(x) = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n + \dots \quad (3)$$

则按照 $x = \frac{\Delta \cdot v}{2R}$ 进行展开, 得到:

$$P_{\text{handover}} = \frac{2\Delta \cdot v}{\pi R} + o\left(\frac{\Delta \cdot v}{2R}\right) \quad (4)$$

也就是说对于单用户来说, 如果用户业务持续时间内的移动距离远远小于 2 倍的基站覆盖半径, 那么切换概率和用户业务持续时间以及用户移动速度线性成正比关系。对于用户的业务时长, 分为数量为 $\frac{\Delta}{\delta}$, 大小 δ 为的时隙, 则

$$P_{\text{handover}}(\text{slot}) \approx \frac{2v\delta}{\pi R} \quad (5)$$

则该时隙上的切换概率为 $P_{\text{handover}}(\text{slot}) = P_{\text{handover}} \cdot \frac{\delta}{\Delta}$, 如果该时隙内有 k 个数据流需要切换, 则概率为:

$$P_{(k, N)} = C_N^k \left(P_{\text{handover}} \frac{\delta}{\Delta} \right)^k \cdot \left(1 - P_{\text{handover}} \frac{\delta}{\Delta} \right)^{N-k} \quad (6)$$

也就是说, x_2 的承载能力为 k 个数据流同时承载, 若该值恒定时, 则切换概率为 0-k 个数据流同时切出的概率求和, 即

$$P_{\text{handover capacity}}(k) = \sum_{i=0}^k C_N^i \left(P_{\text{handover}} \frac{\delta}{\Delta} \right)^i \cdot \left(1 - P_{\text{handover}} \frac{\delta}{\Delta} \right)^{N-i} \quad (7)$$

当二项分布的 N 足够大的时候服从泊松分布, $\lambda = np$,

$$\lambda = N \cdot P_{\text{handover}} \frac{\delta}{\Delta} \quad (8)$$

$$P(x=k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, k = 0, 1, \dots \quad (9)$$

当 $k = \lceil \lambda \rceil$ 时达到最大的切换概率。

如果切出数据流要求大于 X2 能力承载 k 时,就会产生拥塞冲突,数据包丢弃,转而走 S1 切换,导致用户感知降低。假设要求的 QOS 为用户感受到切换因拥塞失败的概率低于 $P_{\text{congestion}}$, 则有:

$$k = \min (k \in N | P_{\text{handover}} \cdot \sum_{j=k}^{N-1} P(j, N-1) \leq P_{\text{congestion}}) \quad (10)$$

而 X2 的流量承载与 k 和 X2 在 S1 上数据占比成正比, 可得:

$$C_{X2} = k * D_2 = k * \beta \frac{d}{\delta} \quad (11)$$

其中 $\beta = \frac{Q}{d}$, 为 X2 上数据包占 S1 上数据包流量的占比, Q 为 X2 数据包, d 为 S1 数据包。

经上述分析可知影响切换的场景分为以下几大类:

(1) 较低的 R 值: 小覆盖站点场景, 比如室分、小微站点等深度覆盖站点;

(2) 较低的 δ 值: 调度次数频繁, 比如背景业务较多场景;

(3) 较低的 d 值: S1 链路存在故障的站点, S1 链路带宽受限的场景, 比如使用网线而非光纤进行传输的站点;

(4) 较低的 C_{X2} 值: X2 链路故障, X2 能力受限的站点, 一般 X2 带宽设置为 S1 带宽的 3%-5%;

(5) 较低的 β 值: 现网一般优先进行 X2 切换, β 值需要排查具体原因;

(6) 较高的 N 值: 高密度用户场景;

(7) 较高的 v 值: 高速场景, 比如地铁高铁、高速公路;

(8) 较高的 Δ 值: 业务持续时间长的场景, 更容易在发生业务的时候进行切换;

(9) 较高的 Q 值: 数据业务量大的大客户场景;

(10) 较高的 k 值: 切换用户数较多, 且切换时间和方向很统一, 比如高铁场景;

(11) 不明确的 R 值: 覆盖区域无线环境复杂的点, 覆盖边缘不明确, 如果参数设置不合理容易导致乒乓切换。

4 X2 占比过低排查过程

X2 占比过低主要原因有以下几种:

到目标 eNodeB 没有 X2 连接;

目标侧 eNodeB 告知源 eNodeB 之前的 X2-based handover 失败;

源 eNodeB 收到动态信息。

为了找到具体原因并进行优化, 需要对现网小区进行排查分析, 流程如下:

(1) 获取全网小区 ENB 间切换成功次数指标, 包括同频/异频切换, 涉及到 X2 接口切换的尝试、执行、成功次数。由此计算单小区同频/异频 X2 接口切换成功率, 单小区同频/异频 S1 接口切换成功率, 单小区同频/异频 X2 接口切换占比等;

(2) 由于本地多为 LTE 同频组网, 所以同频切换的参考价值更大, 但是异频的切换数据需要同时参考。选取同频切换中 X2 占比为 0 的点, 核查小区数据是否配置 X2 接口, 另外进行地理化分析, 看是否处于 MME pool 的边界区域;

(3) 排除掉边界和未配置 X2 的情况, 参考 X2 接口异频切换的比例, 对 X2 占比为 0 的点核查其各种切换的成功率, 根据周边站点配置分析看是否为邻区配置的问题或是小区故障告警等问题;

(4) 同理分别针对 X2 占比低于 50% 的点和高于 50% 且低于 90% 的点, 按照不同的优先级进行地理化分析, 观察规律, 寻找密集分布区域周边的站点配置情况及其小区状态是否存在故障告警;

(5) 对于 X2 切换比例较高, 但是 X2 切换成功率低的点进一步核查相关信息, 查看 X2 接口配置和优化是否有问题;

(6) 对于异频切换比例较高, S1 切换比例较高、成功率较低且无法对其进行 X2 占比优化的点, 逐个分析原因, 提升其切换成功率;

(7) 对于 X2 切换次数较高, 但是站点负荷不高的情况, 看是不是类似高铁这种瞬时切换请求抬升的情况, 或者排查是否存在乒乓切换;

(8) 特殊场景比如地铁高铁等专网及其周边站点的切换成功率分析, 单独进行配置分析和成功率分析, 结合现有优化措施, 提升用户体验;

(9) 小微站点及室分站点的引入影响, 今后的组网是各种小微场景和室分宏站异构网络, 可能还会引入异频组网, 这些因素对于切换成功率存在什么样的影响需要进一步测试和研究。

5 应用分析

5.1 X2 切换占比低原因

苏州 LTE 组网主要为同频组网, 共计分析全网 26869 个小区, 分析原因有如下几个场景。

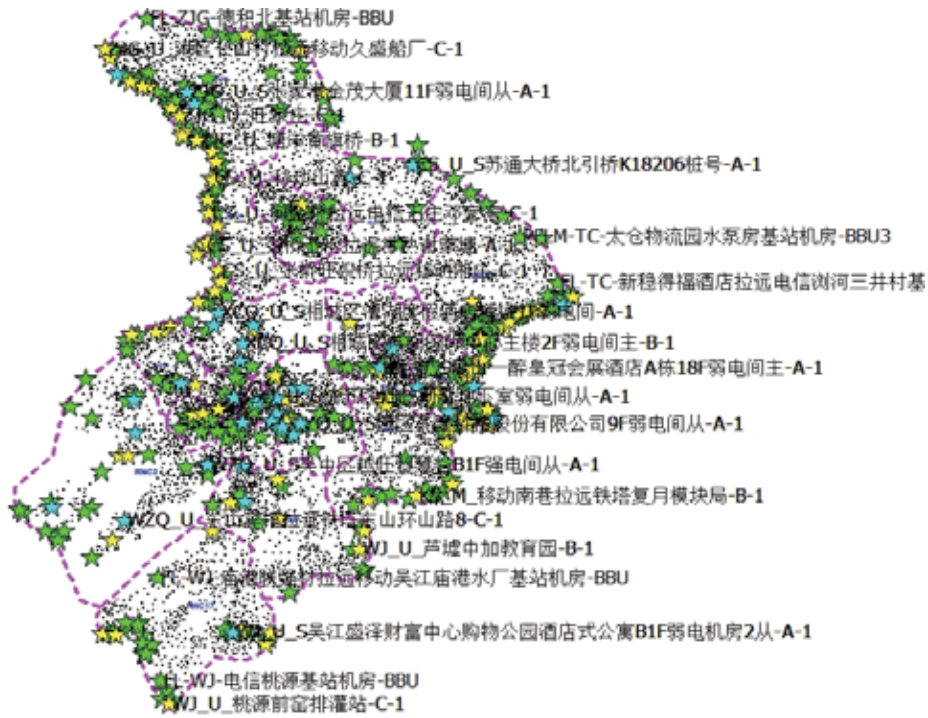


图2 全市X2同频切换占比分布

(蓝色: 占比为0, 黄色: $0 < \text{占比} \leq 0.5$, 绿色: $0.5 < \text{占比} \leq 0.85$)

(1) 场景1: 地铁网及其周边站点

由于X2切换的实现需要分组网设备上的互通, 但地铁网使用了一套特殊的分组网设备, 无法实现相应的对接, 所以现网地铁网ENB都没有配置X2, X2链路也不会自动建立。虽然地铁网均为S1切换, 注定切换时延会比较长, 但是一般地铁ENB配置为一个实际地铁站一个ENB, 切换不会特别频繁, 从指标上看地铁网同频切换成功率还是比较高的, 所以当前不需要再进行过多的优化。

另一方面, 诸如GSQ_U_S姑苏区轨道控制中心室分等地下商业类, 轨交控制中心等覆盖场景以及部分路段为地面运行的场景, 地铁和周边站点多少都存在切换区域, 需要现场人员进行切换带的合理设置, 保证切换成功率的提升。

(2) 场景2: UL共模异频组网

UL共模的小区数共计21个, 这些小区是在UL共模站点上的, 但是根据其使用的频段可以区分是正常的4G载波还是共模的载波。其中2个小区是在原WCDMA的站点RRU上开通的4G载波, 使用的3G 2100频段, 所以其切换方式主要为异频切换, 剩下的小区则是正常的4GRRU, 使用的4G 1800频段, 所以其切换方式主要为同频切换。这些小区同频切换的成功率都是100%, 异频切换的两个小区, 一个使用的大网一个使用的地铁网。大网的小区已切换也是100%的成功率, 地

铁网GSQ_U_地铁苏州火车站M1站台-A-1的S1异频切换成功率较低, 周边无线环境也比较复杂, 切换时延较高。

(3) 场景3: MME pool边界

苏州周边地市和苏州使用的是不同的MME pool, 西北边为省内无锡边界, 东边为跨省上海边界, 南边为跨省浙江边界, 东北边为长江沿线省内南通边界, 西南边为太湖区域。

由于长江沿线和太湖沿线没有其他地市密集覆盖的站点, 除了少数水面越区覆盖的站点和诸如苏通大桥等连接枢纽站点, 很少有进行跨MME pool切换的情况, 所以上图中显示X2切换占比不是特别低。与此同时, 和上海、无锡、浙江交界处则存在大量的X2切换占比低的站点。

(4) 场景4: 湖边、岛屿、山区等偏僻地区

水面站点和扇区过高站点可能导致越区覆盖, 西南片区的太湖水域, 中部片区的金鸡湖, 独墅湖水域, 在湖边和岛屿上都出现了部分站点的X2切换占比低的问题, 但是切换成功率还是比较高的。穹窿山上真观也有一个小区指标较差, 待进一步研究。

(5) 场景5: 高铁及其沿线

在高铁列车正好进入和切出小区时, 会导致切换用户数大量上升, 切换请求都在同一时段, 可能会导致切换拥塞。从指标上看, 高铁及其沿线指标较好, X2切换占比和专网无直接

关系，和小区内用户的移动速度也没有关系。这主要是因为专网对于切换门限、重选优先级等有过专门的优化。虽然用户移动速度高会导致切换频繁，但是站点间距大，RRU 覆盖范围广且多 RRU 合并为一个小区，减少了切换次数。与之配合的是核心网合理设置 TA list，也能减少沿线 TAU 次数，保证业务感知。

(6) 场景 6：室内分布场景

室内分布场景比较复杂，多为单个孤点的问题，由于分布式小区的特殊性，需要逐个排查具体哪个区域出现 X2 切换占比低的情况。对于集中式出现的区域，可以寻找规律，排查无线环境，看是否是因为干扰过大导致基于 RSRP 的切换失去意义。

(7) 场景 7：小微场景、异构网络场景

小微场景有各种不同的深度覆盖方案，比如 lampsite、BBU3911E、AAU。举例来说本市配置 lampsite 小区共计 26 个，

分布在各大营业厅、车站、重点用户区域等，从指标上看，这些小区 X2 同频切换占比都在 99% 和 100%，也就是说小微场景在无线覆盖和回传上都能够完美的支持 X2 切换，给用户很好的体验。

(8) 场景 8：异厂家场景、运营商共建共享场景

当前苏州的现网没有出现异厂家的情况，都是华为的设备，今后如果有共建共享小区则会有这种情况出现，需要核查不同厂家对于 X2 链路检测机制 Echo 协议等问题的配置情况。

5.2 X2 切换提升案例

5.2.1 未配置 X2 链路导致占比低

振苏窑厂、吴淞江污水厂、汪浦基站 3 个地理位置站点相近但 X2 口切换占比低，分析发现系新开工工程站未配置 X2，配置后 X2 切换占比提升到 98.5 以上。

基站名称	小区名称	优化前 x2 同频比例	优化后 x2 同频成功率
FL-KS-振苏窑厂基站机房-BBU	KS_U_振苏窑厂-A-1	43.1%	99.2%
FL-KS-昆山吴淞江污水厂基站机房-BBU	KS_U_昆山吴淞江污水厂-B-1	38.2%	98.7%
FL-KS-汪浦基站机房-BBU	KS_U_汪浦-A-1	43.6%	99.3%

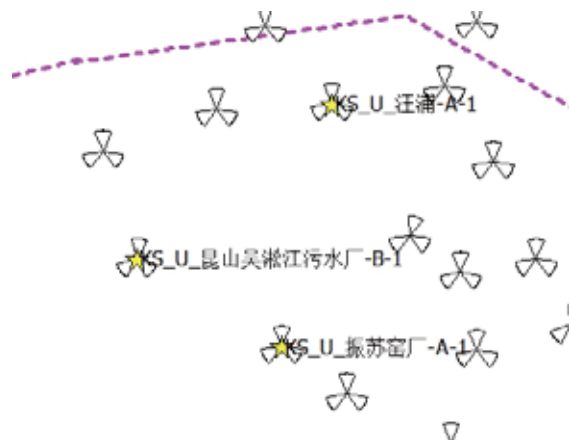


图 5 案例站点地理分布

5.2.2 数据配置原因导致 X2 链路故障

KS_U_S 昆山台湾商品交易中心 C 区 -A-1 小区的 X2 同频切换比例较低，检查其周边小区站点的配置和状态，发现该站点 X2 链路存在异常故障的情况，经分析是把 36422 端口号配置成了 36412，修改后 X2 口切换占比明显提升。

出现 X2 故障告警需要排查以下情况：检查 X2 接口配置，

检查本端基站是否有状态正常的小区，检查本端基站 S1 接口是否处于闭塞状态，检查对端基站是否配置 X2 接口，检查对端基站是否有状态正常的小区，检查本端基站是否在对端基站黑名单中，检查对端基站 S1 接口是否处于闭塞状态，联系对端基站维护人员删除重建 X2 接口。

6 总结

本文对比了 X2 切换和 S1 切换的优劣，说明了 X2 切换低时延、高切换成功率的优势，也阐述了 X2 切换在部分跨 MME pool 场景以及 X2 链路不可用的场景下无法实现的情况。根据切换概率和切换容量的计算分析了对切换成功率和拥塞率有着重大影响的因素，并从这些因素分析了场景可能存在的问题。最后本文结合了现网的站点指标和分布情况，具体阐述了指标分析过程，对于切换成功率低和 X2 切换占比低的站点各个击破，提升现网整体用户感知。

(收稿日期：2018-11-13；

技术审核：龚永平；责任编辑：王玉)

基于 C/U 分离架构的 SAEGW 容灾技术方案探讨

薛凌云 颜鹏

中国移动通信集团江苏有限公司

摘要: 本文在简要介绍 4G 核心网 (EPC, Evolved Packet Core) 的 C/U (Control Plane/User Plane) 分离组网新架构技术特性等相关内容基础上, 重点探讨了分离组网架构下的业务实时性容灾技术方案。针对当前 3GPP (3rd Generation Partnership Project) 协议标准方案和其余具备可实现条件的备选理论方案, 从容灾原理、容灾效果以及资源消耗等多个维度综合分析, 提出了针对不同部署阶段、兼顾业务体验与投资成本的差异化部署等思路, 为后续全面部署基于 C/U 分离架构的 EPC 提供具备参考价值的容灾方案建议。

关键词: 4G; SAEGW; C/U 分离; 容灾

0 引言

经过多年的持续建设, 当前 4G 网络已处于商用成熟期, 随着移动数据“流量不限量”业务的普及, 移动数据流量持续井喷。如何在优化用户业务体验的同时, 进一步提升网络运维效能, 成为各大运营商共同面临的新挑战。3GPP 标准化组织在 R14 版本协议制定中引入的 4G 核心网 SAEGW (SAE 网关) C/U 分离架构, 从网络架构层面为迎接这一挑战提供了应对方案。在新架构中, 用户面贴近客户部署, 进一步降低业务时延; 控制面集中部署, 简化运维工作量, 提升运维效率。分离架构相较现网当前架构优势明显, 然而 C/U 分离所引入的新增故障点也同样不容忽视, 集中部署的控制面网元一旦出现故障, 如若没有高效容灾机制保障, 用

户面网元会出现大面积的业务阻断, 因此必须要基于新架构实现 SAEGW 容灾部署。本文从预期效果及部署成本等方面综合比较, 提出了 SAEGW 容灾部署的方案建议。

1 SAEGW C/U 分离架构简述

3GPP R14 版本 TS 23.214 (Architecture enhancement for control Plane and User Plane of EPC nodes, EPC 网元控制面和用户面增强架构) 协议中, 明确将传统的 SAEGW 网元 (控制面与用户面合一) 拆分为控制面 (SAEGW-C) 和用户面 (SAEGW-U) 两部分, 两者分工协作提供传统 SAEGW 网元的全部功能, 新的网络架构如图 1 所示。

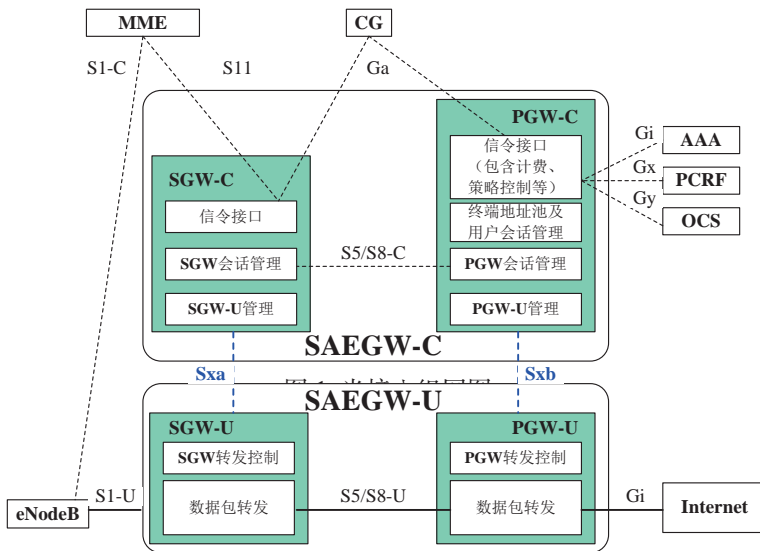


图 1 4G 核心网 SAEGW C/U 分离架构示意图

从图1中可以看出,控制面网元 SAEGW-C 的主要任务是集中提供与 4G 核心网周边控制面网元 (MME/PCRF/CG 等) 的信令对接和交互,实现用户会话管理、计费管理、用户地址分配等功能,并通过 Sxa/Sxb 接口控制用户面网元 SAEGW-U 为用户建立终端与外部数据网络 (如因特网) 之间的数据承载通道,完成各类业务的数据包传递。

传统 SAEGW 网元控制面与用户面的完全解耦,其核心着眼点主要体现在如下两个方面:

(1) 4G/5G 融合架构的演进和移动数据业务体验的增强

从网络持续演进的角度出发,既能保护现有的 4G 网络投资,又可向未来的 4G/5G 核心网融合组网演进。基于移动数

据业务体验的差异化诉求 (如数据传输时延敏感程度等),控制面通过各类信令交互,指挥用户面搭建数据包承载通道,用户面的位置根据业务实际需求灵活放置;对于时延敏感类业务,如高清视频点播,为最大程度提升业务体验效果,直接有效的措施是将播放内容源尽可能在物理距离上贴近用户侧部署 (物理距离与数据包传输时延成正比),即内容源下沉。而用户面作为用户终端与内容源之间的数据包承载通道,必然伴随内容源的位置同步下沉。对传统架构而言,用户面按需下沉至指定区域难以实现,这也是新架构的独到优势所在。图2中简略展示了 4G 核心网传统架构与 4G/5G 融合核心网 C/U 分离架构的对比情况。

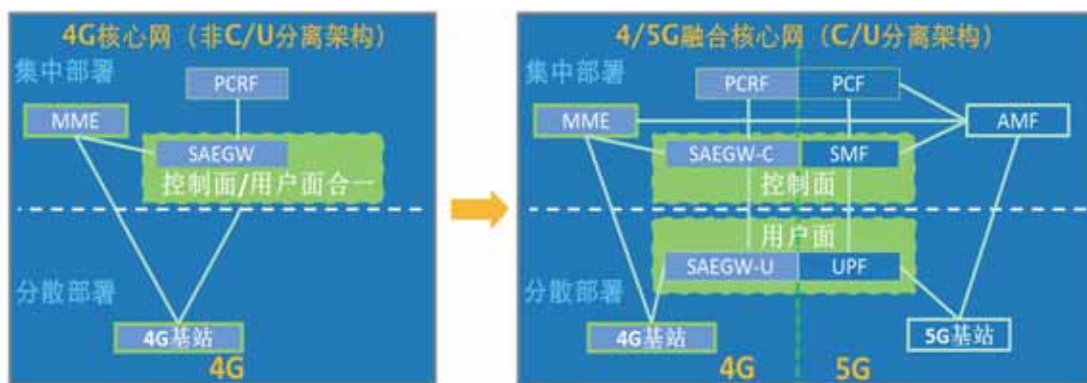


图2 核心网 C/U 分离架构与传统架构对比图

(2) 控制面的集中设置带来运维效率的提升

在传统架构中,由于控制面、用户面合一,每套 SAEGW 网元均需要与核心网周边控制面网元完成信令对接、交互,计费局数据也同样需要逐套进行配置。而采用 C/U 分离架构后,通过少量集中设置的 SAEGW-C 网元即可实现与周边控制面网元的对接,大量按需部署的 SAEGW-U 网元仅需完成与基站侧、外部数据网络 (如因特网) 以及 SAEGW-C 网元的快速对接,大幅简化了原有接口对接工作量。同时,计费局数据仅需在 SAEGW-C 配置,有效减少了日常维护工作量,降低因海量局数据制作可能带来的配置失误概率,提升运维质量。

