

新型家庭全光网技术



New Home All-Optical Network Technology

王新余/WANG Xinyu, 孔雪/KONG Xue, 贺峰/HE Feng

(中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202301011

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20230227.1353.006.html>

网络出版日期: 2023-02-27

收稿日期: 2023-02-10

摘要: 提出了光纤到房间 (FTTR) 新型家庭全光网相关技术。围绕底层支撑、网络管理和业务保障 3 类技术, 中兴通讯取得一系列技术创新和应用改进: 研发 FTTR 无源光网络 (PON) 芯片, 实现主从网关的点到多点 (P2MP) 架构功能; 编制家庭光纤施工技术指导书, 解决 FTTR 落地推广中光纤分布式网络 (ODN) 布线施工难的问题; 打造智能管理云平台, 实现 FTTR 网络的管理, 包括网络拓扑管理和性能数据采集; 提出五维评分体系和无线接入终端切换模型分析, 使全屋漫游“选得好”且“切得快”, 漫游切换时延低至 20 ms。指出家庭网络在飞速演进, FTTR 会面临更多挑战, 中兴通讯将持续进行 FTTR 技术攻关, 推动家庭网络新基建。

关键词: FTTR; PON; 管理; 深度包检测

Abstract: New home all-optical network technologies related to Fiber to The Room (FTTR) are proposed. Based on three categories of technologies covering the bottom infrastructure, network management, and service assurance, ZTE has achieved a series of technological innovations and application improvements: The FTTR passive optical network (PON) chipsets are developed to realize the point-to-multipoint (P2MP) architecture functions of the master and slave gateways; the technical guide of home optical fiber construction is formulated to solve the difficulties in optical fiber distributed network (ODN) cabling construction in FTTR implementation; a smart management cloud platform is developed to implement manageability of the FTTR network, including network topology management and performance data collection; the five-dimensional rating system and STA handover model analysis are proposed to realize the whole-home roaming "selected well" and "cut quickly", building the roaming handover delay as low as 20 ms. It is pointed out that the home network is evolving rapidly, and FTTR will face more challenges. ZTE Corporation will continue to tackle the key problems of FTTR technology and promote the new infrastructure of home network.

Keywords: FTTR; PON; management; deep packet inspection

1 FTTR 背景和概念

近几年, 居家办公、在线网课、网红直播、4K/8K 超高清视频、增强现实 (AR)/虚拟现实 (VR)^[1-2]、云游戏等新业务层出不穷, 对网络的带宽、时延、抖动等都提出了更高的要求。基本宽带已无法满足现代家庭的多元业务需求。

在中国“双千兆”战略和“十四五”规划的明确指引下, 光纤入户要向用户端进一步延伸, 以实现光纤到房间 (FTTR)、到桌面、到机器^[3]。

在业务和政策的双轮驱动下, 家庭全光网络 FTTR 相关技术应运而生。FTTR 将光纤部署进一步延伸到家庭和小微企业内部的房间, 实现全屋超千兆的网络覆盖。基于无源光网络 (PON) 点到多点 (P2MP) 物理架构, FTTR 由主网关、从网关和室内光纤分布式网络 (ODN) 3 部分组成。主网关上行连接光线路终端 (OLT) 的 PON 口, 下行经分光器及光纤连接多个从网关, 为每个区域提供高速可靠的网络,

实现全屋高质量的网络覆盖。

2 FTTR 技术创新研究