2 SAEGW C/U 分离架构容灾可行性方案对比

C/U 分离架构的引入为核心网的可持续演进、多元化业务的体验需求以及网络运维效率的提升带来了诸多益处,但控制面与用户面分离后所引入的新增故障点 (Sxa/Sxb 接口) 对现有的网络容灾机制提出了更为严苛的要求,这也是新架

构所带来的弊端。如何在集中设置的控制面网元 (SAEGW-C) 故障后,由其余正常节点迅速接管其所管辖的用户面网元 (SAEGW-U),避免造成大面积用户业务阻断,是需要探讨的核心问题。结合协议标准,目前具有理论可行性的 SAEGW-C 容灾方案主要有热备份和负荷分担两种方案。

2.1 SAEGW-C 热备份容灾方案 (1+1 主备)

此方案属于 3GPP 协议标准容灾方案,目前各大主流设备商均具备基于该方案的网络容灾能力。

2.1.1 实现原理

作为 1+1 主备关系部署的 SAEGW-C 网元在网元处理性能、容量配置方面严格保持一致,确保主用网元故障时,备用网元具备 100% 完全接管能力。常规态运行时,仅有主 SAEGW-C 处于业务处理态,备 SAEGW-C 处于随时接管主用侧业务的待命状态,主用网元的业务配置数据以及其服务用户的相关会话信息均实时自动同步至备用侧。主备之间启用心跳机制监测对端是否处于正常态,一旦主用发生故障,备用网元实时监测发现后,即刻接管主用网元所管辖的所有 SAEGW-U。主备网元针对其下管辖的 SAEGW-U 网元所

呈现的业务 IP 地址完全相同，常规态运行期间，SAEGW-U 针对该地址选择高优先级路由与主用 SAEGW-C 进行信令交互；故障发生时，此路由状态变更为不可用，SAEGW-U 此

时通过该地址的低优先级路由与备用 SAEGW-C 进行交互。此容灾方案的组网示意如图 3 所示。

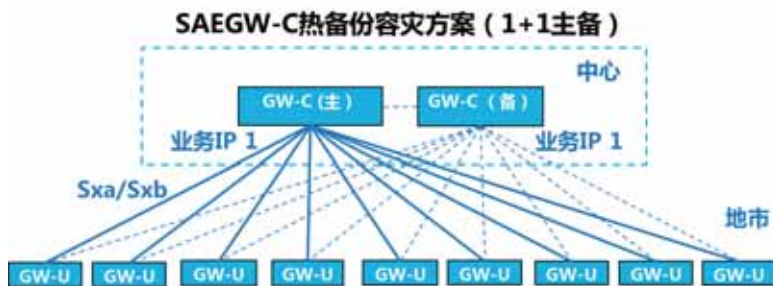


图 3 SAEGW-C 热备份容灾方案 (1+1 主备) 示意图

2.1.2 容灾效果

主用 SAEGW-C 发生故障时，业务切换至备用侧的时长和收敛时长（OSPF 路由由状态收敛），这两项时长的叠加值不超过秒级，因此可以实现故障状态下的无感知业务处理迁移。同时，由于备用 SAEGW-C 实时同步主用侧网元所有的用户会话信息，接管业务后，不需要在线用户去激活重新上线，无缝为用户继续提供服务，避免用户更换 IP 地址造成的短暂业务中断。

2.1.3 部署成本估算

以用户规模为 450 万的中等规模业务区进行估算，SAEGW-U 按照单网元 50 万用户容量配置，共需要部署 9 套 SAEGW-U；对于 SAEGW-C 的部署，由于采用 1+1 主备容灾方式，主用与备用设备在容量配置上需要保持完成一致，即主备 SAEGW-C 均需配置 450 万用户容量，因此主备合计共需配置 900 万用户容量。辅以公式表示，如假设业务区的用户总量为 N，则该业务区所需的 SAEGW-C 网元总容量为 $N*2$ 。

2.2 SAEGW-C 负荷分担容灾方案

此方案当前未在 3GPP 协议 R14 版本中列为标准容灾方案，但在最新的 R16 协议制定中，控制面网元采用负荷分担方式，全互联用户面网元的方案有望列入标准提案，目前多数的主流设备商也计划推动这一容灾方案的落地。

2.2.1 实现原理

单个 SAEGW-U 需要支持同时注册到该业务区的多个 SAEGW-C，能够支持来自多个 SAEGW-C 的用户承载通道管理指令，业务区内的所有用户被均匀分配至该区域的所有 SAEGW-C 管理。业务区内所有 SAEGW-C 针对其管辖的 SAEGW-U 所呈现的业务 IP 地址彼此独立，因此不再依赖前述主备方案中的高低优先级路由收敛方式实现业务容灾切换，单台 SAEGW-C 出现故障后，直接去激活其管理的所有用户，使其下线后立即重新上线至业务区其余正常工作态的 SAEGW-C，以此恢复业务的正常使用。此容灾方案的组网示意如图 4 所示。



图 4 SAEGW-C 负荷分担容灾方案示意图

2.2.2 容灾效果

单台 SAEGW-C 发生故障时，由于该业务区的所有 SAEGW-U 全互联至该业务区所有 SAEGW-C，SAEGW-U 网元自动由正常态 SAEGW-C 继续管辖。SAEGW-C 网元之间不

存在用户会话信息的实时备份，无法实现无感知的业务容灾。在某套 SAEGW-C 故障后，其所管理的所有用户均需要通过重新上下线的方式被其余 SAEGW-C 接管业务，用户的 IP 地址也将随之更换，4G 用户重附着（即上下线）的平均耗时在

下转第 56 页

(2018 年度“和勤杯”获奖论文三等奖)

基于 PCC 架构智能加速系统研究

郑圣 赵越 姚勇

中国联合网络通信有限公司江苏省分公司

摘要: 随着 4G 业务迅猛发展,用户对游戏、视频等业务提出了更高的感知需求。在 4G 网络中,充分利用 PCC 架构,通过对不同业务采用不同 QCI (QoS Class Identifier, QoS 等级标识)调度,实现 4G 网络 QoS (Quality of Service 服务质量)保障机制,满足用户差异化服务的要求已经越来越重要。中国联通在南京新建智能加速平台,实现与腾讯手游等业务的平台对接,搭建测试环境,完成从无线到核心网端到端 QoS 参数配置及优化来验证业务效果。智能加速系统的研究为中国联通提供网络差异化竞争服务和流量增值服务创造新的利润增长点。

关键词: 4G; 游戏; QoS; QCI; 智能加速

0 背景

在政府“提速降费”政策指引下,运营商纷纷推出不限量套餐,或者与服务提供商(SP)推出特定的流量优惠手机卡(如“腾讯王卡”),导致手机网络访问量剧增,对 4G 网络中的基站负荷造成了严重冲击。

在传统的网络优化技术方面,通过将系统部署在高质量的三线 IDC 机房已经是 SP 对系统优化的传统手段;对静态内容应用 CDN(网络分发技术)技术也已屡见不鲜。但是,对于无线基站空口侧的优化目前还没有有效的解决方法。

在 3GPP 规范中,4G 网络具备给特定应用 App 建立无线专有承载(QoS)的能力,通过特定的系统将 QoS 策略发送到 4G 核心网,通过核心网对基站进行动态配置,为特定的用户手机建立网络专载,使该用户特定 App 在基站下相对于其他用户提高网络访问效率和质量,进而实现对无线基站空口侧的网络优化。该基于 PCC 智能网络优化系统(以下简称智能加速)的核心目的是通过动态策略技术对用户手机特定 App 的无线基站通讯进行优化,进而增强 App 用户使用体验,保障 App 的推广及应用,减少客户投诉数量。

本文对智能加速系统的实现原理、应用方案和市场效益进行描述和评估。

1 技术方案

1.1 技术背景

本文研究的智能加速方案是基于 3GPP 规范中定义的 PCC (Policy Control and Charging, PCC) 架构来实现的。PCC 是一种将应用层级会话服务数据流的 QoS 要求映射为 IP-CAN 的

架构,接入传输网络承载级服务的 QoS 要求来保障数据传输,还可根据运营商的计费策略实现服务数据流层级的计费功能。PCC 可实现 4G 核心网的限速、门控和下发标准 QoS 参数(QCI、ARP、GBR、MBR 等)至 4G 无线网,4G 无线网根据下发的标准 QoS 参数进行相应资源调配,实现无线信道分配优化效果的分业务、分用户的动态资源调控。

PCC 架构主要由策略控制服务器(PCRF)、策略控制执行点功能(PCEF/PGW)、业务策略提供点功能(AF)三部分组成。其中 PCRF 中的 Rx 接口用来在 AF 与 PCRF 之间交互应用层会话信息,这些信息用于 PCRF 进行 PCC 策略决策的输入。一方面,Rx 接口将 AF 的业务信息提供给 PCRF 或从 PCRF 删除,例如为策略控制或区别收费识别会话数据流的 IP 过滤信息,用来做服务质量控制的媒体/应用带宽需求等;另一方面,Rx 接口将来自 PCEF 的承载事件和一些特定信息传送到 AF。

(1) PCC 架构主要功能实体包括 AF、PCRF、PCEF/PGW

AF (Application Function, 应用功能)是由运营商建设的一个系统或平台,可以为 SP 三方业务向网络侧申请资源。

PCRF (Policy and Charging Rules Function, 策略计费规则功能)包含策略控制决策和基于流量计费控制的功能,向 PCEF 提供关于业务数据流检测、门控、基于 QoS 和流量计费(除信用控制外)的网络控制功能。PCRF 从 AF 接收应用信息并在特定时间发生时通知 AF。PCRF 通过 AF 传递过来的业务信息中映射出该业务的 QoS。PCRF 可以拒绝 AF 传递的业务信息,但在给 AF 的应答中,需提供 PCRF 可以接收的业务信息。

PCEF/PGW (Policy and Charging Enforcement Function, 策略计费执行功能)在目前网络中也称为 PGW,用于接收

PCRF 的 QoS 策略，并下发到相应的基站（eNodeB）执行并分配资源。

(2) Rx 会话可以分为 AF 发起和 PCRF 发起

包含如下功能：

AF 发起的 Rx 会话主要有：

- 会话信息的初始定制；
- 会话信息的修改；
- 门控过程；
- AF 会话终止；
- 订阅 / 取消订阅信令路径状态通知过程。

PCRF 发起的 Rx 会话：

- 业务面 IP-CAN 会话终止；
- 业务数据流去激活，该过程由 PCEF 去激活部分导致

PCRF 发起；

- 信令路径状态的通知过程；
- IP-CAN 类型改变通知过程。

1.2 技术原理

1.2.1 QoS 参数

4G 规范定义了一系列的承载级 QoS 参数来描述一个业务承载，包括 QCI、GBR 和 MBR 等，其中最重要的 QoS 参数是 QCI（QoS 分类标识）。QCI 的定义与吞吐量、时延以及每个承载上用户流量的分组丢失率相关。QCI 参数可同时应用于 GBR 和 Non-GBR 承载。其中，GBR（带宽保障型）承载使用 GBR 和 MBR 来控制带宽，Non-GBR（带宽不保障型）承载使用 AMBR 来控制带宽。3GPP 中定义的 QoS 相关策略参数定义如下。

表 1 QOS 参数

参数	参数描述	用于 GBR	用于 Non-GBR
QCI	QoS 优先级定义	√	√
ARP	分配和资源预留的优先级	√	√
GBR	保障带宽	√	×

	最大带宽	√	×
MBR			
APN-AMBR	每个 APN 集合的最大带宽	×	×
UE-AMBR	每个终端 UE 集合最大带宽	×	×

一个 GBR 承载能够保证提供的比特速率。GBR 是网络侧保障用户的最小带宽，决定一个 GBR 承载能提供的最小比特速率，可根据业务的实际需求制定。

MBR 是最大比特速率，是网络侧提供给用户的最大带宽，可根据用户的实际业务带宽进行设置。MBR 参数一般大于或等于 GBR 参数取值。

1.2.2 QCI 级别及选择

QCI 参数对应不同业务时，在时延、带宽、丢包参数等方面有不同的要求。通过采用 QCI 和预定义的承载类型（GBR 或 Non-GBR）确定不同类型业务的 QoS 具体要求，可给用户提供高速且流畅的体验。

为了更好地实现对不同业务的 QoS 保障效果，根据 3GPP 的规范中规定的 QCI 级别定义不同 App 使用不同的 QCI 策略级别和 ARP 级别。对于业务交互、支付等关键应用，要求网络延时低、抖动小，同时对带宽要求不是特别大，基本在 500K ~ 1M 之间即可，因此建议选择 QCI=3，ARP=2，采用 GBR 方式承载业务，定义 MBR=1M。对于其他类型的业务，如直播类的 App，主要关注上行网络带宽，对延时要求不是特别高，因此建议采用 QCI=4 或 QCI=6，ARP=2，GBR 或 Non-GBR 模式，MBR=2M，保障移动直播 App 的上行带宽。

1.3 技术架构

在技术架构上，App 应用通过系统中的 AF 对手机用户建立 QoS 专载，实现对该用户手机中的 App 进行通信保障。由于系统要求实现动态的策略下发，因此要求系统中能对 App 应用的网络质量进行评估，目前的方案是通过在 App 应用中嵌入网络质量评估 SDK 手机网络质量，对评估为网络质量“差”的手机，在使用 App 应用时，动态发起 QoS 请求。

本方案的技术架构如下图所示。



图 1 智能加速工作流程

智能加速方案由以下部分组成：

(1) 核心网及相关网元

PCRF、PCEF/PGW、基站等均属于核心网及相关网元，负责根据 AF 下发的 QoS 策略分配资源建立 QoS 网络专载。该部分设备已经由运营商建设完成，并能正常使用。

(2) AF

AF 为能力开放系统，由运营商建设并投入使用，接收 SP 相关系统发送的 QoS 请求，AF 转换成 QoS 策略并形成相关指令，通过 PCRF 的 Rx 接口将策略指令下发到 PCRF，再由 PCRF 指定相应的 PCEF/PGW 执行，进行资源分配。

(3) App 网络质量评估系统

App 网络质量评估系统由 App 应用厂商开放，实现汇聚网络质量评估 SDK 数据，对用户手机网络质量进行评估。当该系统评估到用户手机网络质量比较差的情况，会动态调用 AF 的接口，为该用户建立 QoS 专载。

(4) SDK

SDK 主要作用是采集用户手机的网络质量情况，通过定时（几十毫秒一次）ping 或发送 UDP 包获取网络的动态延时、丢包、带宽等数据等，发送到 App 网络质量评估系统保存和评估。

系统使用流程描述如下：

(1) 由手机 App 中嵌入的网络质量数据采集 SDK 采集手机用户的网络数据，并上报到 App 网络质量评估系统；

(2) App 网络质量评估系统汇总并分析汇集的用户手机网络数据，评估出当前卡顿的用户，向 AF 发起 QoS 请求，

请求时传输手机私网 IP、公网 IP 和 App 请求的目标服务器 IP 等信息；

(3) AF 接收到发送来的 QoS 请求后，根据请求时携带的手机私网 IP、公网 IP 和目标服务器 IP 地址，同时包括系统中 QoS 策略数据（主要时 QCI 级别、GBR、MBR 等），组织成完整策略下发到 PCRF 设备；

(4) PCRF 设备接收到请求后，通过 PCEF/PGW 执行，完成对基站的资源分配，保障该用户的 App 在无线基站侧网络通信。

(5) 当 App 关闭或在一段时间后，自动关闭 QoS 并释放资源。

1.4 无线基站参数优化

为了确保 QoS 策略对 App 应用的网络质量保障效果，根据不同的 QCI 级别和业务场景需要，这里对无线基站的参数进行调配。无线基站涉及到多个设备厂商，每个厂商设备的参数定义均不相同，因此需要根据不同设备厂商整理出可能的参数配置组合。

以下列举出影响 QoS 效果的参数定义：

(1) PDCP 层参数

表 2 PDCP 层参数表

参数名称	说明	建议参数值
DPCP 丢包定时器	该参数代表 PDCP 丢弃定时器的大小	无限长

(2) RLC 层参数

表 3 RLC 层参数表

参数名称	说明	建议参数值
RLC 模式	该参数定义 RLC 传送模式	AM
AM 模式 RLC 层 ARQ 发送次数	指示 RLC ARQ 最大重传次数，用于限制 AM PDU 的重传次数，达到最大重传次数时会触发 RRC 连接重建	32
触发 Polling 的 PDU 数据量门限	参数代表触发 Polling 的 PDU 数据量门限。当 PDU 发送数据量达到该值时，将在 PDU 头部设置 Poll 标志位	2 万 5 千字节 / infinity
触发 Polling 的 PDU 数量门限	参数代表触发 Polling 的 PDU 数量门限。当 PDU 发送数量达到该值时，将在 PDU 头部设置 Poll 标志位	16

(3) DRX 参数

表 4 DRX 参数表

参数名称	说明	建议参数值
DRX 开关 (QCI 级别)	该参数表示 DRX 功能开关	开

(4) 预调度参数

如果是华为的基站设备，设备具备 QCI 级别的预调度功能，建议仅针对 QCI3 开启。

2 技术创新

智能加速方案有多种技术优势，下面分别阐述。

2.1 精准识别卡顿用户，动态进行 QoS 保障

在本研究中，结合 QoS 的功能特点，提出一种对 App 网络体验动态优化保障的方案。通过在 App 中内置网络检测 SDK，建设 App 网络质量评估系统采集 SDK 获取的数据，经过评估分析，估算出存在卡顿的用户，最终给该部分用户手

机调用 QoS 接口来完成网络的 QoS 专载保障。这样带来的另一个好处是从根本上检测 App 的运行情况，能为 App 的优化带来足够的参考数据。当然，如果自身开放 SDK 和 App 网络质量评估系统的技术、投入上有困难，可以寻求第三方平台的支撑。

本研究中，App 网络质量评估系统的关键环节是如何合理评估网络质量的“好”或“坏”，经过研究，采用一种加权评价的算法比较符合。

网络质量评估算法大致描述如下：

卡顿值 = (NEWPING300*0.7+NEWPING460+NEWPING200TO300*0.5+LOSTPINGCOUNT)/(TOTALPING)*100%，注意，在开启 App 后，会有定时测速，每 50ms 一个测速包，最大测试一分钟。

--NEWPING200TO300：是指测试包时延值在 200ms-300ms 之间的包个数；

--NEWPING300：是指测试包时延值在 300ms-460ms 之间的包个数；

--NEWPING460 是指测试包时延值为 460 的包个数；

--LOSTPINGCOUNT 是指测试包丢失的个数；

--TOTALPING：总发包数。

按照计算的卡顿率数值对应下表得到卡顿评估。

表 5 卡顿率对应表

卡顿值	卡顿评估
<5%	无卡顿
5% ~ 8%	轻微
8% ~ 12%	一般
12% ~ 15%	较严重
>15%	严重

注意，卡顿阈值可以根据不同 App 的体验效果调整。

根据检测的“卡顿”结果，可动态对卡顿用户进行 QoS 保障，从而提高 APP 的使用体验，增加用户粘性。

2.2 精准识别业务数据流，有差异地优化 QoS 效果

在 4G 网络中，根据服务用户的承载分为默认承载和专用承载。为了给相同 IP 地址用户设备上不同的 App 提供差异化的 QoS 保障，需要使用特定的策略来识别不同应用的数据流，区分需要进行 QoS 的 App 和不需要进行 QoS 的 App。

经分析，不同的 App 访问的目标服务器 IP 地址会不同，可以利用 QoS 策略参数中 Destination-Host（目标服务器）参数进行业务识别。Destination-Host 支撑一个 App 在运行期间可以访问多个目的地址，最大支撑 8 个。

经过应用该技术方案，做到精确识别业务数据流，做到有差异地优化 QoS。

2.3 打造端到端 QoS 业务合作生态圈

智能加速方案部署商用遇到的主要困难：带宽型保障业务对无线侧的资源要求较高，甚至有可能影响普通用户上网感知；4GQoS 能力的原理是尽最大努力，但不能保障每一次的提速效果，实际商用时模式不够清晰；QoS 能力在实际运营的时候，SP 往往有多种需求，传统的调用方式不能灵活、快速响应 SP 的需求，因此 QoS 能力开放长期处于测试验证阶段，前期并未实现商用。

通过现网大规模测试分析与市场调研发现，时延敏感类业务具有低消耗、高价值等特点，对带宽要求很低，但是对时延要求较高，如手游、金融、直播行业等要求平均时延在 75ms 以下。现网 30%4G 用户的时延不能满足时延敏感类业务的良好感知要求，因此针对低时延业务进行 QoS 保障，可获得最大的性价比。

针对三种时延敏感类业务，4GQoS 系统规划和设计全套的平台架构，规划了平台的功能模块以及交互接口，解决了 QoS 集约的关键问题，建立 QoS 提速效果评估体系，获得 SP 认可。面向 SP 提供，可支持按次、按用户、按时间等多种方式快速业务编排，同时可叠加多种其他智能管道能力，快速响应 SP 灵活多变的业务需求，打造业务合作生态圈。

经过不懈努力，最终实现了全省服务能力，实现对多设备厂商的优化能力。

3 现网部署及测试效果

3.1 部署情况

智能加速方案实质上就是运营商对 QoS 能力的开放。中国联通公司已经开始整体布局，不久将具备业务接入能力。

中国联通同样采用集约方式进行 4GQoS 业务运营，以江苏联通为基地，通过与 DRA 对接覆盖全国省份。

中国联通系统部署及对接方案如下图所示。由于联通平台通过 DRA 路由到各省的 PCRF 网元设备，因此具备全国 31 省的运营能力。

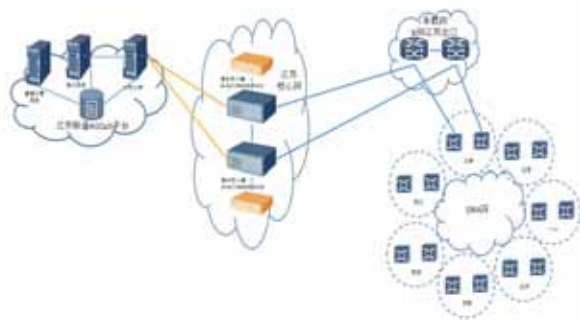


图 2 网络连接示意图

3.2 测试效果

通过部署在江苏联通的智能加速系统，联合腾讯游戏公司，分析江苏联通王者荣耀用户的使用效果，来验证智能加速方案在 QCI=3, ARP=2, GBR 承载业务的方式下的加速效果，后期也将选择合适的合作伙伴开展 CI=4 或 QCI=6, ARP=2, GBR 的测试。本次测试分为 3 个阶段：

(1) 阶段 1：忙时单基站测试，下发 QOS 请求，时延降低 57.6%，丢包率降到小于 1%；

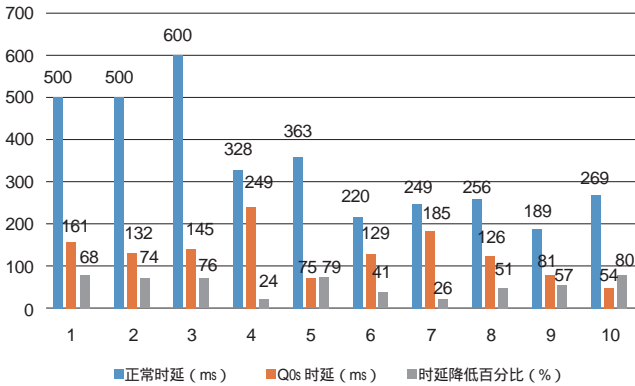


图 4 阶段 1 加速前后时延对比

(2) 阶段 2：南京联通 148 个王者荣耀卡顿小区下发 QOS 请求，卡顿降低 50%；

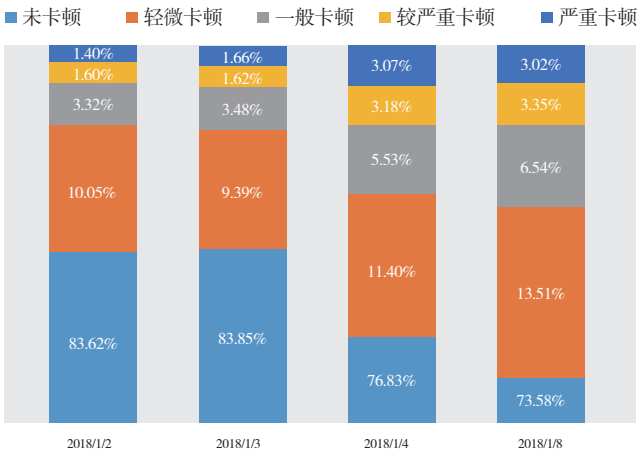


图 5 阶段 2 效果对比

(3) 阶段 3：南京和盐城 243 个王者荣耀卡顿小区下发 QOS 请求，卡顿降低 50%；

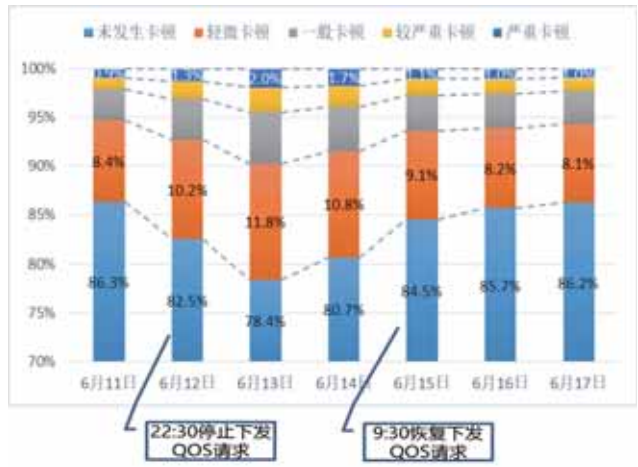


图 6 阶段 3 效果对比

经过三个阶段测试分析，包括单个基站的测试和小范围卡顿小区的指标分析都验证了 QOS 保障对于特定业务确实有明显的提升效果。

4 总结

在手机 4G 无线网络质量日益劣化的今天，如何使 App 应用在使用时不因为 4G 无线网络的拥堵造成卡顿，已逐步变成一个令人关注的问题。本文研究了通过智能加速系统的建设及推广，能很好地解决 App 大规模推广和使用时的卡顿问题，同时又能带来客观的经济和社会效益。

5G 时代即将到来，而 5G 本身是一个从网络使能到业务使能的转变阶段，能力开放的种类和范围会变的更多，QOS 的应用场景也将更加丰富，智能加速对于运营商实现智能管道控制、差异化服务具备较强的实验作用。

(收稿日期：2018-09-21；

技术审核：陈美娟；责任编辑：王玉)

一种端到端的物联网六元四阶业务保障系统

耶旭立 曾强 刘立宇 康萌
中国移动通信集团陕西有限公司

摘要: 随着无线业务类型向海量、大连接、小流量等场景演进,以及5G技术的日益成熟,移动互联网已经大步迈向物联网时代。物联网业务承载于运营商所部署的无线网络之上,其在提供丰富的行业应用同时也使运营商面临着巨大的端到端后向业务保障挑战。本文提出并构建一种基于信令大数据并覆盖“端管云”的物联网六元四阶端到端业务保障系统,解决物联网用户、终端、无线、传输、核心网、数通等多网元跨专业协同定界难的问题,助力运营商完成从传统只关注网络设备的KPI指标运维向注重业务感知的端到端全流程业务保障机制转型,为物联网端到端应用提供全流程一键式定位保障能力。

关键词: 物联网;业务保障;六元四阶;端管云;DPI信令

0 引言

随着移动互联网业务向高密度、海量连接、小数据包传输发展,低能耗场景的演进以及工业4.0驱动移动互联网技术热点在切片、解耦、自定义编排方面的突破,移动互联网大潮推动下的物联网时代已经到来。以IoT/NB-IoT/M2M/D2D为代表的物联网应用平台已经逐渐开始商用,包括中国移动、中国电信、中国联通及国内外电信运营商均已成立各自的物联网专业化公司。

物联网业务部署在传统运营商通信网络上,给不同行业提供差异化服务的同时也面临着巨大的保障难题,如业务流

程日趋复杂,历经网元多,跨专业沟通成本大,出现故障时需要联合各专业人工逐段排查。传统运营商对于物联网业务端到端自动化定位手段的缺乏,是物联网业务无法得到有效保障的关键。通常一个传统物联网应用的接入过程分为网络接入、业务接入、网络切换、业务切换四个步骤,业务流涉及的网络及客户侧设备有客户侧平台、设备终端、无线网络、传输网络、数据核心网、数通路由网络等多网元共同承载。运营商亟需构建基于物联网客户感知的端到端横向一体化质量保障机制,建立一种覆盖“端管云”的物联网端到端业务保障系统,如下图1所示。

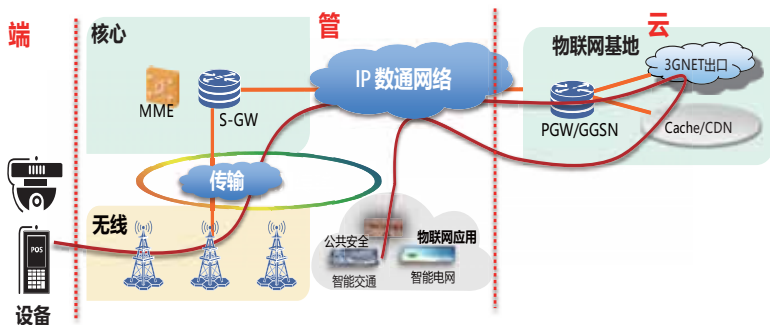


图1 物联网端到端业务体系

1 物联网业务特点

物联网业务主要承载于传统运营商无线网络之上,作为运营商下一个利润增长点,各大运营商均已积极筹建自己的专业化物联网公司。其中,中国电信于2011年成立物联网

分公司,中国移动于2012年成立中移物联网公司,此外,国外运营商包括AT&T、德国电信、Orange、Vodafone在内,也在积极组建M2M物联网应用平台。相比于传统运营商业务,物联网业务具有大连接、小流量和低功耗等特点,针对物联网业务特点及当前物联网业务运营存在的问题,传统电

信运营商在物联网业务运维管理模式上存在以下弊端：

(1) 缺乏物联网业务感知指标体系

当前运营商运维管理往往只关注网络设备 KPI(Key Performance Indicators) 指标，如网络下载速率、网络传输时延、网络接入成功率，缺乏业务感知 KQI(Key Quality Indicators) 指标，如业务接入成功率、业务传输速率以及业务打开时延。

(2) 缺乏主动保障客户感知的手段

运营商总处于被动服务阶段，被动接收客户申告投诉，缺少主动发现网络故障的手段，造成对客户感知保障滞后，导致满意度下降；

(3) 缺乏核心定界算法导致定界效率低

由于物联网业务流程涉及网元多，故障出现后没有自动化工具定界定位，导致各部门相互推诿，且问题处理进度不可视、不可控，导致故障历时较长；

(4) 缺乏端到端 IT 保障系统，协同效率低下

由于缺少自动定界的 IT 手段，因此出现一个物联网故障后，客户经理通常需要协调所有涉及的专业进行协同排查，

导致问题定位效率低下，协调难度大。

2 物联网端到端的业务保障系统

针对上述运营商在物联网运营过程中面临的挑战，要构建覆盖“端管云”的物联网端到端的业务保障系统，关键是将物联网业务跨专业流程打通，并承载在一个生产调度分析系统上，可以帮助运营商快速、高效、精准地找到物联网业务端到端问题并给出处理方案。传统物联网业务流一般需要网络接入、业务接入、网络切换、业务切换四个步骤，横跨端到端客户侧平台、设备终端、无线网络、传输网络、数据核心网、数通路由网络六大专业，因此可以从物联网全流程涉及的四个阶段和六个影响维度，将业务流在各阶段失败码以及 KPI/KQI 指标进行汇聚，通过失败码定界法、关联定界法、横向对比法、分段推理法及劣化指标下钻法等实现物联网业务的六元四阶端到端问题的快速定界定位，具体实现方法如下图 2 所示。

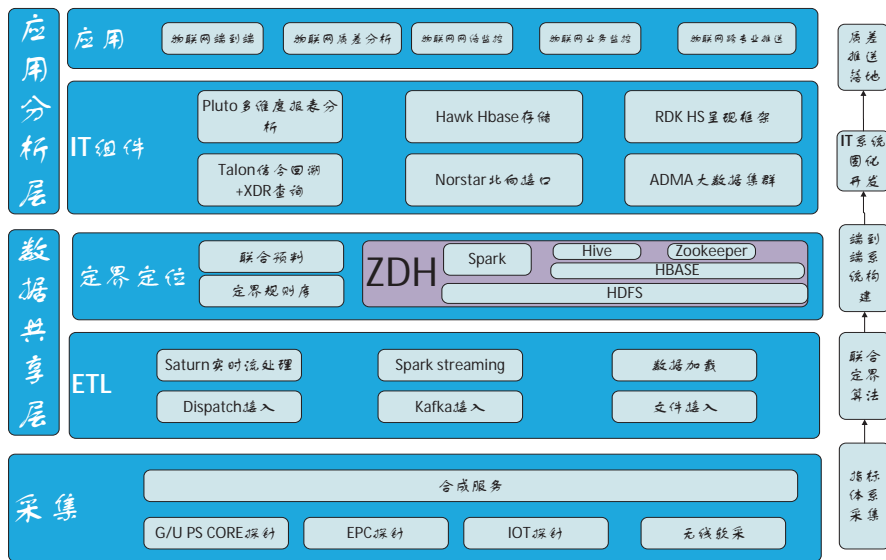


图 2 物联网端到端业务保障系统三层解耦架构

为了从关注 KPI 向关注 KQI 的现代运维模式转变，系统首先在采集层借助 DPI (Deep Packet Inspection) 分光设备进行物联网网络及业务感知指标全采全监；数据共享层联合跨专业专家进行定界定位规则库部署，形成快速的联合判定规则表；应用分析层通过 IT 手段固化在物联网自动定界定位排障系统中。通过这种三层软件架构设计，实现物联网业务保障系统的分层解耦构建。

(1) 指标体系全采全监

在原有指标体系基础上补充和完善能表征物联网端到端业务感知的 KQI 指标，建立一套贴近物联网业务质量的业务评价指标，系统地、全面地、精细化掌控物联网业务质量，具体可通过三层架构的采集层实现；

(2) 定界算法跨专业研判

通过分析物联网业务上网流程，借助 DPI 信令采集的大数据，联合跨专业专家研究业务在六元四阶质差定界定位算法，具体可通过数据共享层实时流的计算来监控与判别；

(3) 端到端系统分层设计

通过建立网络及业务类指标体系，借助 DPI 性能大数据进行全量采集，对物联网业务流指标进行监控及质差劣化下钻，通过跨专业总结的定界经验库及规则，实现底层采集、中间层数据共享以及上层应用分析，实现物联网业务系统三层解耦分级端到端实现。具体端到端系统功能可通过在应用分析层实现；

(4) IT 系统固化及质差闭环

明确在整个物联网问题处理过程中，典型影响因素对业务质量的影响程度以及质差的分段责任划分，为多部门协同保障物联网业务感知提供依据和支撑。具体可通过运营商自有的 IT 系统如电子运维 EOMS (Electric Operation

Maintenance System) 系统及集中故障系统实现质差问题的一键派发闭环，通过集中化 IT 流程体系缩短流转时长，提高问题解决效率。

3 覆盖端管云的定界算法设计

本业务保障系统通过 DPI 全采全监物联网业务流各节点核心信令，分阶段进行网络类接入指标及业务类感知指标的计算共享，分析物联网业务经历的四个阶段，通过跨专业定界规则经验，实现“用户侧系统、终端、无线、传输、核心网、数通”六个维度感知差的原因定位，并通过打通与运营商自有业务流程的接口，实现问题定界的一键派发闭环。

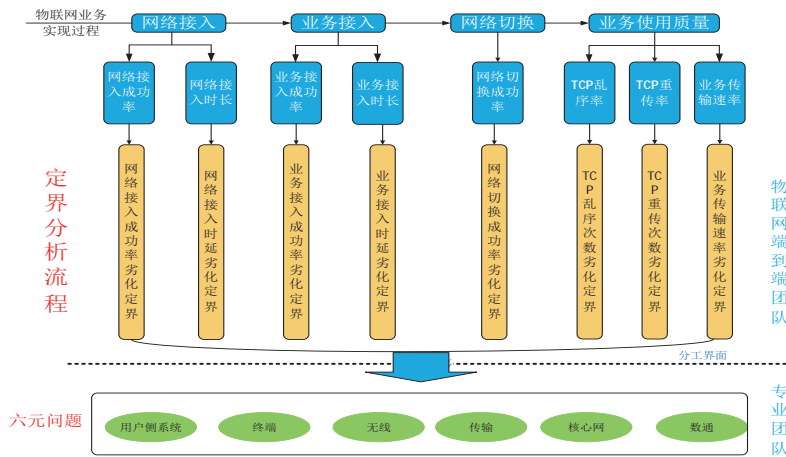


图3 物联网六元四阶业务流程

基于网格化“六元四阶”定界法从 DPI 全采全监的信令关联数据中提取各阶段影响业务使用的关键 KPI/KQI 指标，通过跨专业总结的定界经验库及规则，通过 6 乘 4 网格化监控及质差定界下钻，实现物联网业务质差的自动定位。

3.1 网络接入成功率定界法

网络接入类成功率质差问题定界通过借助附着及连接建立成功率两个指标，对劣化指标进行关联、聚类、趋势、下钻，实现质差问题定界至六个影响维度。

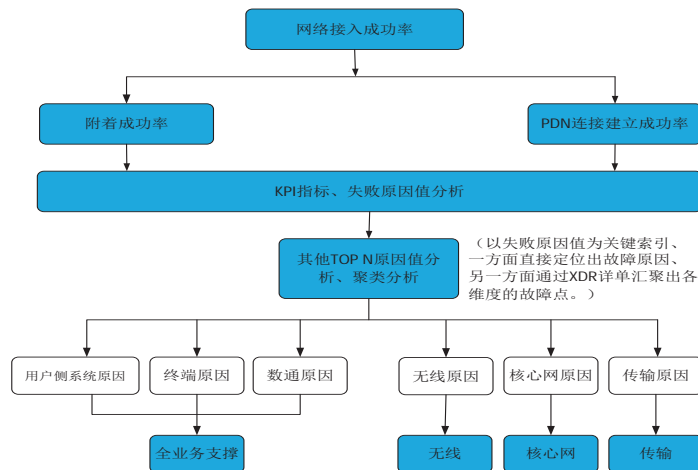


图4 网络接入成功率端到端定界法

(1) 将网络接入成功率分阶段关联映射至 KPI 指标附着成功率、PDN (Public Data Network) 连接建立成功率两个指标上;

(2) 根据失败原因钻取相关 TOP-N 分析法原因值, 对恶化 KPI 指标在时间维度、地域维度进行横向和纵向对比, 确定恶化原因; 若根据失败码或关联定界可以定界出具体专业原因, 则将质差通过 IT 手段派单至对应的专业科室进行处理;

(3) 如果非以上质差导致, 或未关联出相关具体专业指标恶化现象, 则需进一步对失败原因值下钻, 并辅以原始信令 XDR 详单数据, 通过关联、聚类、趋势及下钻四步法, 寻找质差问题影响因素可能涉及的六维度问题。

3.2 网络接入时延定界法

网络接入类时延质差问题定界需要将网络接入过程进行拆解, 首先将附着以及 PDN 连接建立过程分解成身份识别、鉴权、位置更新、默认承载建立、初始上下文建立 5 个过程和 6 个子过程, 根据时域对比分析, 定界到 4 个维度问题。

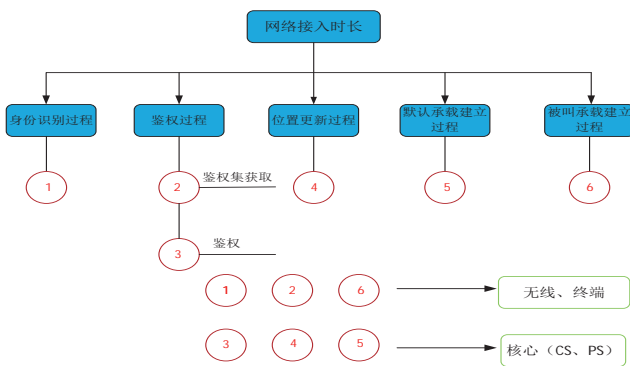


图5 网络接入时长端到端定界法

- (1) 身份识别过程: 对应子过程 1;
- (2) 鉴权过程: 包括鉴权集获取和鉴权两个子过程, 分别对应子过程 2、3;
- (3) 位置更新过程: 对应子过程 4;
- (4) 默认承载建立过程: 对应子过程 5;
- (5) 被叫承载建立过程: 对应子过程 6。

3.3 网络切换成功率定界法

针对网络切换成功率质差问题定界可通过分析 TAU、S1 切换及 X2 三种切换场景成功率来实现, 对恶化指标进行四步法, 实现质差问题定界至六个影响维度问题。

(1) 将网络切换成功率关联映射至 TAU (Tracking Area Update) 成功率、S1 切换成功率、X2 切换成功率;

(2) 根据失败原因钻取相关 TOP-N 分析法原因值, 对恶

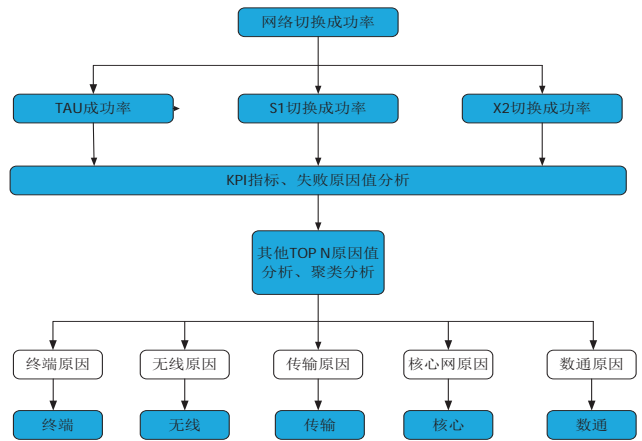


图6 网络切换成功率端到端定界法

化 KPI 指标在时间维度、地域维度进行横向和纵向对比, 确定恶化原因。若根据失败码或关联定界可以定界出具体专业原因, 则将质差通过 IT 手段派单至对应的专业科室进行处理;

(3) 如果非以上质差导致, 或未关联出相关具体专业指标恶化现象, 则需进一步对失败原因值下钻, 并辅以原始信令 XDR 详单数据, 通过四步法, 寻找质差问题影响因素可能涉及的六个影响维度问题。

3.4 业务接入成功率定界法

物联网业务也是一种上网业务, 在接入流程方面可以结合传统手机上网标准协议流程进行类比分析, 主要分为三个阶段, 分别是 DNS 服务器解析阶段、服务器 TCP 三次握手建链阶段以及 HTTP 业务流传输阶段。当发生接入类失败问题, 通过借助 DNS 解析阶段、TCP 三次握手阶段以及 HTTP 传输接入成功率, 对恶化指标进行关联、聚类、趋势及下钻, 实现六个影响维度问题。

(1) DNS 服务器解析阶段: 在该阶段, 终端向 DNS 服务器发起 DNS 解析请求, 携带用户请求的域名信息, 数据交互发生在终端和 DNS 服务器之间;

(2) 服务器 TCP 三次建链阶段: 在该阶段, 终端和内容平台通过三次握手建立 TCP 连接, 该环节的失败没有具体错误码, 但可以根据信令统计到的错误现象进行 S1-U 口上下行定界;

(3) HTTP 业务数据传输阶段: 该阶段是业务数据流的传输过程, 不同的应用协议有相应的业务错误码, 可以根据各个应用业务响应中的错误码进行问题定位。

3.5 业务接入时延定界法

业务类接入发生在网络成功接入后的阶段, 因此根据业务接入时延大小, 上述分析的业务接入分为三个阶段, 分别

是 DNS 服务器解析阶段、服务器 TCP 三次握手建链阶段、以及 HTTP 业务流传输阶段。对于业务接入时延质差定界由三段法分段进行，通过在网元维度、业务维度以及终端维度分别进行质差问题的时间及区域维度分析定界展开。其中网元维度定界可以主要考虑 EPC (Evolved Packet Core) 核心网接入设备 MME /SGW 是否存在个别网元性能恶化现象，进一步针对单用户投诉，可以查看该小区是否属于高时延质差小区；针对业务维度，可以通过是否是特定 APN 导致判定，是否该 APN 专线业务平台异常；针对终端维度，可以通过换终端换卡进行排查，看是否为特定终端异常导致。

3.6 业务传输速率定界法

业务传输速率往往跟物联网用户使用感知强相关，尤其是大流量物联网应用场景，因此根据业务传输速率大小，以及可能影响速率低的网元维度、业务维度、终端维度三个维度，对业务传输速率质差定界，可通过在三个维度分别进行质差问题的时间及区域维度分析定界展开。其中网元维度定界，可以主要考虑 EPC 核心网接入设备 MME /SGW 是否存在个别网元下载性能低现象，进一步针对单用户投诉可以查看该小

区是否属于低速率小区；针对业务维度，可以通过是否是特定 APN 导致判定，是否该 APN 专线业务平台异常；针对终端维度，可以通过换终端换卡进行排查，看是否为特定终端速率低导致。

4 覆盖端管云物联网保障系统构建

构建覆盖“端管云”跨专业自动定界定位的物联网端到端的业务保障系统，首先需要建立并采集完备的网络接入类和业务接入类指标监控体系，借助运营商 DPI 设备分光采集进行全量信令数据的采集、汇聚、关联、合成，实现每条物联网业务流的全量 XDR 清单记录。再结合跨专业团队定界规则库及六元四阶定界法，将一个端到端业务问题定界定位到用户侧系统、终端、无线、传输、核心网、数通等环节，解决传统各专业各自为政分散处理的故障处理模式，实现物联网问题的快速、高效、精准保障。

物联网端到端业务保障体系平台搭建如图 7 所示。

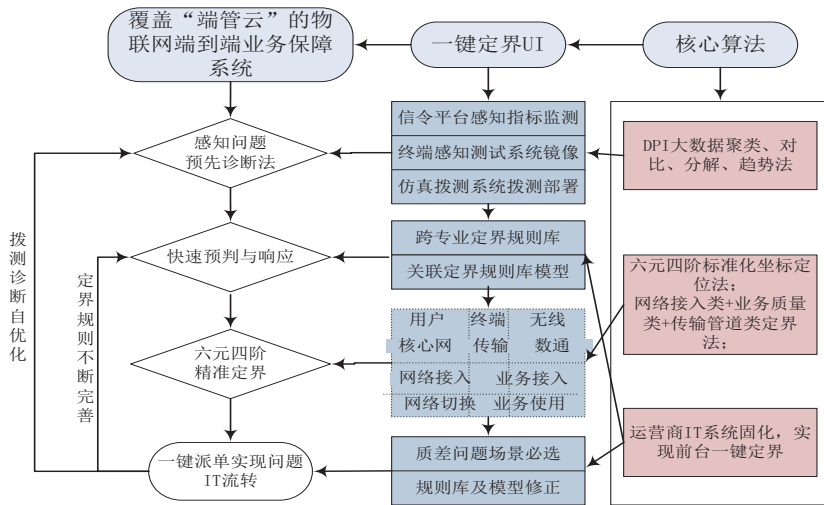


图 7 物联网端到端业务保障系统架构

5 结束语

本文聚焦物联网业务全流程网络及业务接入类指标体系，从端到端跨专业涉及的四个阶段、六个影响维度，设计六元四阶法分场景网格化故障定界算法，并在信令大数据性能系统进行 IT 固化实现质差问题的一键定界定位和一键质

差派单，构建了覆盖“端管云”的物联网全流程端到端业务保障系统，在助力运营商快速高效地实现物联网业务部署和保障体系建设上取得了明显成效。

(收稿日期：2019-04-08；

技术审核：张登银；责任编辑：王玉)

工业 PON 在智能制造业的应用

宁 玉

中国电信股份有限公司徐州分公司

摘 要: PON 是一种灵活性高、扩展性高的全光高速网络。本文论述了在智能制造车间使用工业 PON 的建设方案和运维方案。在智能制造车间建立一个工业 PON 网络, 承载车间中各类车床等加工设备、无线设备、监控设备与数据采集等信息系统的连接, 可以提高生产设备的利用率, 减少故障和停机时间, 节省统计生产数据的时间, 提高处理问题的效率, 实现加工过程可视化可追溯。

关键词: 工业 PON; 智能制造; 中国制造 2025

0 引言

2015 年《中国制造 2025》正式发布, 旨在推动互联网与工业融合创新, 驱动工业数字化、网络化、智能化发展, 走具有中国特色的新型工业化道路, 建设制造强国和网络强国。工业 PON (Passive Optical Network, 无源光纤网络) 是信息化与工业化的深度融合, 是实现智能制造并采用新一代信息技术与制造业深度融合的一个重要表现。工业 PON 正在对传统制造企业的基础网络产生颠覆性的影响, 在此基础上, 制造企业将逐渐形成新的智能制造生产方式和产业形态。

本文基于徐州电信近年建设和运维的多个工业 PON 成功案例, 论述了工业 PON 的特点和在智能制造业的应用场景, 介绍了工业 PON 在智能制造车间的组网方案和维护方案。目前工业 PON 在智能制造业的应用呈现高速发展态势, 相较

于传统以太网网络, 工业 PON 在许多方面有压倒性优势, 更适合智能制造业。本文可以为制造企业、通信运营商提供工业 PON 项目建设和运维的参考。

1 工业 PON 简介

工业 PON 系统是应用于工业环境的全光 PON 网络系统。PON 系统是采用光纤传输技术的接入网, 泛指端局或远端模块与用户之间采用光纤或部分采用光纤作为传输媒体的系统, 它采用基带数字传输技术传输双向交互式业务。它由光线路终端 OLT(optical line terminal)、光配线网 ODN(optical distribution network)、及光网络单元 ONU(optical network unit) 组成。如图 1 所示。

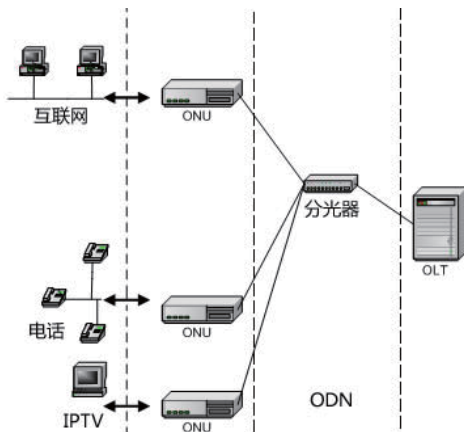


图 1 光接入组网图

OLT: 为光接入网提供网络侧接口并经一个或多个 ODN 与用户侧的 ONU 通信, OLT 与 ONU 的关系为主从通信关系。

ODN: 为 OLT 与 ONU 之间提供光传输手段, 其主要功能是实现完成光信号功率的分配任务。ODN 是由无源光元件 (诸如

光纤光缆、光连接器和光分路器等) 组成的纯无源的光配线网。

ONU: 为光接入网提供远端的用户侧接口, 处于 ODN 的用户侧。

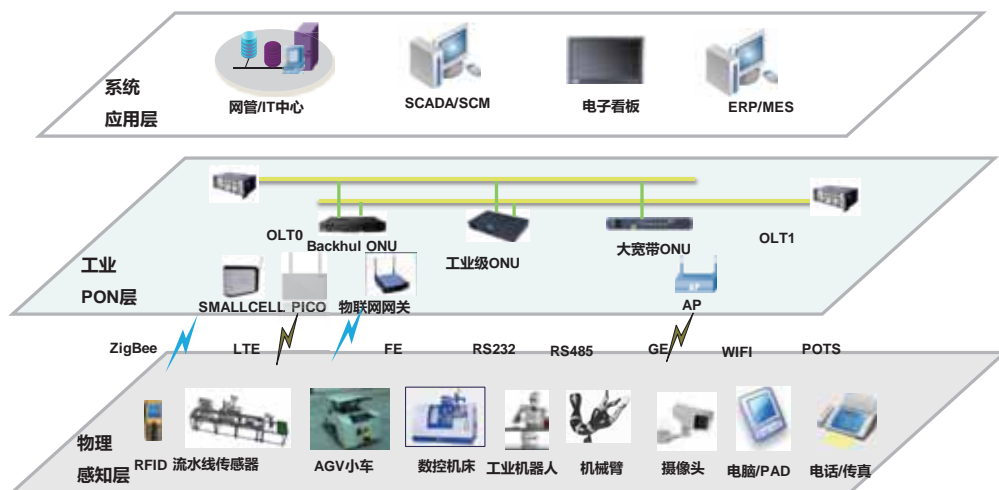


图 2 工业 PON 组网图

在工业 PON 组网中，用户的数据、串口、视频业务，可通过工业级 ONU 的 FE、GE、RS232、RS485 等接口，实现数据和视频的分别或统一接入；用户语音业务，可以由 ONU 的 POTS 口，实现语音接入。这些数据流在网络侧各业务流通过 PON 系统上行后，由 OLT 汇聚上联 GE/FE 接口连接到智慧工厂通信专网，实现智能制造 MES、ERP、PLM 等系统和下层物理设备的对接，从而实现工业控制、数据采集分析、视频监控等。对于 RS232、RS485 等串口业务，可以实现透传。对于用户的不同业务，可以由 PON 系统 OLT 上配置成不同的优先级，以保证不同业务的 QoS。

目前工业 PON 承载的业务主要有如下几类：

- (1) 视频监控业务：通过数据口（FE）实现；
- (2) 语音、传真业务：通过语音口（POTS）实现；
- (3) 数据采集：通过网关数据口（FE、GE）实现；
- (4) 无线承载：通过数据口（GE、FE）、时间同步口（1PPS+ToD、1588V2）实现，并可提供 POE/POE+ 供电。

2 工业 PON 特点

2.1 全光纤架构

工业 PON 系统采用全光纤网络，基于先进成熟的 PON 技术，一根光纤实现全覆盖，网络层次简单，适合智能制造云架构，比以太网交换机减少数据交换转发数，更适合智能制造的要求。

工业 PON 结合成熟的 P2MP 技术、以太网技术形成完善的数据处理方式，与智能制造的总线、链型生产环境相匹配。工业 PON 网络可实现链型、环形、T 型网络等各种网络拓扑结构，适应各种制造环境要求的组网要求。

工业 PON 系统可实现低时延下行 <1ms、上行 <1.5ms、长时间运行无丢包，满足制造行业应用需求。

2.2 全业务接入

工业 PON 系统采用一根光纤就可以融合数据、串口、语音、视频所有业务，相比以太网除数据外需要增加其它业务网络，网络简洁，统一网络管理。

工业 PON 系统可以满足智能制造各种应用场合的所有业务，包括工业控制、数据采集、工位视频监控、大数据、高质量语音业务，通过各种工业级 ONU 设备支持智能制造 FE、GE、RS232、RS485、CAN 口、POTS、POE、时间同步等接口。

2.3 适合复杂环境

工业 PON 系统 ODN 为无源系统、具有抗强电磁、强振动、寿命长、安装方便、占用空间少，运维方便的特点。

工业 PON OLT 为电信级设备，在运营商网络长期应用，可靠性高。

工业级 ONU 设备支持抗电磁干扰、抗振动、宽高温（-40℃ ~85℃）宽湿度（5% ~95%），满足各种工业制造复杂环境要求。

2.4 工业级安全保护

工业 PON 网络服务高端制造企业，充分考虑系统和网络两个层面高可靠性保证。

工业 PON 系统提供多种光纤保护和倒换方式，提供电信级高可靠性保证。通讯工业级 ONU 具备双 PON 上行，提供多种业务接口，能够适应各种恶劣环境，抗强雷击和强电磁干扰。

工业 PON 网络组网采用“手拉手”保护方式，具体结构如图 3 所示。

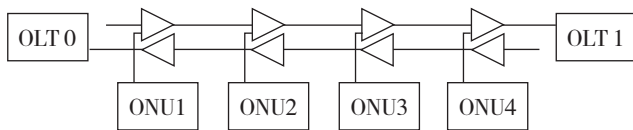


图3 手拉手保护方式

OLT：核心控制和交换模块、电源模块、管理板、上行板等关键板件应冗余备份，保证设备稳定运行；支持光纤保护功能，为重要客户提供可靠的业务接入。

工业级 ONU：工业级芯片、器件实现工业级应用设备，同时实现 Dying-gasp 保护。

业务侧：完善数据加密功能、业务优先级保护、防攻击保护。

2.5 满足智能制造业长期发展需要

OLT 设备采用 EPON 和 10G EPON 统一平台的全 IP 内核架构，支持 EPON 和 10G EPON 线卡混插，支持向 10G EPON 平滑演进，充分保护投资。现有 1G EPON 产品向 10G EPON 可平滑演进。

2.6 满足轻运维需求

由电信运营商为客户定制全套工业 PON 整体专业运维解决方案，包括设备认证、业务发放、远程管理、网络安全等运维服务，大大减轻了制造企业的运维压力。

3 智能制造车间工业 PON 解决方案

因智能制造工业生产的重要性和不间断性，一般建议配置 2 台 OLT 放置于控制室，工业级 ONU 放置于各操作工位或车床附近。由 2 台 OLT 各出 1 个 PON 口组成手拉手的 2 条链的组网方式，各个双 PON 口工业级 ONU 分别上连到这 2 条链上。这样可以实现 OLT 设备、主干光纤、PON 端口、分光器、光缆全网的保护，任何 1 台 OLT、任何一个 PON 口、任何一个分光器、任何一条光缆出现故障都不影响 ONU 的正常使用。在手拉手保护方式下，切换时间小于 50ms。

工业级 ONU 可以提供 FE、RS232、RS485 等接口与采集终端互联，并且能适应各种恶劣环境。

为解决无线 AP 接入，在 OLT 下挂 POE ONU 设备，该 POE ONU 设备可以提供 GE 接口接入 AP，同时提供 POE 供电方式为 AP 设备供电。

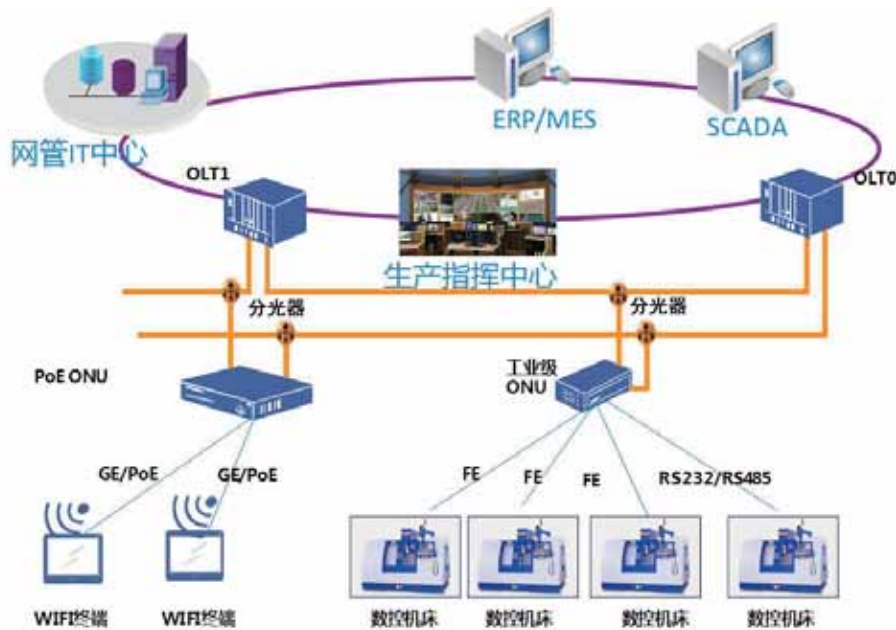


图4 智能制造车间工业 PON 组网图

4 工业 PON 维护方案

工业 PON 一般采用电信企业建设维护，企业购买服务方式运作。在运行维护时，建议做好三位一体的运维方案。具体如下：

(1) 统一的报障方式：采用 10000 号或 800 电话报障；

(2) 统一的维护人员：因工业 PON 主要安装在工厂厂区内内部，一般由当地电信企业负责统一维护。同一个厂区内的车间由同一维护班组承接，并完成服务保障工作内容和定期巡检作业计划；

(3) 统一的网管监控：同一个厂区建议尽量安装同一品牌的设备，并统一设备型号。在客户端安装可视化网管，便于客户方实时监控，发现问题时及时报障。

5 结束语

近两年，徐州电信已经为多家智能制造企业建设了工业PON网络，并承接维护工作。经实践证明，工业PON网络能够良好的替代传统以太网交换机网络，并具有故障率低、抗电磁干扰、扩展容易等优点，真正地连接到了智能制造的每一个生产单元。

(收稿日期：2019-03-25；

技术审核：胡冰；责任编辑：王玉)



(上接第 42 页)

3秒以内。因此，在线用户的业务虽然会出现短时中断，但业务体验仍处于可接受范围区间。

2.2.3 部署成本估算

仍旧以用户规模为450万的中等规模业务区进行估算，SAEGW-U按照单网元50万用户容量配置，共需要部署9套SAEGW-U。由于采用负荷分担容灾方式，可适当增加SAEGW-C的部署数量，降低单网元所承担的用户量。按照配置3套SAEGW-C计算，单套SAEGW-C的用户量为150万，再按照其中一套SAEGW-C故障后，另两套SAEGW-C可以完成接管该业务区的用户业务计算，每套SAEGW-C的用户实际容量需要配置为225万，因此整个业务区SAEGW-C合计需配置675万用户容量。辅以公式表示，如假设业务区的用户总量为N，业务区内配置的SAEGW-C数量为M，则该业务区所需的SAEGW-C网元总容量为 $N*M/(M-1)$ 。

3 方案比较和部署建议

针对上一章节中分析的两种容灾可行性方案，从容灾预期效果和方案部署成本方面进行横向对比：

在容灾预期效果方面，主备容灾方案由于存在用户会话信息的实时同步机制，可实现故障状态下的业务无缝接管；而负荷分担方案由于同步机制的缺失，需要用户重新上线才能继续使用业务，其故障态下的业务体验较前者存在一定不足，

但业务中断时长完全处于可接受范围区间。

在方案部署成本方面，主备容灾方案由于备用网元需要在故障时具备完全接管主用侧业务的能力，因此配置需要与主用侧保持完全一致，且日常处于完全闲置状态，不处理任何业务，部署成本偏高，资源利用率偏低；而负荷分担方式则具备相对较高的成本优势，配置容量为用户数的 $M/(M-1)$ ，其中M为该业务区配置的SAEGW-C网元总数。

经过上述对比可知，容灾效果方面为主备方案占优，而部署成本方面则是负荷分担方案胜出。建议在方案部署初期，业务区试点用户规模较小时，可以考虑部署主备容灾方案，后续协议标准成熟后，进入规模部署阶段可兼顾考虑后续的4G/5G核心网架构融合演进，再调整为负荷分担方案，并适当增加单业务区内SAEGW-C网元的部署数量，进一步节省新架构部署的投资总体成本。

4 结束语

本文通过对SAEGW C/U分离架构可行性容灾方案在容灾原理、预期效果及投资成本方面的综合分析，针对不同部署阶段，提出了具有一定参考价值的业务体验与投资成本兼顾的差异化部署思路。

(收稿日期：2019-04-02；

技术审核：李忠超；责任编辑：王玉)

高带宽需求的 PON 网络技术升级方案初步探讨

肖荣军 徐义光

中国移动通信集团江苏有限公司

摘要: FTTH GPON 组网是当前宽带接入网络的主流模式, 但难以满足未来高带宽业务规模发展的需求。本文通过展望宽带业务发展趋势, 针对超高清视频 (4K/8K) 和 VR/AR 等高码率业务的带宽需求进行了预估, 分析了 GPON、XG(S)-PON、TWDM-PON 等技术标准, 对比了降低 GPON 分光比、新建 XG(S)-PON 网络覆盖和 XG(S)-PON 与 GPON 共用 ODN 网络三种升级方案, 结合网络升级成本和网络发展的可持续性, 重点推荐了 XG(S)-PON 与 GPON 共用 ODN 网络的平滑演进方案。

关键词: 千兆接入; GPON; XG(S)-PON; 平滑演进

0 引言

随着提速降费工作开展, 江苏省家庭固定宽带接入速率大幅提升, 截至 2018 年底平均接入速率已达 113Mbps。但由于互联网的快速发展、4K 超高清电视的普及、智能家居产品逐步增多、VR/AR (Virtual Reality/Augmented Reality, 虚拟/增强现实) 和 8K 视频等技术推出商用产品, 百兆速率已逐渐难以满足宽带接入需求。目前国内主流宽带运营商都已经推出千兆宽带业务, 但受限于业务应用成熟度以及网络接入能力等因素并未进行大规模推广。

1 家庭宽带业务发展趋势与流量模型

家庭宽带主要承载电视视频、网络视频、网页浏览和游戏等业务, 其中视频是占用带宽的主要业务, 且视频分辨率正在快速向超高清发展。电视终端方面, 4K 电视逐步普及, 2018 年全国 4K 电视销量占比已超过 50%, 8K 电视也已经逐步推出。节目源方面, 2018 年中央电视台发布了 4K 超高清电视节目制播技术规范, 并在 2018 年下半年开播央视 4K 超高清频道; 同年广东综艺频道分辨率升级到 4K。爱奇艺、优酷和腾讯视频等网站上 4K 节目逐步增多。2019 世界超高清视频 (4K/8K) 产业发展大会上, 工业和信息化部和国家广播电视总局明确了全面推进超高清视频产业快速健康发展和持续推进 4K 超高清电视内容建设等计划。因此预测 4K 超高清节目数量将迅速增长, 广大用户的收视需求也会同步增加。VR/AR 技术逐步从概念转化为产品, 2018 年终端出货量已达到 900 万以上, 预估在未来 3 年将以 65% 速度快

速增长。网络摄像头、电子门锁等产品正逐步进入消费者家庭, 这将对宽带接入速率提出更高需求。

4K 视频码率在 20Mbps 至 50Mbps 区间不等, 一般需要 50Mbps 接入带宽可保障 4K 视频播放流畅; 8K 视频则需要 150Mbps。根据用户体验层次, VR/AR 可分为无沉浸、初步沉浸、部分沉浸、深度沉浸和完全沉浸五个阶段。目前商用产品处在部分沉浸阶段, 但是未来三五年将进入深度沉浸阶段, 而部分沉浸模式下的需要 90Mbps 以上带宽, 深度沉浸模式则需要 360Mbps 以上带宽。

基于以上分析, 对家庭宽带业务场景预测如下: 4K 视频收视将成为用户普遍需求, 同时考虑其他业务的并行使用, 因此 100Mbps 接入速率将是宽带用户基本要求。

因多路电视或网络视频播放的需求, 200Mbps 带宽将成为主流用户所需的速率。随着 8K 电视或 VR/AR 产品使用, 500Mbps 甚至 1000Mbps 速率将成为部分高端用户的需求。根据未来家庭宽带用户的业务需求预期, 并结合 2018 年底江苏宽带用户速率实际分布情况, 对 2020 年的用户速率分布情况进行预测, 如表 1 所示。

表 1 用户带宽分布和预测

2018 年江苏宽带用户分布		2020 年江苏宽带用户分布 (预测)	
用户带宽	占比	用户带宽	占比
50M 以下	9%	100M	20%
50(含)–100M	19%	200M	50%
100(含)–200M	52%	500M	20%
200M 及以上	20%	1000M	10%

为便于计算分析, 将预测带宽分为 100M、200M、500M 和 1000Mbps 四档典型值, 其对应的用户占比为 20%、

50%、20% 和 10%，用户平均带宽 320Mbps。

高带宽业务所需的峰值速率如下：4K 视频为 50M，8K 视频 150M，VR（部分沉浸）100M，AR（深度沉浸）400M。电视、VR/AR 的使用过程中，码率相对稳定，流量占空比可设定为 100%。结合各种宽带速率可支持的高带宽业务情况，预测高带宽业务峰值速率累加和，如表 2 所示。

表 2 各类用户的高带宽业务及其峰值速率

带宽	4K	8K	VR	AR	小计
100M	1	-	-	-	50M
200M	2	-	-	-	100M
500M	1	1	1	-	300M
1000M	1	1	1	1	700M

同时用户存在通过手机、平板电脑等终端的上网行为，例如在线观看短视频、浏览网页、下载资源等，由于上网行为的流量存在突发性较高情况，根据经验值把流量占空比设定为 20%，并根据经验值，把用户在线比例假定为 80%。通过以上参数分别计算各种带宽用户的峰值速率，然后结合各类用户比例计算整体的平均峰值速率约为 203M，如表 3 所示。

表 3 宽带用户的平均峰值速率测算模型

用户带宽 (M)	用户占比	用户在线比例	上网业务占空比	高带宽业务速率 (M)	峰值速率 (M)	平均峰值速率 (M)
100	20%	80%	20%	50	56	203
200	50%	80%	20%	100	112	
500	20%	80%	20%	300	320	
1000	10%	80%	20%	700	720	

2 PON 技术标准比较

GPON (Gigabit-Capable Passive Optical Network, 吉比特无源光网络) 最早由 FSAN 组织于 2002 年 9 月提出，ITU-T 在此基础上于 2003 年 3 月完成了 ITU-TG.984.1 和 G.984.2 制定，2004 年 2 月和 6 月完成 G.984.3 的标准化。GPON 支持下行 2.5Gbps，上行 1.25Gbps 带宽，比 EPON (Ethernet Passive Optical Network, 以太网无源光网络) 带宽更大，业务承载更高效、分光能力更强，更注重多业务和 QoS 保证。目前，GPON 已经成为主流制式，且占比逐步提升，因此本文主要基于 GPON 展开讨论。

2009 年 ITU 发布了 XG-PON (10-Gigabit-capable Passive Optical Network, 10 吉比特无源光网络) 标准的第一阶段规范，

即下一代 PON 系统的总体需求 (ITU-T G.987.1) 和物理层规范 (ITU-T G.987.2)。2010 年 6 月，ITU-T 发布了 XG-PON 的汇聚层规范 (ITU-T G.987.3) 和管理层规范 (ITU-T G.988)。2012 年 6 月，ITU-T 发布 XG-PON 关于扩展可达的规范 (ITU-T G.987.4)。XG-PON 为非对称型带宽，上行 2.5Gbps，下行 10Gbps。

2013 年 ITU-T 开始制定 40Gbps 无源光网络 G.989 系列标准，也成为 NG-PON2，主要采用了 TWDM-PON (Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network, 时分/波分复用无源光网络) 技术。2016 年 6 月，ITU-T G.9807.1 定义了 XGS-PON (10-Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network, 对称型 10 吉比特无源光网络) 规范。XGS-PON 为对称型带宽，上下行速率均为 10Gbps。由于目前 NG-PON2 光模块成本太高，XGS-PON 可作为 GPON 和 NG-PON2 演进过程中的过度方案。各类 PON 制式可支持的上下行速率如表 4 所示。

表 4 各类 PON 制式的协议速率

	GPON	XG-PON	XGS-PON	NG-PON2
协议	G. 984	G. 987	G. 9807	G. 989
下行	2.5G	10G	10G	40G
上行	1.25G	2.5G	10G	10G

XGS-PON 标准中除了包含 10Gbps 上下行对称速率的定义，增加了通过波长堆叠方式支持 GPON/XG-PON 共存的技术，对于 PON 网络的平滑演进有积极意义。XGS-PON 支持两种波长方案：一种基本波长方案中，XGS-PON 与 XG-PON 波长范围相同，支持这两种制式 ONU 混合组网；另一种可选波长方案中，XGS-PON 与 GPON 波长范围相同，支持与 XG-PON 进行波分复用的组网模式。

WDM (Wavelength Division Multiplexing, 波分复用) 技术作为 NG-PON3 的技术方向，使用多个不同波长同时工作，其中最直接的 WDM-PON 方案是 OLT 中有多个不同波长的光源，每个 ONU 也使用特定波长的光源，各点对点连接都按预先设计的波长进行配置和工作。

3 GPON 网络技术演进方案

当前 FTTH (Fiber To The Home, 光纤到户) 网络由 OLT (optical line terminal, 光线路终端)、ODN (Optical Distribution Network, 光分配网络) 和 ONU (Optical Network Unit, 光网络单元) 组成。ODN 主流分光模式为

1:64 分光，但是末级分光器端口一般不会完全放装业务，末级端口利用率可按照 60% 测算，结合不同 PON 制式的实际下行可用带宽，可计算出各类 PON 制式下的网络支持能力。GPON 网络下，平均每用户的可用带宽为 57Mbps，结合本文第 2 节的测算，可以支撑 100M 用户（平均峰值带宽 56M）需求，但是难以满足未来高带宽业务发展需要（平均峰值带宽 203M）；XG(S)-PON 模式下平均每用户的可用带宽为 234Mbps，支撑高带宽业务规模发展；NG-PON2 模式可以支持千兆业务普遍放装。各类 PON 制式可支持的平均速率情况如表 5 所示。

表 5 各类 PON 制式可支撑的平均速率

	GPON	XG(S)-PON	NG-PON2
下行带宽 (M)	2200	9000	36000
端口利用率	60%	60%	60%
分光比	1:64	1:64	1:64
平均速率 (M)	57	234	938

为支撑未来高带宽业务发展，在当前 GPON 制式为主的网络基础上，可通过降低 GPON 分光比、新建 XG(S)-PON 叠加覆盖和 XG(S)-PON 与 GPON 复用 ODN 三种方案提升网络接入能力，以下将详细讨论。

3.1 降低 GPON 分光比

目前 GPON 制式的 ONU 的 PON 模块具备 1000M 接入能力，同时也具备千兆以太网口供用户侧设备连接。理论上 GPON 网络具备千兆业务接入能力，并在高带宽业务发展早期作为一种高性价比的过渡方案。

在现有 GPON 网络基础上，业务负荷较低的 PON 口，少量放装高带宽用户，可以满足业务需求。随着业务发展，可能出现超出 PON 口承载能力情况，可以通过降低分光比方式，保障网络接入能力，如图 1 所示。

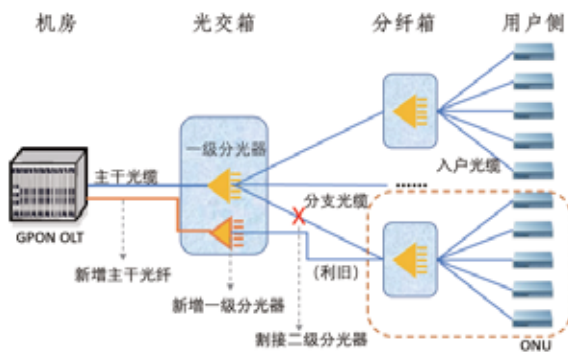


图 1 降低 GPON 分光比示意图

当高带宽业务普遍发展后，GPON 分光比需要降低到 1:16，才能满足上文的预测。PON 口的数量要求增加 4 倍，

更重要的是机房至小区的主干光纤消耗量增加 4 倍，对管线资源和空间资源压力较大。因此不建议作为长期方案。

3.2 新建 XG(S)-GPON 叠加覆盖

通过新建整套的 XG(S)-PON 制式网络（包含 OLT\ODN\ONU），与原有的 GPON 网络形成叠加覆盖的形式。对高带宽用户或新入网用户，放装到新建 XG(S)-PON 网络，并对存量 GPON 用户通过提速迁移方式，逐步割接到 XG(S)-PON 网络，如图 2 所示。

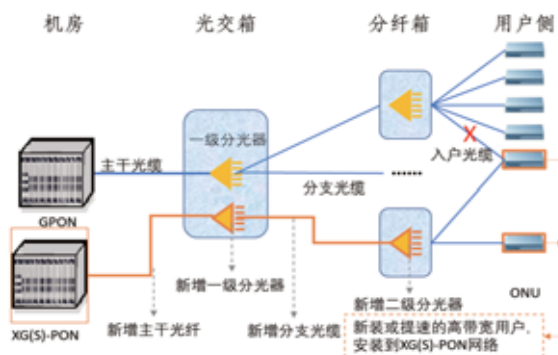


图 2 新建 XG(S)-GPON 叠加覆盖示意图

这种方式对网络升级做到一步到位，对于接入网维护和业务放装管理相对简单，但是投资成本较高，原有 ODN 网络难以充分利旧，容易造成资源浪费。

3.3 XG(S)-PON 与 GPON 复用 ODN

由于 XG-PON 或 XGS-PON 均可利用与 GPON 不同的波长，在现有的 ODN 网络上可以做到波分复用。整个 PON 网络建设中，ODN 部分投资比重较高，且管线资源建设周期较长，充分利用现有 ODN 网络不但节省投资还可缩短施工周期。而且目前商用的 OLT 设备已经做到合波/分波器、XG(S)-PON 和 GPON 模块的一体化集成，减少了升级过程中机房侧的施工和空间资源需求，如图 3 所示。因此该方案作为近期 PON 网络演进的优先考虑方案。

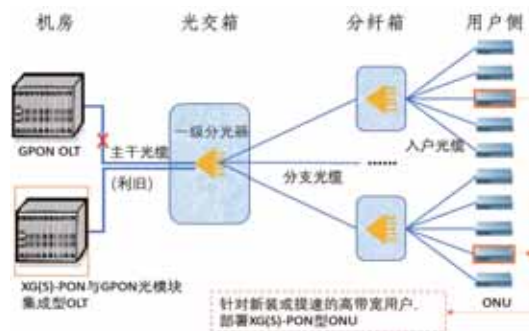


图 3 XG(S)-PON 与 GPON 复用 ODN 示意图

下转第 68 页

PeOTN 网络承载高品质专线业务的方案研究

陆源 白立武 张立明

山东省邮电规划设计院有限公司

摘要: 本文首先介绍了目前 PeOTN 需求驱动及实现原理, 结合 OTN 现网的实际情况, 提出了 PeOTN 网络部署方案, 包括波道规划、省本对接、入云方案, 并给出了业务产异化承载建议。同时, 针对现阶段 PeOTN 的应用, 进行了成本分析。

关键词: PeOTN; 政企客户; 云专线

0 引言

政企客户专线按照类别可分为数据专线、互联网专线、语音专线和其他专线(如租纤、IDC 托管等)四大类。目前数据专线网络以 SDH/MSTP 的 EOS 承载方式为主, 随着 SDH/MSTP 网络逐步停止建设, 企业专线带宽的持续提速以及企业云化演进带来的业务快速开通、弹性带宽、智慧运营等智能化诉求, PeOTN 技术将是未来面向云时代专线的最佳精品承载方案。

随着越来越多的企业上云, 云资源成为企业 IT 必要的组成部分。客户对云内资源进行管理、调整或传送数据时, 需要敏捷安全的入云通道以及云间数据通道。目前业界基本形成共识, 承载未来高品质云专线的最佳技术方案是以增强型分组/VC/ODUk 为核心的 PeOTN 技术。以 PeOTN 技术为基础打通国干、省干、城域、乡镇, 打造“国-省-市-县-乡”端到端一体化智简专网是现阶段网络可考虑的演进路线。

1 PeOTN 概述

PeOTN (分组增强型 OTN) 目的是实现 L0 WDM 光层、L1 OTN 层和 L2 分组传送层(包括以太网和 MPLS-TP)的功能集成和有机融合。早期的技术仅包含分组平面和 ODUk 平面, 后期厂家陆续开发了基于 TDM 的 VC 平面, 所有的 OTN/PKT/VC 业务都能被汇聚到同一波长传输, VC 平面的开发使得原承载于 MSTP 的 EOS 专线业务, 可以由 PeOTN 网络替代。

PeOTN 网络针对政企业务的映射可以分为四种: (1) 分组 MPLS-TP 映射, 客户侧信号通过 2 层标签(VLAN+PW) 或者 1 层标签(VLAN) 映射进标签交换路径(LSP), 再根据信号颗粒选择 ODUk 封装, 线路侧进行适配形成 OTU-N 信

号。(2) L2 EOO ETH 映射, 客户侧信号打上 VLAN 标签再封装进 ODUk, 线路侧进行适配形成 OTU-N 信号。与分组 MPLS-TP 区别在于此种封装映射不占用分组交叉平面, 客户侧单板内置基于 L2 交换的汇聚功能。(3) OTN 纯透传映射, 即传统 OTN 业务封装映射, 客户侧信号直接封装进 ODUk, 不对信号进行复杂处理, 业务信号透明传输。(4) SDH 映射, 通过 PeOTN 的 VC 交叉平面映射进 ODUk, 原理与 SDH 业务的交叉类似, 只是线路侧进行了 ODUk 的 OTN 适配传递。PeOTN 实现机理及业务映射路径见图 1。

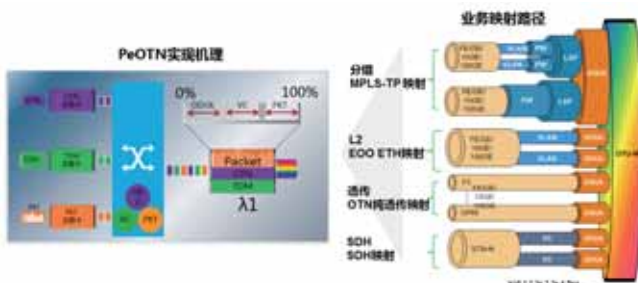


图 1 PeOTN 实现机理及业务映射

传统 OTN 网络主要解决的是大带宽 IP 城域网电路需求, 对于 GE 及以上颗粒的政企客户业务也可以提供 ODUk 透传刚性带宽管道。PeOTN 基于 OTN/PKT/VC 的统一交叉实现多业务的灵活接入和封装传递, 解决了小颗粒业务的封装承载。

目前运营商干线和本地网层面, 基本都部署了单波 100G 系统。单波 100G 系统的电交叉本身支持 PeOTN 功能, 但实际应用中, 由于目前业务类型主要还是网内业务, 因此基本未配置具备 P 功能的板卡。此外, 目前大部分本地网的 OTN 网络仅覆盖到本地网的核心汇聚层面, 对于末端接入仍需要其他技术补充实现, 承载小颗粒业务成本较高。PeOTN 的部署建议结合本地网专线收入、专线业务需求进行。

2PeOTN 网络部署方案

2.1 波道规划建议

由于本地网基本已经全面部署单波 100G 网络，现阶段主要考虑在现网层面进行 PeOTN 功能部署。本地网 PeOTN 部署建议采用自上而下的原则，初期以核心汇聚层为主，接入层可采用低成本的 MSAP/MSTP(利旧)接入，后续结合大客户业务发展逐步向综合业务接入点延伸。

现网已经部署的本地网单波 100G 系统，一般为环网架构，引入 PeOTN 功能后，传统业务（网内业务）承载方案不变，根据业务流向一般为独享方式安排波道，每区县按业务量规划至核心节点的波道数（一般每区县规划 1-2 波）。启用 PeOTN 功能需进行 PeOTN 波道规划，波道规划可以采取两种方式：（1）共享波道方式，所有节点共享 1 波；（2）独享波

道方式，每区县规划 1-2 波。

共享波道方式是所有区县共享 1 波，优点是节省波道数量，便于原有 SDH/MSTP 业务割接，专线业务的统一汇聚收敛。缺点是配置的 P 功能板卡基本为专线业务使用（逐点配置），单 Gb 业务分摊成本较高。独享波道方式是每区县配置独享波，除了专线业务以外，城域网等其他网内业务也可以使用波道，SDH/MSTP 业务可以通过 2 个核心节点串接形成三点环承载，线路侧可提供的总带宽远大于共享方式，单 Gb 业务分摊成本低。当前阶段，综合本地网远期规划，波道资源并不是瓶颈所在，因此推荐独享波道方式进行 PeOTN 波道规划。

以 1 个典型的单波 100G 系统为例，2 个核心节点和 4 个汇聚节点形成 6 点环，网内业务已经占用第 1-第 8 波，因此从第 9 波开始规划 PeOTN 波道，有共享波道和独享波道两种方式，其组网结构和波道规划建议如图 2 所示。

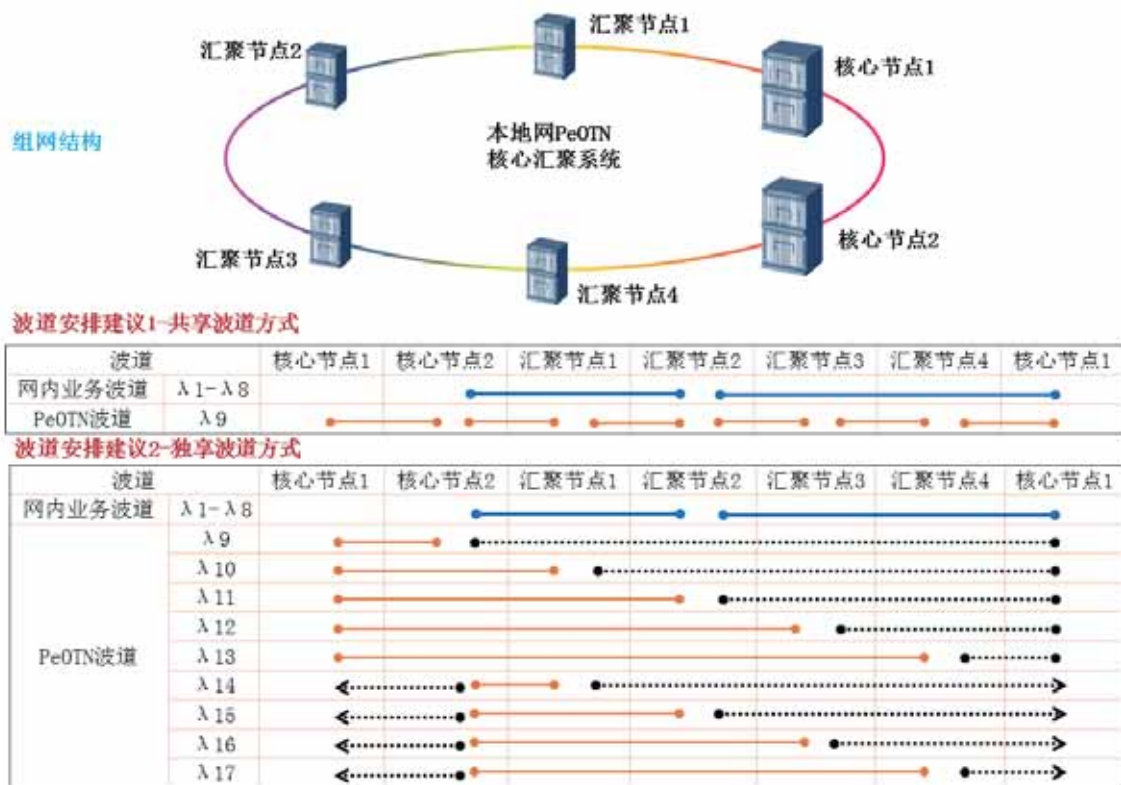


图 2 PeOTN 波道规划建议示意图

2.2 省本对接方案

本地网部署 PeOTN 功能后，对于跨地市的专线，需要统筹考虑本地网 OTN 与省干 OTN 的对接方案。传统对接一般采取客户侧 UNI 方式，业务背靠背上下，承载效率较低。具体而言，对接方案按照本地网波分设备和省干波分设备是否为同一厂商，划分为同厂商场景和异厂商场景。

(1) 异厂商场景

方案 1：在本地网核心局站，通过 UNI 对接省干客户侧端口。对于干线设备和本地网设备异厂商的情况下，这种方案最为成熟，但缺点也很明显，无法端到端配置业务，无法很好支持后续 SDN 演进。

方案 2：异厂商通过 OTU4 灰光对接，此种方案国内运营

商基本已完成规模测试，不同厂商在业务映射和封装方式方面保持设置一致，便于对业务的复用和解复用，能够实现业务的标准化 NNI 互通。此方案后续需要 OTN 控制器和协同器的配合才能实现异厂商间端到端业务下发配置。

(2) 同厂商场景

方案 1: 本地网和省干通过线路板彩光直连(不经过光层)对接, 业务通过 ODUk 调度或透传不落地, 在对接段落, 业

务可配置为 SNCP 保护, 后续再有业务需求时, 可直接复用已经完成对接的 100GE“大管道”中。按照本地网、干线局点和电交叉数量, 典型对接模型有以下两种:

模式 1: 干线和本地分别有两个节点, 4 个 OTN 电交叉分别配置 1 块 100GE 线路板, 形成 100GE 的大通道环。模式 2: 干线和本地分别有 1 个节点, 2 个电交叉分别配置 2 块 100GE 线路板, 形成 100GE 的大通道环。两种省本对接模型见图 3。

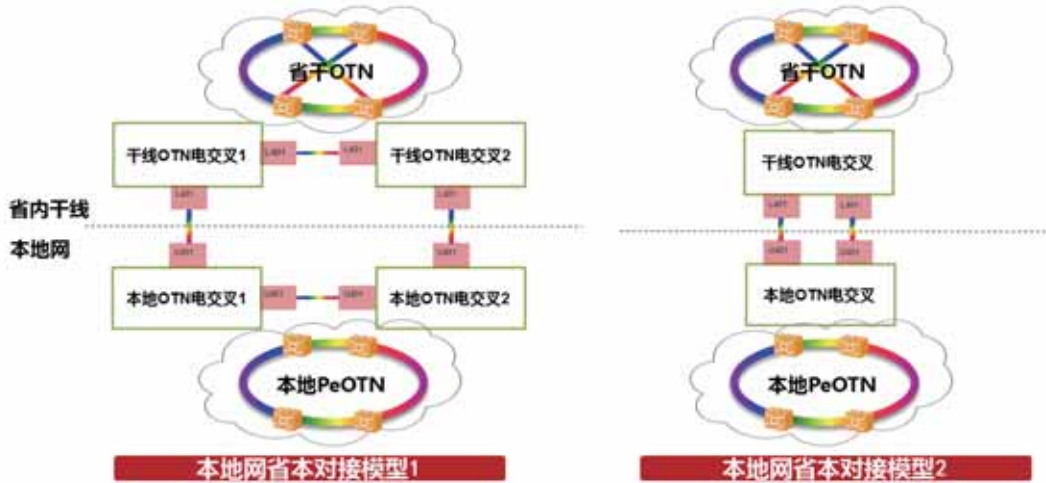


图 3 省本对接方案 1 (同厂商)

方案 2: 本地网和省干均增加 ROADM 方向实现对接, 共用省会本地 PeOTN 电交叉实现互通。跨域业务通过共用 PeOTN 电交叉直接进入省干 OTN 网络, 光层穿通一跳直达。整体架构如下: 以省会本地网为中心圈层, 依托 ROADM 方

式对接, 形成重点本地网-省会本地网的直达光路。省干 ROADM 站点根据光方向配置 N 维的 WSS 板卡(波长选择板), 本地网地市根据本地系统数量和干线方向数量配置 N 维的 WSS 板卡。基于 ROADM 的同厂商对接见图 4。

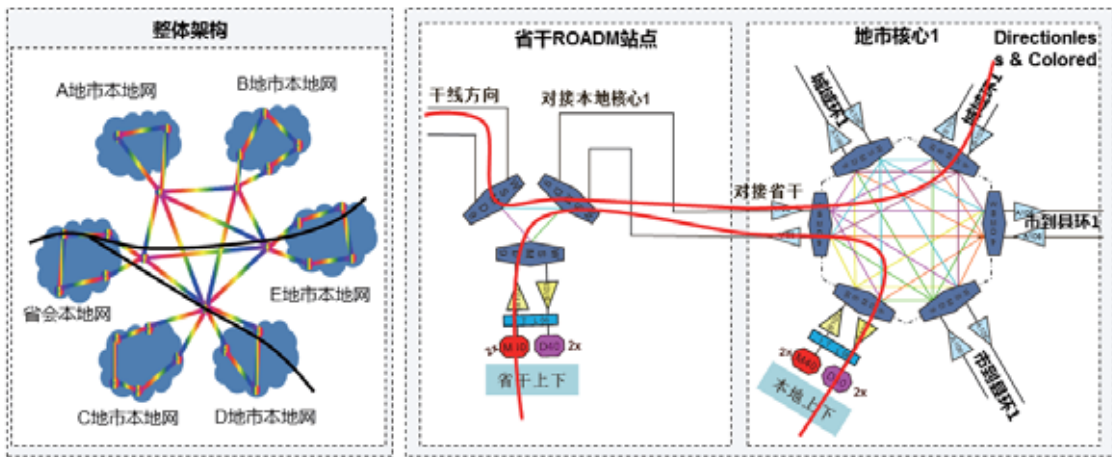


图 4 省本对接方案 2 (同厂商)

方案 3: 在本地网核心局站, 通过 UNI 对接省干客户侧端口, 即传统对接方式。

方案 2; 从投资成本分析: 方案 1> 方案 2> 方案 3, 从技术演进分析, 方案 2> 方案 1> 方案 3。具体方案比选见表 1。

上述 3 种方案, 从维护界面角度分析, 方案 3> 方案 1>

表1 省本对接方案对比表(同厂商)

优缺点	方案 1: 线路板 NNI 直连	方案 2: 共用电子架, ROADM 对接	方案 3: 传统 UNI 对接
优点	省干、本地维护界面清晰;可提供较大带宽	业务光层穿通一跳直达	省干、本地维护界面清晰,可根据业务量按需对接,初期业务量较小时可充分利用旧客户侧端口
缺点	需协调省干进行线路板扩容	省干、本地维护界面不清	无法实现业务端到段发放;后续随着业务量增加客户侧端口消耗大,成本高
投资	适中,线路板	较高,取决于 ROADM 成本	高,客户侧背靠背
建议	一般类型本地网采用	重点本地网采用,围绕中心城市圈层特性组建	不推荐

当前阶段,异厂商场景建议积极推动各本地网与干线采用方案 2 部署。综合比较影响、技术演进、建设成本和维护等因素,现阶段同厂商一般类型本地网可优选方案 1,采取线路板卡 NNI 对接;围绕中心城市圈层特性的有业务驱动的重点本地网可采用方案 2。

2.3PeOTN 入云方案

当前环境下,公有云主推与商企宽带和互联网专线叠加,快速发展用户,IPSec VPN 叠加作为可选方案,云专线和云组网专线作为面向高价值客户的差异化方案。行业云主推与云组网专线叠加,体现差异化的网络质量保障,针对不同价值客户,以实现云内业务调度和网内业务调度为目标。针对

面向高价值客户群的 OTN 网络,建议部署省本一体化的端到端 SDN-OTN 政企传送网,融合 MSTP/ASON。

以行业云为例的 PeOTN 入云方案,见图 5。在云机房放置 PeOTN 网关设备,分别与 PeOTN 网络和云 POP 交换机互联;PeOTN 网关设备具备 VLAN 报文处理功能,采用支持 P 功能的 PeOTN 设备;PeOTN 网络针对用户采用 VLAN 隔离,其受控于上层的 SD-OTN 控制器,由平台进行统一业务指令下发和调度;云 POP 交换机作为云网关设备,云内通过 VxLAN 实现多租户隔离,云网关与 PeOTN 网管设备交互 VLAN 和 VxLAN 标签信息;对网络侧,云网关终结 VLAN,对云侧,云网关配置 VxLAN,与云内虚拟机互通。

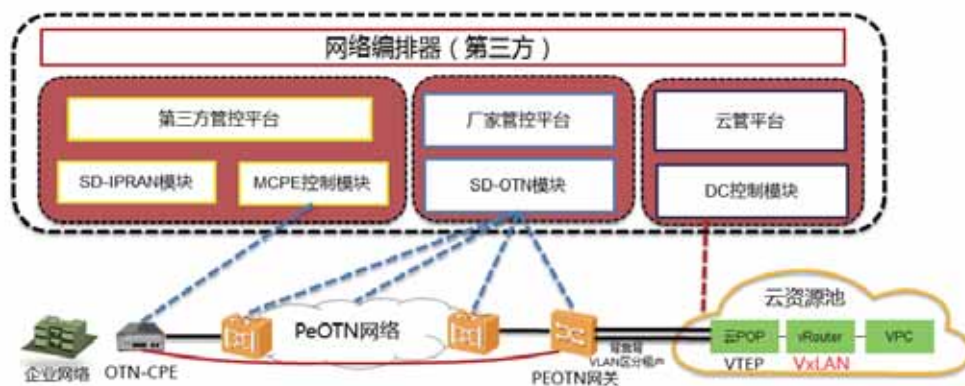


图 5 PeOTN 入云方案

2.4 差异化承载方案建议

(1) 客户侧带宽在 100M 以内(不含),建议选用 SDH 平面,通过 EOS 模式承载,匹配原数据专线模式,末端采用 SDH 交换并映射到 OTN 管道,核心层基于 VC 颗粒度调度到不同方向,需注意厂家对于 VC 交叉能力的限制(见表 2)。(2) 100M(含)-500M 的限速专线,如果利用旧现网 OTN 接入,建议选用 EOO 专线方式;如果采用新建方

式,建议采用 MPLS-TP 专线或者采用以太 VLAN 标识映射到 OTN 硬管道承载。(3) 客户带宽需求在 500M(含)-10G,或者客户侧接口是 FC 类业务,建议直接采用 WDM 波长或者 ODUk 管道封装调度。(4) 客户带宽需求在 10G 以上,建议直接采用 OTN 波长、子波长承载,提供最短时延调度。

PeOTN 网络提供的 4 种差异化业务承载建议见图 6。

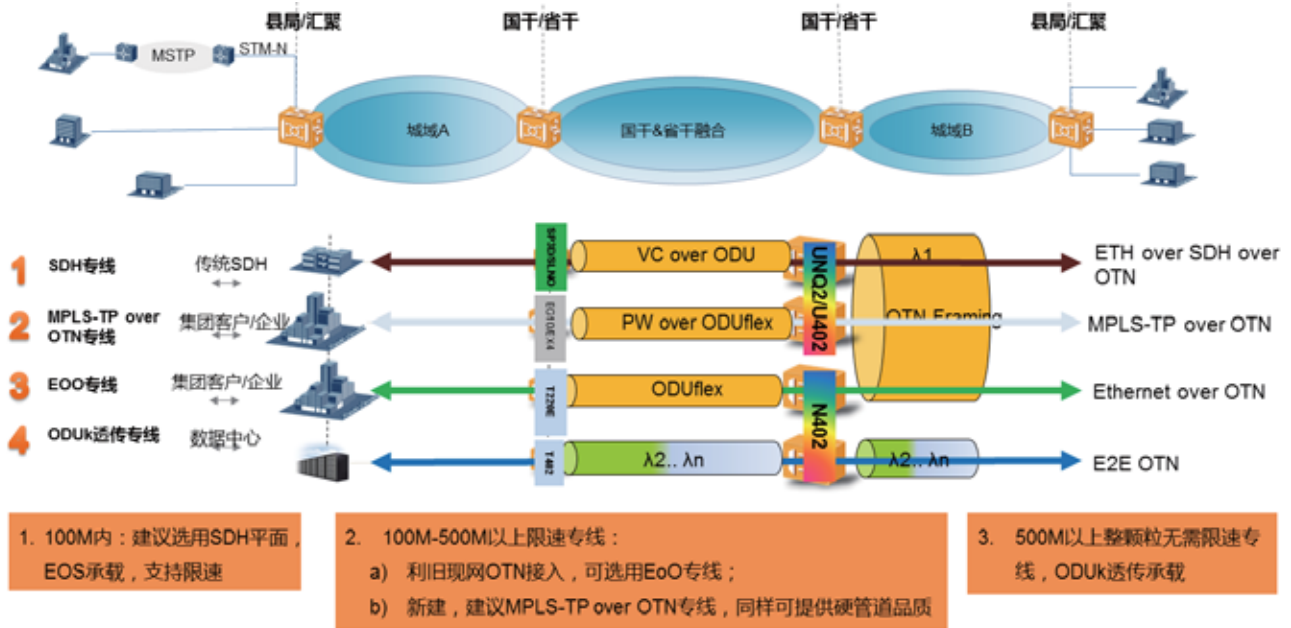


图6 PeOTN 差异化业务承载建议

表2 现阶段 PeOTN 设备厂商对于 VC 能力的支持情况

厂家	设备型号	VC12 交叉容量	VC3 交叉容量	VC4 交叉容量
华为	OSN1800V2	20G	20G	50G
华为	OSN1800V5	40G	40G	单槽 20G/280G
华为	OSN9600	80G	80G	单槽位 80G/2.56T
烽火	FONST1000U5	20G	暂不支持	单槽 20G/300G
烽火	FONST6000	80G	暂不支持	单槽位 80G/5.12T
中兴	M721 CX66A	20G	暂不支持	280G
中兴	ZXONE 9700	每对交叉板 40G	暂不支持	每对交叉板 200G（支持低阶）或 240G（不支持低阶）

备注：华为、烽火标准型设备为统一交叉板，SDH业务与普通OTN业务采用不同的支路板卡；中兴标准型设备需单独配置VC交叉板，SDH业务与普通OTN业务采用相同的支路板卡。

3 现阶段 PeOTN 应用成本分析

现有政企专线主要承载技术有SDH/MSTP、PTN/IPRAN、PeOTN等，各类承载技术在政企业务承载中有各自的特点。3种承载方式的接入层投资相对固定，PeOTN>MSTP>PTN/IPRAN。汇聚层和核心层以上的投资跟带宽成正比，MSTP>PTN/IPRAN>PeOTN。

模型假设某政企客户有20个分支点，1个总部。现各分支点-总部需要100M刚性管道带宽，采取EPL以太私有专线模式。现通过三种场景分析业务成本，场景1：端到端MSTP网络；场景2：末端MSAP，核心汇聚OTN网络；场景3：端

到端OTN网络。3种测算场景见图7。

端到端政企电路的设备投资组成：接入设备成本加上汇聚层及以上设备的带宽分摊成本，接入设备成本=客户接入点设备价格+客户中心设备价格；汇聚层设备分摊成本=板卡价格÷板卡带宽×电路带宽。按照上述原则，场景1和场景2的总部配置OSN1500B，场景3总部配置OSN1800V型。场景1和场景2的分支点配置光收发/MSAP，场景3分支点配置PeOTN-CPE。场景1的核心汇聚层按照现网MSTP网络架构的10G MSTP系统和2.5G MSTP系统分别分摊成本，场景2和场景3的核心汇聚按照现网架构的市县100G波分和县乡波分分别分析分摊成本。专线业务成本测算过程详见表3。

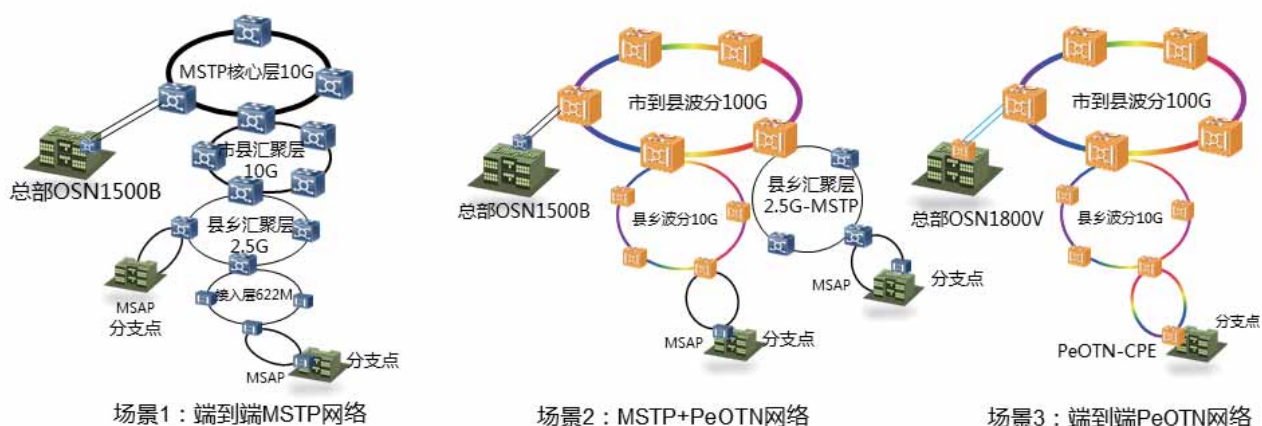


图 7 专线业务应用场景

表 3 专线业务成本测算过程

细项	场景 1: 端到端 MSTP 网络		场景 2: MSTP+PeOTN 网络		场景 3: 端到端 PeOTN 网络	
	配置	金额 / 元	配置	金额 / 元	配置	金额 / 元
总部	OSN1500B(2.5 上联, 1 块 EGS4)	52000.00	OSN1500B(2.5 上联, 1 块 EGS4)	52000.00	OSN1800V (一块 EG10, 两块 UNQ2, 光模块 1 个)	86000.00
核心	10G 环	48001.90	市到县 80X100G PeOTN	4600(OCP 保护) 9200 (SNCP 保护)	市到县 80X100G PeOTN	4600(OCP 保护) 9200 (SNCP 保护)
汇聚	10G 环 +2.5G 环	96000.00	县乡波分 40X10G PeOTN	10400(OCP 保护)	县乡波分 40X10G PeOTN	10400(OCP 保护)
接入	622M 环	114308.68				
分支	光收发 /MSAP	4000.00	光收发 /MSAP	4000.00	PeOTN-CPE	80000
设备成本		314310.58		71000(OCP 保护) 75600 (SNCP 保护)		181000(OCP 保护) 185600 (SNCP 保护)
综合成本		361457.17		81650(OCP 保护) 86940 (SNCP 保护)		208150(OCP 保护) 213440 (SNCP 保护)
业务单 GB 造价(元)		180728.58		40825(OCP 保护) 43470 (SNCP 保护)		104075(OCP 保护) 106720 (SNCP 保护)

备注：参考某运营商集采价格进行测算。

结论：100M 带宽下，(MSTP (MSAP) +PeOTN) 成本 < 端到端 PeOTN 网络成本 < 端到端 MSTP 网络成本，现阶段 MSTP (MSAP) +PeOTN 综合承载成本效果最佳，当带宽增加，端到端 PeOTN 成本有优势，为远期承载目标。

4 结束语

政企客户专线是政府部门和企事业单位信息化基础，一直以来都是各大运营商竞争的焦点。当前环境下，SDH/

MSTP 技术已经无法满足高品质专线业务承载，PeOTN 技术是未来云化高品质专线业务的不二选择。建设一张高效智能的 PeOTN 专网是各大运营商未来考虑的重点方向，现阶段政企专线承载方案则需要考虑客户需求和成本，结合网络资源情况，灵活选择，出于网络经济性考虑，需要市场部门进行客户引导，以实现最优化的解决方案。

(收稿日期：2019-08-13；
技术审核：胡芳仁；责任编辑：王玉)

泰兴电信节能降耗管理应用实践

常亚峰

中国电信股份有限公司泰兴分公司

摘要:节约资源是我国的基本国策,节约电力资源已经成为社会的普遍共识。中国电信作为国有大型企业,节能降耗工作的目标是打造“绿色通信运营商”,节能减排工作以控制耗电增长幅度,保持耗油、耗气、耗水稳定为核心内容,省、市公司更是提出了电费“零增长”的节能降耗目标。如何提高电信企业的能耗利用率,尽可能降低能耗成本,成为电信企业研究的课题。本文以泰兴电信公司围绕节能降耗开展的管理应用实践为例,总结出了有效的节能降耗措施,供同仁思考和借鉴,共同做好节能降耗工作。

关键词:节能降耗;管理;应用实践

0 引言

随着电信业务的飞速发展,特别是4G、5G的大规模覆盖建设,电信企业的能耗费特别是电费支出逐年攀升,国资委把三大电信运营商列为“节能减排关注企业”。中国电信作为承担信息化推进使命的国有通信企业,是能源消耗的主体,承担节能降耗的主体责任,积极推进节能降耗不仅仅是电信企业完成国资委对央企的考核指标,更是履行社会责任、降低运营成本、提高企业经济效益、实现可持续发展的需要。

1 现状分析

2016年泰兴电信能源消耗构成中以电能消耗为主,占89.4%,燃油消耗占10.6%。电能消耗中,以生产用电为主,占93%。生产用电主要分为四个部分:通信机房、数据中心机房、基站、接入局所和室外机柜,其中以通信机房和基站耗电为主,分别占生产用电的51%和26%。IT设备和空调是生产耗电的核心,空调耗电占各类机房耗电的40%左右,空调等基础设施耗电占比大,是企业节能降耗的重点方向。降低空调耗电占比,不仅能耗支出费用会大幅度下降,还能有效降低机房PUE值,实现“绿色运营”。再有,无线网建设规模的扩大和数据等设备的扩容,导致电耗逐年增加,且增幅较高,是企业节能降耗的关注点。

PUE(Power Usage Effectiveness)即能源使用效率,它是数据中心、通信机房等电力使用效率的衡量指标,它是一个比值,其计算公式如下:

$$PUE = \text{数据中心总设备能耗} / \text{IT设备能耗}$$

该数值越接近1,表明能效水平越好,数据中心、通信机房的绿色化程度越高。

2 管理应用实践

2.1 管理节能

2.1.1 规范节能降耗管理制度

泰兴分公司成立节能降耗领导小组及工作小组,颁布《泰兴分公司节能降耗实施办法》,制定能耗划小管理办法及相应的奖励与考核政策,将节能降耗目标完成情况纳入部门和专业节能牵头人年度考评,并层层签订节能降耗责任状,将责任层层传递到每位员工,形成“节能降耗,人人参与”的氛围。同时,泰兴分公司同步制定《办公设备、照明等用电管理规定》《空调使用管理规定》等设备用电规范,对机房、办公、营业空调的开关机温度,开水炉、照明、办公营业终端等用电设施的使用提出指导性意见,严格规范空调开机条件和温度设定以及其他耗电器材的使用,最大限度减少能耗成本和资源浪费。

2.1.2 落实节能降耗划小承包

泰兴分公司按照“谁维护谁负责”“谁使用谁负责”的原则,以核心机楼、综合代维区域、专业部门等维度划小用电责任单元,利用大数据技术精确用电指标分解,实行用电承包,落实各用电单元用电承包制度,做到工作中有检查、有整改、有奖惩。同时充分利用能耗监管系统,实行能耗长效管理,每月对能耗基础单元数据、实际电费发生数据进行分析、管控,实时掌握各局站用电情况,建立健全用电管理台帐,实行动态管理。除此之外,泰兴分公司利用动力环境监控系统,统计各支局停电时间、频次,严格控制柴油发电机组柴油用量,加强邮政、移动、住户用电核算,发现电费

异常情况，及时派单至现场划小承包人，并闭环跟踪处理，高效杜绝能耗漏洞，使能耗精确管理，做到“可视、可管、可控”。

2.1.3 强化节能降耗内控管理

为纵深推进节能降耗工作，泰兴分公司努力强化在网运行设备的内控管理，一方面，精确管控在网用电设备，严控设备下电和加电流程，新开通但无实际承载业务的设备禁止加电，杜绝空烧，退网无业务设备及时退出下电。已退网基站及时关停电源系统和空调，退网设备关电、拆除电表并销户。再有，利用动环监控系统实现空调开关机和机房温度联动控制，精确控制空调运行状态，同时结合机房整治工作，采取隔断改造减少空调供冷容积，减少空调工作时长。通过一系列举措，先后累计减少直流电流约 3000A，节电约 120 万元，电表销户 1800 多户。

另一方面，积极查找用电漏洞，建立“标杆基站电费估算”模型，每月把实际缴纳电费和模型估算电费进行比对，对超标异常电费局站实施靶向现场稽查，同时组织人员不定期现场检查。通过此举，先后查获并整治 90 多处村民、村路灯等偷电行为，杜绝用电漏洞。

2.2 技术节能

《中国电信集团节能减排指导意见(2010版)》指出，通信机房及数据中心机房的空调能耗占机房总能耗 35% ~ 45% 左右，各级公司应将降低空调能耗作为机房节能减排的重点工作。因此，泰兴公司积极引进空调节能新技术，如智能雾化喷淋、精确送风技术、智能自然冷源通风、热管背板空调等，从提高空调制冷效率、气流组织优化、自然冷源利用等多方面实现空调整能，进而提升机房 PUE 值。智能雾化喷淋技术能有效降低空调冷凝压力、优化空调制冷剂运行状态，提高空调能效；精确送风技术能优化空调气流组织，合理输送空调送风，做到“先冷设备，后冷环境”，合理控制空调回风，确保不出现空调送风短路，持续稳定地降低机房热负荷；智能自然冷源通风是利用室外自然的低温空气，净化处理后直接或间接为机房降温，少用或停用空调实现节能；针对机房高密度机柜产生的“热岛”问题，热管背板空调技术通过利用热管的超导特性及室外温度比室内温度低的特点，将室内热量排出室外，由于没有压缩机，从而大大提升节能效果。

通信电源系统的节能是机房节能的重要组成。通信机房电源设备节能主要根据设备耗电负荷进行精确化配置，提高供电设备的负荷率。在对老旧电源设备进行评估方面，针对性能低、能耗大的设备进行升级改造或退网，提高电能利用

率；针对老旧高耗开关电源，采取插框改造的方式升级改造，同时采用高效模块和普通模块混插技术，开启开关电源休眠功能，进一步提高电源转换效率，最大限度降低能源损失；针对 UPS 冗余配置、转换效率和带载率低的问题，积极推广高压直流供电技术，提高系统安全可靠性的同时，实现电能转换效率提升；针对高能耗老旧变压器积极实施设备退网更换，降低损耗，提升节能效果。

其他如对营业室照明、走马灯电子广告屏、电开水炉等加装定时器，实行白天通电工作，晚间自动断电关闭，实现智能管控用电设备，减少电能浪费。对空调、油机水套加热器等加装温控器，实现当环境温度达到预设数值时，设备自动断电退出，反之，温控器接通。

2.3 创新节能

首先创新工作机制，坚持创新引领，营造“人人会创新、事事可创新、处处能创新”的创新理念，构建“创新拉动、专业推动、区域联动、激励驱动”的创新节能体系，出台措施鼓励每一位员工立足本职岗位，针对工作中出现的困难和问题，深入思考，积极实践，深入挖掘并提炼实际工作中操作易行的小革新、小发明、小创造，分享小经验、小改进、小点子。其次，创新工作实践，充分运用现有的动环监控、能耗管控等工作平台，发掘系统功能应用，通过大数据思维推动信息化应用促进节能降耗。再次，创新工作模式，运用国家电网电能优惠政策，实施大工业用电或市场化零售电业务模式。还可以通过与第三方节能服务公司合作，运用合同能源管理，开辟节能新路径。

泰兴分公司通过搭建员工岗位创新平台，先后取得多项节能创新成果，部分成果获国家实用新型专利，有力助推节能降耗。其中《自启空调的温度控制》解决了机房普通空调停电后温度设定点的保存难题，减少了空调维护量和障碍派单，年节约电费和人工维护成本约 5 万元；《油机水套加热器的温控改造》解决了柴油发电机组水套加热器春夏秋季无效运行，造成电能浪费的现象，精确控制油机水套加热器的自动投入和退出，每台油机年节约约 3000 元，公司年节约电费约 5 万元；《一种空调漏水保护开关装置》实现当空调发生漏水事件时，装置立即动作，切断空调电源，提高通信机房安全性，缩短压缩机无效工作时间，减少电能浪费，避免压缩机损伤，延长压缩机使用寿命；《基于艾默生动力环境监控系统的虚拟市电来电自动提醒仪》可以在市电恢复供电时，自动通知且及时关停油机，节约运营成本，年节约燃油约 10000 升；《一种机房门碰灯控联动装置》利用行程开关取代机房门碰和照明开关，使机房门碰和照明开关合二为一

一，实现机房门碰灯联动控制效果，真正做到人走灯熄，从根本上根治了机房“长明灯”现象，年节约电费约7万元。

3 节能效果评估

表1 泰兴电信 2016-2019 年电费统计表

年度	电费（万元）	节电（万元）	节电率
2016	1224	-	-
2017	1028	196	16%
2018	953	75	7.3%

由表一可以看出，近年来，泰兴分公司年度电费逐年下降，2017年节约电费196万元，节电率16%；2018年再节电75万元，电费降低7.3%，完成省市公司电费“零负增长”的节能考核目标，2018年“泰兴节能降耗创新团队”获省公司优秀团队二等奖。

4 结论

近年来，泰兴公司结合自身实际，从管理节能、技术节能、创新节能三条主线出发，积极开展节能减排工作，收效良好。其中管理节能解决机制、制度等问题，是做好节能工作的长效举措；技术节能是通过新技术、新设备、新工艺等途径来实现节能降耗，是做好节能的根本举措；创新节能是运用创新思维和手段，从机制、实践和模式等方面推动节能降耗，是做好节能的促进举措。当然，电信企业节能降耗的方法和措施还有许多，各地情况亦不尽相同，节能降耗是一项长期、系统工作，需要全员参与，持续创新工作思路和方法，完善符合实际的节能降耗工作措施，全力推进企业“绿色通信运营商”目标的实现。

（收稿日期：2019-07-21；

技术审核：黄毅；责任编辑：王玉）

（上接第59页）

目前XGS-PON产品成熟度还不高，因此建议首先部署XG-PON设备以满足前期业务发展需求，待XGS-PON产品成熟后，再部署XGS-PON。随着家居安防、VR/AR等业务产品的发展，用户对上行带宽的需求逐步提升，并且工业和信息化部也对固定宽带的上行速率下限（下行速率的20%）做出明确规定。

4 结束语

综上所述，FTTH GPON组网模式已经难以满足未来高带宽业务发展需求。本文通过分析PON技术标准和未来业务需求，提出了三种接入网升级改造方案，并重点推荐了XG(S)-PON和GPON通过波分方式复用ODN网络的平滑演进方案，为PON网络的升级提供参考依据。当然，未来NG-PON2技术的发展将为千兆乃至更高速率宽带提供有力支撑。

（收稿日期：2019-05-25；

技术审核：胡芳仁；责任编辑：王玉）

(2018 年度“和勤杯”获奖论文三等奖)

中国联通 CORD 云数据中心应用实践

王俊敏¹ 郑毅² 杨建军²

1. 中国联合网络通信有限公司江苏省分公司；
2. 中国联合网络通信有限公司网络技术研究院

摘要: 根据 CORD 模型, 本文提出一种利用现有网络能力, 通过软件定义来实现云数据中心平滑演进的高效方案, 借助于 SDN、NFV 和 Cloud 的技术, 将原有运营商的传统机房改造成为云数据中心, 并通过业务的协同和编排实现对应用需求的快速响应。

关键词: CORD; 数据中心; SDN; NFV

0 背景

中国移动 2015 年提出了 NovoNet 计划, 从顶层设计、标准推动、开源开发等多个层面全面推动 NFV/SDN 产业发展, 积极构建 NovoNet 试验网, 推动网络技术成熟。同年, 中国联通制定了 CUBE-NET2.0 的新一代网络架构方案(如图 1 所示), 核心使能技术是 SDN、NFV 和 Cloud, 目标是建设面向云服务的极简、极智的弹性网络架构。中国电信 2016 年 7 月发布《中国电信 CTNet2025 网络架构白皮书》, 宣布全面启动将持续 10 年的网络智能化重构, 打造简洁、敏捷、开放、集约的新型网络, 形成智能的网络服务体系, 改变人与人、人与物、物与物的连接交互方式。



图 1 中国联通 CUBE-NET2.0 新一代网络架构

随着“互联网+”的快速发展及 5G 业务的到来, 中国联通积极推进以云化网络为核心, 打造区域 DC、本地 DC、边缘 DC 为一体的三级架构。2018-2019 年适时开展现网汇聚机房 DC 化改造工作, 预计 2020 年完成所有过渡机房改造, 以符合未来业务网络的承载需求, 形成“端”和“云”的双中心网络格局。

然而现网存在大量的传统设备, 这些设备大都是烟囱式的纵向架构, 厂家与业务绑定严重、无法分离。如果为了网络云化, 对这些传统设备进行替换, 对运营商而言, 意味着要花费大量的设备投资和平台改造成本, 且建设周期受厂商制约, 无法有效推动。网络重构所面临的突出问题和困难亟待解决。

1 整体方案

运营商网络重构遇到多种问题和困难, 一是如何实现对现网网络资产最大化保护, 如何利用已有的 DC 网络能力平滑演进到未来网络, 降低网络更新的成本, 这是所有运营商在网络重构中所面对的最大问题, 故需要探索实现网络演进的最“优”方案; 二是如何通过对机房的重构, 来构建一个开放、灵活的新型网络, 快速支撑政企业务。开放意味着网络建设避免与厂家的绑定, 降低网络投资; 灵活代表在运营商互联网化转型的过程中, 网络必须以业务为导向, 快速响应与支撑。

CORD (Central Office Re-Architected as a Data Center) 由开放网络基金会 (ONF) 提出, CORD 项目的初衷是希望通过部署白牌交换机、X86 服务器或刀片, 部署 ONOS (一个开放网络运营操作系统)、OpenStack (一个开源云计算管理平台项目) 等开放软件来避免厂家锁定, 以降低 CAPEX。通过 SDN、NFV 和 Cloud 的技术将原有运营商的传统机房改造成为云数据中心, 从而满足未来业务从纯 CT 的提供方式向 IT 延伸, 通过业务协同和编排层实现应用的快速响应和服务交付来降低 OPEX。

本文尝试使用 CORD 思想, 以现网的某一传统 DC 机房

为样板，重构为云数据中心，重构重点不仅是机房设施，而是“云化网络+云化基础设施”。

1.1 现网环境情况

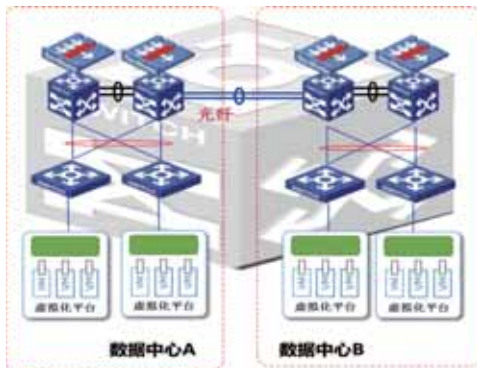


图2 现网网络拓扑

现网环境（如图2所示）是一个典型的数据中心架构，4台核心交换机和若干台接入交换机组网，部署在位于不同物理位置的两个机房中。两个机房内部有多个虚拟化平台，通过vlan组网实现大二层平面，业务流量转发通过传统的南北向方式进行。

1.2 CORD 重构解决方案

在现有的底层网络基础上，本次参考CORD架构，采用SDN、Overlay、NFV、OpenStack技术，将传统数据中心建设为面向业务、灵活运营的新一代云数据中心，满足业务云资源池的弹性部署、快速交付、海量扩展、自动运维等方面的需求，为各类业务提供可信赖的融合承载平台。

（1）数据中心网络的重构

数据中心交换机物理组网一般采用Spine核心-Leaf接入交换机组网架构，使得未来网络架构更加扁平化。在传统数据中心网络里，控制面和转发面是合一的，所以对网络的升级改造，必然带动对硬件设备的变动，加大运营商的网络建设成本，制约网络的演进步伐。

目前新建网络也越来越多采用白盒交换机，推动云数据中心更新改造成本的下降。白盒交换机区别于品牌交换机，实现了交换机硬件和自身运行软件之间的解耦，使得网络层可以快速响应上层应用的需求。目前BAT大型数据中心都在使用或将使用白盒交换机，并自主研发交换机的运行软件，以更好地适配业务模型，优化网络工作效率。

在现网环境中，不改变现网基础设施的物理组网架构，我们增加了SDN控制器、NFV控制器。新增SDN业务区域，将数据中心内部虚拟化资源池vSW（虚拟交换机）设施纳入SDN控制器管理，底层传统网络只负责流量转发，使得网络

流量的转发面和控制面分离成为可能，这样网络流量的流向可以通过软件来定义，摆脱了物理网络结构的约束，使业务组网更加灵活。网络可划分为多个虚拟业务网络VPC，随着网络云化和NFV化，多业务可以共享网络基础资源。未来IDC业务、政企业务可以和固定宽带、移动宽带共享机房和基础设施硬件，以提升资源利用率，节约建设和维护成本。

CORD重构后的网络拓扑结构如下图3所示。

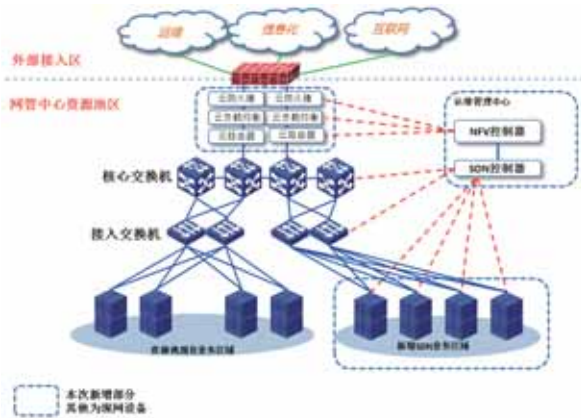


图3 CORD 重构后的网络拓扑

（2）基础设施NFV化

数据中心内部大量部署虚拟化的资源池，随着NFV技术的发展，业务节点可以方便地部署在虚拟化网络甚至直接安装在服务器上，如vBras、vOLT、vCPE等。在欧洲电信标准化协会（ETSI）的NFV架构中，底层NFVI包括了虚拟化层、服务器和存储等标准IT硬件设备。

基础设施NFV化，使得软硬件解耦，对业务网络的升级更加方便，同时标准化的IT设备大大降低了设备采购的硬件成本，加快CT向IT化延伸进程。

（3）云管理平台选用

云管理平台是传统数据中心从虚拟化阶段迈向云数据中心的重要环节。本次CORD重构的云管理平台选用开源OpenStack云平台，完成了对网络、存储、计算、安全、业务等资源的运维管理，以及在此之上的业务自动化编排，实现了计费、流程、日志、应用交付的运营功能，最终通过自助服务门户和运维门户向最终用户和管理员提供相应的服务。

云管理平台通过OpenStack层实现了计算、存储、网络资源的统一调度，利用OpenStack良好的兼容性和开放性，实现了对异构平台和设备的支持。

云管理平台架构如下图4所示，包括云资源管理平台和云运营管理平台，涵盖云安全防护，运行监控及维护管理，云服务管理的功能。用户登录到“自助服务门户”页面后，可以自行完成开户、虚拟机资源申请、存储资源申请、负载均衡申请、

安全资源申请等步骤。在提交申请之后，云管理员进行审批，然后由云平台系统实现各类资源的自动化分配和部署。基于这些虚拟资源，最终租户在云数据中心里构建了专属于自己

的虚拟私有云 (Virtual Private Cloud, VPC)，可以在 VPC 里部署自己的业务系统，并实现各自业务的安全隔离。



图4 云平台的技术架构

(4) 云网融合改造

云网融合指的是云和网高度协同，互为支撑，互为借鉴的一种概念模式。云网融合包含云和网两个方面。以云为核心，云计算业务的开展需要强大的网络能力的支撑，即云间互联；以网络为核心，网络资源的调度同样要借鉴云计算的理念。

层面的协同改造。在资源池宿主主机上安装 vSW 组件，并使用 SDN 方式构建了基于 VxLAN 的 Overlay 方案。通过 OpenStack 云平台 Neutron 组件实现对网络 Overlay 的配置，由 SDN 控制器完成对网络设备、安全设备的配置下发。

本次 CORD 重构，云网融合涉及云计算层面和网络控制

OpenStack 云管理平台的 Neutron 组件采用如下图 5 所示的软件架构实现对网络 Overlay 的配置管理。

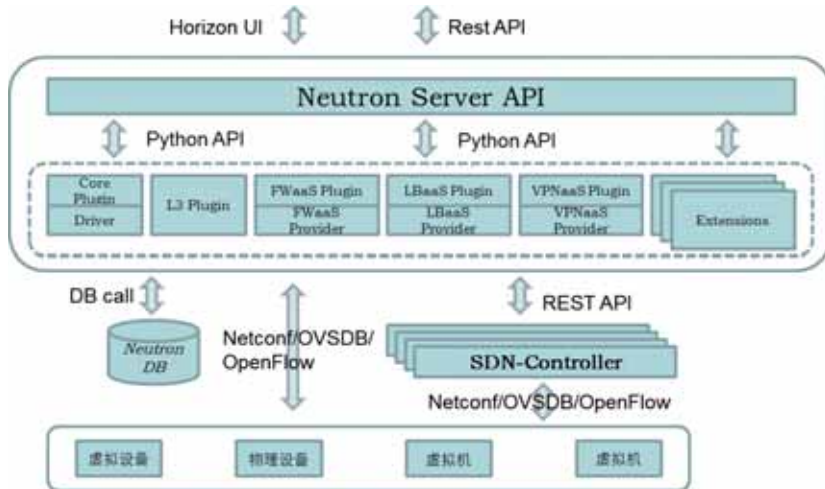


图5 OpenStack 平台 Neutron 组件架构

在 OpenStack 环境中，Neutron 用来管理所有 VNI (Virtual Networking Infrastructure, 虚拟网络架构)，它负责向 OpenStack 计算服务管理的设备提供虚拟网络服务，管理各种虚拟网络资源，包括网络、子网、DHCP、虚拟路由器、防火墙、负载均衡 (LB) 等。

Neutron ML2 框架，通过 Neutron 的 ML2 框架，Openstack 能够使用当前数据中心组网中的各种二层网络技术，是负责实现本次云化 DC 二层虚拟网络的功能插件。L3 Plugin 负责实现虚拟网络三层网关的部署，包括 FWaaS Plugin、LBaaS Plugin、VPNaaS Plugin 等网络安全服务，实现了对网络安全设备的 API 调用，下发业务策略到具体设备。

其中 Neutron Server 是一个守护进程，对外提供 API 服务，将对 API 的请求转交给插件处理。Neutron 组件中的 Plugin 实现 API 的具体功能，可以支持多种 Plugin。Core Plugin 基于

当前云网融合逐渐由简单互联向“云+网+X”方案过渡，随着互联网技术的不断发展，SD-WAN (软件定义广域网) 将

成为云网融合领域的新热点。

2 应用实践

2.1 典型应用场景

随着云网融合领域的不断成熟，云网融合已由简单互联向“云+网+X”过渡。“云+网+X”分为向上和向下两个方向，向上与具体的企业应用“X”相融合，使得云网融合产品带有更明显的行业特点和用户需求；向下与 ICT 服务融合，使得云网融合产品与基础服务能力结合更紧密，最终实现计算资源合理分配，服务资源动态调整，以及更加契合行业特性和用户需求的定制化云计算业务。

“云+网+X”是 CORD 云数据中心业务的典型应用场景，基于 CORD 的云数据中心可以满足云专线的需求，实现“企业上云”，向客户提供灵活而丰富的各类应用服务。当前中小企业对组网专线的需求增长迅速，传统的物理专线价格高，缺少竞争力，云专线的出现，填补了这方面的需求。云专线通过提供云和网络一站式服务，可自动适配云资源的变化。用户端接入线路可以使用运营商的 MSTP/IPRAN 专线，也可以不需要向运营商申请单独的线路资源，利用现有的互联网线路或 4G、5G 移动无线网络就可使用。



图 6 云专线组网示意图

如上图 6 所示，CPE 盒子用于接入中小政企客户，与 DC 内 vCPE 之间建立 VXLAN 隧道（也可以建立 IPSec 隧道），用户在 CPE 盒子上经过 802.1X 认证后通过 VXLAN 隧道送到所属 CT 资源池中的 vCPE，就可以实现漫游接入，保持接入地址不变，DC 内 IT 资源池可用于给租户提供云服务。通过 SDN 集约化控制，实现端到端网络协同，网络配置的自动下发。

2.2 应用价值

在传统数据中心应用 SDN、Overlay、NFV、OpenStack 技术，均可采用软件定义方式实现，可在充分保护原有投资基础上，进行 CORD 重构，形成云数据中心模型。演进后的网络具备以下突出特点：

（1）开放性与先进性

基于开放式标准，采用成熟的软件技术并提供开放的接口，如 OpenStack。虚拟化主机上安装 vSW 并支持 VxLAN 协议，避免了对传统网络设备的更换，使得虚拟化平台、NFV 以及网络设备等各种设施可以互联互通。另外对白盒交换机的支持，使得后期数据中心网络的建设成本大大降低。

（2）灵活性与可扩展性

可根据业务需要，灵活快速扩展设备容量和提升设备性能。NFV 设施可以根据业务需要，实施动态调配，节约硬件采购成本。通过 SDN，使得业务组网可以摆脱物理网络结构的束缚，根据需要灵活组网。

（3）安全性与可靠性

SDN 与 NFV 提供了虚拟防火墙和流量控制功能，除了传统的南北向流量的安全管控外，还支持东西向的流量访问控制，确保数据中心内部各租户业务系统的安全访问。

（4）易用性与可管理性

通过部署云管理平台可实现快捷的业务部署，平台具有良好的交互界面，系统参数的维护与管理都通过统一的平台界面完成。

3 结束语

基于 CORD 的云数据中心应用实践方案降低了网络重构的难度，并可构建覆盖全省的云资源能力，为业务系统提供灵活、可靠、随需而变的云服务。该实践方案最大化地保护了现网投资，不用改变现有的网络架构，仅仅通过软件定义，即可实现传统数据中心到云数据中心的演进，为运营商网络重构提供了一个高性价比的实施方案。中国联通 CORD 云数据中心应用实践证明，借助于 SDN/NFV/CLOUD 架构，打造开放的生态体系，实践软硬件和底层、应用层解耦，可以充分发挥各个环节的优势，是未来网络的发展方向，对运营商的互联网化转型起到了有效的推动作用。

（收稿日期：2018-10-12；

技术审核：张伟；责任编辑：王玉）

基于机器学习的 WEB 安全威胁事件检测系统的设计及实现

仲思超¹ 朱磊² 蔡冰¹

1. 国家计算机网络与信息安全管理中心江苏分中心; 2. 南京邮电大学

摘要: 本文以大量 WEB 日志数据中的安全威胁事件检测为业务要求, 对传统的基于规则匹配的 Web 入侵检测方式规则库维护成本高、较多人力成本且难以应对变种攻击的问题进行了研究。针对传统技术的不足, 本文采用了机器学习和大数据平台相结合的方式, 不需要人工设计复杂的特征, 使用 word2vec 生成 URL 词向量, 提取 URL 信息的语义特征作为特征向量, 构建 SVM、随机森林和 LSTM 检测模型发现 WEB 安全威胁事件。经过实验比较, 我们的方法在真实数据集上的准确率可以达到 90% 上。

关键词: 关键字: 机器学习; WEB 安全; 词向量; 大数据

0 引言

机器学习在网络安全领域发挥着越来越大的作用。在网络安全领域的科研领域, 机器学习技术较早就得到了学者们的肯定。从 2015 年起, 网络安全科研领域“BIG 4”学术论坛中, 就开始长期将机器学习设置为专题分论坛。其中 2018 年的 ACM CCS 设置了 10 个主题分论坛, 机器学习及其相关应用占 3 个, 特别是针对“未知特征攻击识别”“加密流量识别”等应用领域, 一直是传统网络安全技术的短板(或无法高效解决), 机器学习技术本质上给解决上述网络安全问题, 提供了一条新的技术路线。

然而在网络安全的工程应用领域, 机器学习技术发展的不是非常顺利, 在我国还没有出现基于机器学习的、成熟的、商业化的网络安全产品, 但这并没有阻碍各互联网公司、网络安全企业投入机器学习的热情。2018 年 Freebuf 出现了多篇来自于阿里、百度、携程、思科等互联网企业关于机器学习技术在企业内部网络安全工程化的实践文章, 通过机器学习来识别 WEB 安全威胁, 分析二进制程序是他们目前主要的实践方向, 但从文章结论来看, 工程领域中机器学习技术仍然扮演着“辅助型”角色, 主要定位于传统网络安全技术的补充。

本文研究主要基于已有的技术环境、数据资源与技术储备, 判定机器学习技术的实效性, 并给出其与传统网络安全威胁识别技术的效果比对。基于某系统中的实际报文数据为基础数据源, 本文通过识别 SQL 注入等安全威胁为应用场景, 通过搭建原型系统, 修改各维度参数、算法, 来评估机器学习技术的实际应用效果。

1 前期相关工作

针对 Web 攻击的检测已经有不少研究成果。刘健等人把传统的黑名单匹配技术和机器学习技术相结合, 提出了一种基于多级过滤器的恶意 URL 检测模型, 对每层的检测结果设定阈值, 达到阈值后送入下一层过滤器继续检测。这种多级判断的方法集合了不同分类器的优势, 提高了检测效果。Justin Ma 等人把不同 WAF 厂商提供的 URL 黑名单作为一种特征, 同时结合其他维度的特征对 URL 进行检测。这种综合模型的检测效果和单独使用黑名单模型相比, 效果有了较大提升。这些方法主要依靠专家知识构建特征集对 Web 攻击进行检测。曹玖新通过对 URL 进行分析, 提取了符号特征、域名特征、关键词特征和 pagerank 值特征, 统计识别 URL 中的关键词, 使用基于反馈的增量式学习方法对数据进行在线学习, 检测钓鱼网站。甘宏等人基于文本分类的思想, 使用 TF-IDF 算法提取 URL 的文本特征, 并使用基于 RBF 核函数的 SVM 算法对提取的特征进行分类处理, 检测 URL 是否为恶意。吴少华等将 SVM 算法用于 SQL 注入攻击和 XSS 攻击检测, 二者对于变形的 XSS 攻击都没有进行深入研究。深度学习是近年来兴起的一种基于表征学习思想的机器学习技术, 由神经网络直接处理原始数据并自动学习和输出高层特征, 适合处理各种负责数据, 因此我们考虑将深度学习技术应用到 Web 攻击检测中。

2 关键技术研究过程

2.1 系统设计

本文中实现的原型系统设计如下图 1 所示，直接对接数据中心和某数据系统。原型系统由数据抽取、数据预处理、模型训练三个子单元构成。其中数据抽取单元是基于数据中心，在 Hadoop 平台调用其 Spark 接口，实现日志数据的抽取（提取关心字段、过滤白标签数据），抽取数据主要用于机器学习中的“黑标签”与“待测试”两部分原始数据的生成；

数据预处理单元是通过 Python 编码，对抽取后的原始日志数据进行数据规范化、数据分词、数据向量化操作，生成机器学习模型可处理的输入对象；模型训练单元是基于 Scikit-learn、TensorFlow+Keras 开源机器学习架构，实现包含 SVM、LSTM 在内的多个数学模型，并实现结果的多维度比较、优化。

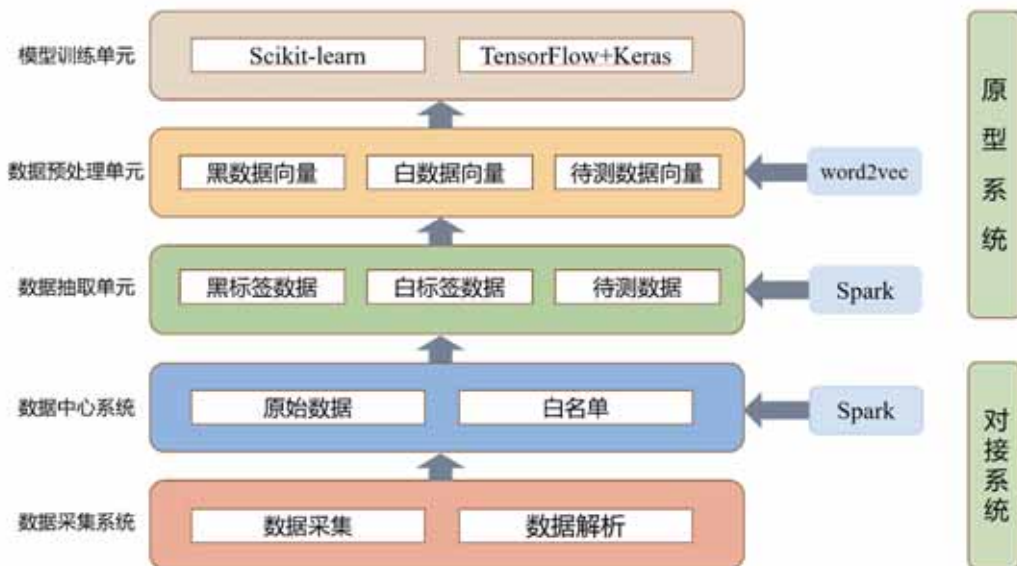


图 1 原型系统结构图

2.2 技术方案

根据上节原型系统设计，相应业务数据处理流程，如下

图 2 所示。

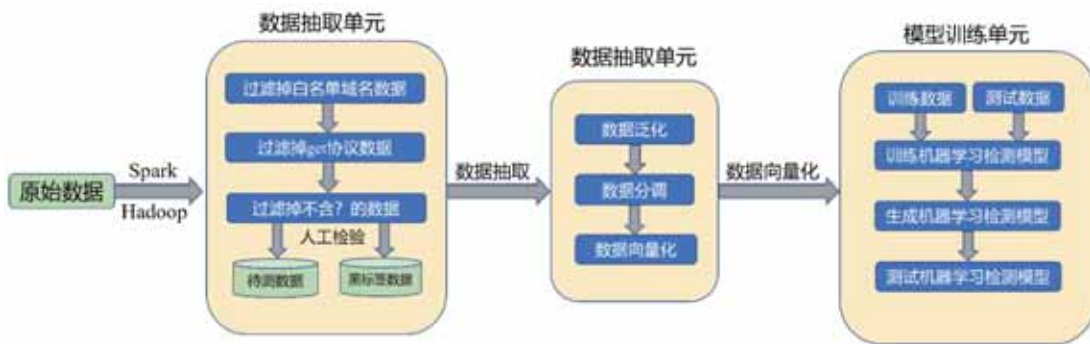


图 2 原型系统数据处理流程图

(1) 数据抽取单元：数据中心落盘入库日志数据量大，但其安全威胁事件数据“信息熵”较低，为了提高机器学习效率，本文首先实现了数据抽取单元。数据抽取单元直接调用 Spark 接口，具体抽取过程主要包含以下步骤：

- 过滤白名单域名数据；
- 过滤 get 协议数据；
- 过滤不含 ? 的数据；
- 过滤出含 select/from/script 等关键字的日志数据，人工识

别后，成为黑标签数据；
过滤出关键网站日志数据，作为工程测试数据集；
提取日志中的 URL 字段，输出至数据预处理单元。

(2) 数据预处理单元：数据预处理单元主要把字符型的日志数据进行清洗，然后实施向量化，并将向量化后的结果输出至机器学习模型。本课题中数据预处理单元，通过 python 编码实现三个功能部分：

数据规范化。对日志数据中的数字、网站链接等进行范

处理。如：使用数字 1 来替换参数部分的数字，使用 http://u 来替代参数中的超链接。

数据分词。通过构建基于 HTML 标签、单双引号、参数名、函数体等的分词规则，对连续完整的参数字符串实施分词操作，生成参数字符序列。

数据向量化。机器学习模型需要向量数据的输入，分词操作后生成的参数字符序列无法直接输入到数学模型中使用，本课题使用了 Google 开源的 word2vec 词向量工具来处理分词操作产生的参数字符序列，生成词向量，每个词向量表示一条 URL。

(3) 模型训练单元。模型训练单元具体由 SVM、随机森林、神经网络等多个机器学习模型构成。

该单元具体功能如下：

生成训练数据集。按照一定比例，混合已有的黑、白标签数据，生成训练数据集 D1。

数据模型训练。将训练数据集 D1，送入各机器学习模型，调整参数，生成多个网络安全威胁识别模型 M。

生成测试学术测试集。按照一定比例，混合剩下的黑、白标签数据，生成训练数据集 D2。

学术测试结果评估。将 D2 送入已经训练完成的各威胁识别模型 M，通过 D2 已有的标签数据，评估各模型效果，并得出最优化结论。

该单元中具体模型算法，具体如下：

SVM（支持向量机）模型由 Python 第三方机器学习库 Scikit-learn 实现。SVM 主要思想是找到一个在能使数据集中所有样本数据到这个超平面的距离最短，同时又能够将所有数据样本划分开的超平面。

随机森林模型由 Python 第三方机器学习库 Scikit-learn 实现。随机森林算法采用随机的方式，建立多棵 CART 决策树从而形成一片森林，实现将多个弱分类器组合成强分类器的效果。

神经网络模型基于能够有效处理序列数据的长短时记忆网络（LSTM）构建。模型由两层包含 128 个 LSTM 神经元的循环层、Dropout 层和采用激活函数为 Softmax 的全连接层构成。LSTM 通过记忆之前的数据信息，增加或减少神经元对信息的处理能力，能够在更长的时间范围内更有效地分析提取时序数据的特征，自动从中提取出更有效的数据特征。项目选用 TensorFlow 和基于 TensorFlow 的上层应用封装 Keras 构建模型。

3 实验分析

3.1 针对原型系统的实现工作

本文涉及到的调用/对接系统（包含已建系统或开源系统）

主要有：Hadoop（Spark、Impala）、Word2vec（Python3）、Scikit-learn 0.19.1、TensorFlow 1.12.0、Keras 1.2.0 以及第三方提供的网站攻击黑标签数据。

课题中主要工作量（编码与参数调优）主要有：编码调用 Spark 接口，实现数据抽取单元；编码实现数据预处理单元；针对 WEB 安全威胁应用，实现黑、白标签数据集的生成工作；基于 Scikit-learn、TensorFlow+Keras，实现数据模型训练单元；参数调优，基于日志数据，针对 WEB 安全威胁应用，最优化 SVM、随机森林、LSTM 判别模型。

3.2 针对网络安全威胁的数据集构建工作

本课题中的数据，从标签属性角度分为三类：

黑标签数据，共计 73505 条，主要由三部分构成：系统中数据抽取单元抽取的网站攻击数据、Github 开源项目中 XSS、SQL 注入数据、第三方（铱迅、知道创宇）提供的网站攻击事件数据；

白标签数据，共计 126971 条，主要由两部分构成：系统中数据抽取单元抽取的网站正常访问数据、Github 开源项目中网站正常访问数据；

带测试数据，共计 67142 条，主要由两部分构成：黑 + 白标签混合数据；系统中数据抽取单元抽取的网站访问数据。

从数据用途角度，可分为两类：

训练数据，共计 140334 条，主要由黑 + 白标签混合数据组成，用于模型的训练；

测试数据，共计 67142 条。主要分为两个部分，学术测试集：由已知的黑 + 白标签数据混合组成，主要用在学术层面，通过各指标评估模型效果。

工程测试集：从数据中心网站日志中提取 (*.gov.cn) 一般日志，主要用于评估训练后模型的实际工程应用效果。

3.3 针对原型系统的优化指标

在完成数据集实现的基础上，我们通过优化、调整原型系统中三个模块的各参数，获得了不同维度的数据实验结果。

(1) 具体调整的参数（含模型选择）指标主要包含以下 7 个方面：

是否范化；

词向量的维度 (embedding size) 大小；

传统机器学习算法和神经网络算法的对比；

训练词向量和训练神经网络模型是否使用同一批黑样本；

增加黑样本数量；

词汇表数量大小；

LSTM 神经网络模型的调优。

(2) 针对上述 7 指标, 调整不同维度的参数, 生成以下 8 个测试模型, 具体模型生成指标如下:

Model_1: 对数据进行范化处理 +word2vec(embedding size=128)+LSTM (使用相同黑样本);

Model_2: 不对数据进行范化处理 +word2vec(embedding size=128)+LSTM (使用相同黑样本);

Model_3: 对数据进行范化处理 +word2vec(embedding size=256)+LSTM (使用相同黑样本);

Model_4: 对数据进行范化处理 +word2vec(embedding size=128)+SVM (使用相同黑样本);

Model_5: 对数据进行范化处理 +word2vec(embedding size=128)+ 随机森林 (使用相同黑样本);

Model_6: 对数据进行范化处理 +word2vec(embedding size=128)+LSTM (使用不同黑样本);

Model_7: 对数据进行范化处理 +word2vec(embedding size=128)+LSTM (使用不同黑样本) + 增加黑样本数量;

Model_8: 对数据进行范化处理 +word2vec(embedding size=128)+LSTM (使用相同黑样本) + 改进分词规则;

针对上述模型, 利用学术数据测试集, 得到的测试结果如表 1、图 3 所示。

表 1 参数调整后 8 个模型的计算结果比较

	Model_1	Model_2	Model_3	Model_4	Model_5	Model_6	Model_7	Model_8
Accuracy	0.9941	0.9748	0.9948	0.9957	0.9953	0.9931	0.9968	0.9937
Recall	0.9973	0.9616	0.9979	0.9685	0.9712	0.9955	0.9963	0.9971
F1_score	0.9954	0.9629	0.9966	0.9821	0.9834	0.9942	0.9971	0.9947
AUC	0.9983	0.9774	0.9983	0.9925	0.9929	0.9968	0.9982	0.9981
训练消耗时间	41min	41min	60min	3h	4min	41min	53min	41min

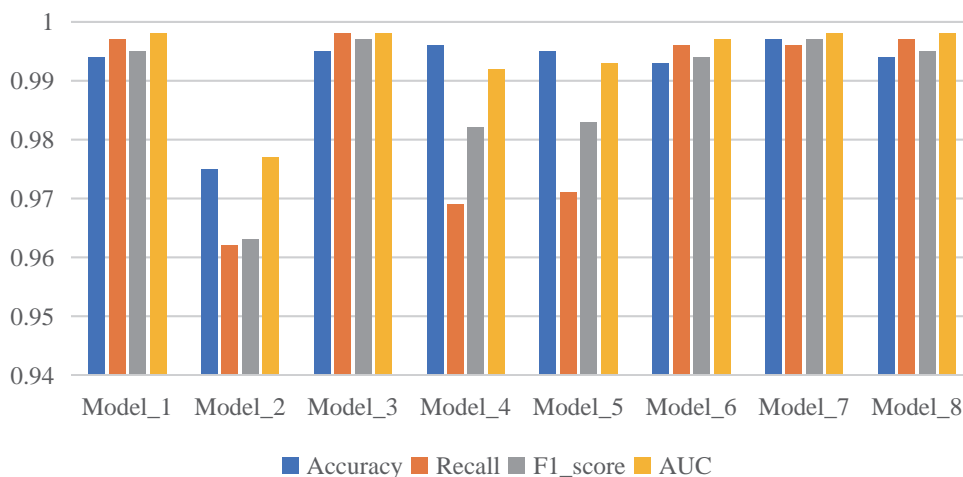


图 3 参数调整后 8 个模型的计算结果对比图

根据表 1 的测试结论, 针对 WEB 网络安全威胁识别这一应用场景, 我们可以得到以下对比结论:

M1 与 M2 的比较, 范化是有效的;

M1 与 M3 的比较, 词向量维度是越大越好;

基于 M4、M5、M6、SVM、随机森林与深度学习相比, 深度学习在四个指标效果更优;

M7, 增加黑样本数, 能提高准确率;

M8, 增加分词规则效果优化不明显。

基于 Google word2vec 建立一个网络安全威胁语义模型, 使得算法能够理解 <script>、alert() 等可能存在于 WEB 攻击的特殊词汇 (字符串)。词汇表的大小可以影响到生成词向量

的质量和机器学习模型对 HTML 语言的理解程度。因此, 我们对词汇表大小进行了调优试验。试验结果如表 2、图 4 所示, 对比后可得出结论:

词汇表设置越大, 所得到指标效果更优。

表 2 词汇表参数修改后 4 个模型的计算结果比较

	Vocabulary _ size=4000	Vocabulary _ size=6000	Vocabulary _ size=8000	Vocabulary _ size=10000
Accuracy	0.9931	0.9935	0.9946	0.9947
Recall	0.9871	0.9915	0.9973	0.9973
F1_score	0.9902	0.9924	0.9959	0.9960
Auc	0.9989	0.9989	0.9989	0.9989
训练消耗时间	41min	41min	42min	44min

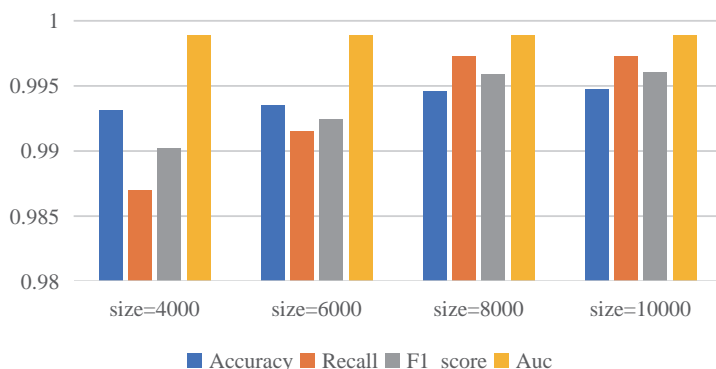


图 4 词汇表参数修改后 4 个模型的计算结果比较示意图

神经网络模型具有较多的超参数。超参数的选择对模型最终给的检测效果具有重要影响。对神经网络模型的调优试验，本课题主要关注两个超参数：LSTM 神经元的数目和神经网络模型的优化函数。

针对上述 2 个指标，调整不同维度的参数，生成以下 5 个测试模型，具体模型生成指标如下，相关 5 个模型试验结果如表 3、图 5 所示。

- LSTM_1: 神经元数目 128+ 优化函数 Adam;
- LSTM_2: 神经元数目 256+ 优化函数 Adam;

- LSTM_3: 神经元数目 512+ 优化函数 Adam;
- LSTM_4: 神经元数目 128+ 优化函数 Adamax;
- LSTM_5: 神经元数目 128+ 优化函数 SGD。

表 3 神经元数目、优化函数调整后的计算结果比较

	LSTM_1	LSTM_2	LSTM_3	LSTM_4	LSTM_5
Accuracy	0.9941	0.9953	0.9955	0.9934	0.9921
Recall	0.9973	0.9979	0.9983	0.9871	0.9864
F1_score	0.9954	0.9974	0.9969	0.9912	0.9909
Auc	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983
训练消耗时间	41min	60min	124min	43min	41min

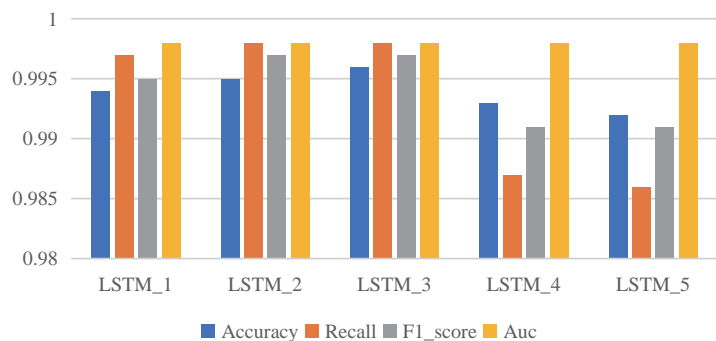


图 5 神经元数目、优化函数调整后的计算结果比较示意图

根据表 3 的试验，我们可以得到以下结论：

对于 LSTM 神经网络，神经元的数目越多模型检测效果越好，但随之时间成本会增加且优化效果不明显。因此我们需要在准确率和时间之间取得平衡。

Adam 优化函数和 Adamax 优化函数效果相差不大，但都要优于 SGD 优化函数。

综上，经过多轮测试，我们得到学术数据集上最优化的机器学习模型 Mbest：当对数据进行范化处理时，词汇表有 10000 个词，每个词向量维度 256，选用 LSTM 神经网络且神经元数目为 256，优化函数为 Adam。

4 结束语

本文以大量 WEB 日志数据中的安全威胁事件检测为需求，利用机器学习方法在网络安全领域的工程化应用价值方面进行了评估。将原型系统与大数据平台对接，基于应用日志数据来识别 WEB 安全威胁事件，并对标签数据选取、待测数据清洗、数据向量化、算法模型选择等多个维度的参数进行调优，在 TensorFlow+Keras 开源机器学习架构的基础上搭建、调测出最优化原型系统，并在实际测试中取得了良好效果。

(收稿日期：2019-06-27；

技术审核：姚国章；责任编辑：王玉)



中国通信服务
CHINA COMSERVICE

中通服网盈科技有限公司

中通服网盈科技有限公司始建于2008年，隶属于中国通信服务有限公司（股票代码：00552.HK），注册资本为2亿元。

公司总部设立在江苏，在全国有14个分公司，现有各类从业人员2万余人，服务范围覆盖江苏全境并拓展到北京、浙江、上海、安徽、重庆、天津、湖南、河南、新疆、内蒙古等十多个省市。公司资质全面，业务范围广泛，业务涵盖物联网应用运营、信息化服务、智慧运营平台、通信信息系统集成、工程建设、设备安装维护、网络优化、营业渠道运营、呼叫中心等；公司客户包括各大运营商、党政军、企事业单位、公众客户等。2018年公司实现收入近33亿，是江苏省内规模大、实力强、业务全、覆盖广的智慧社会服务专家。

秉承“创新、包容、坚韧、信赖、伙伴”的企业文化理念，公司不断强化在新技术、新业务领域的探索，已在大数据处理、智能化及物联网应用、互联网传媒精准营销等领域实现突破；致力于打造维护服务的互联网运营平台，服务信息化、智能化、万物互联的社会。器大者声必闻，志高者意必远。公司以建设服务平台、引领信息消费为使命，秉承为客户提供专业化、标准化、一体化服务，提升客户价值的服务理念，立足江苏，放眼全国，聚焦客户需求，全面提升综合服务能力和水平，将公司打造成全国信息服务领域的领军企业。

公司地址：南京市建邺区奥体大街68号4栋10层

联系电话：025-85522798，传真：025-85522363

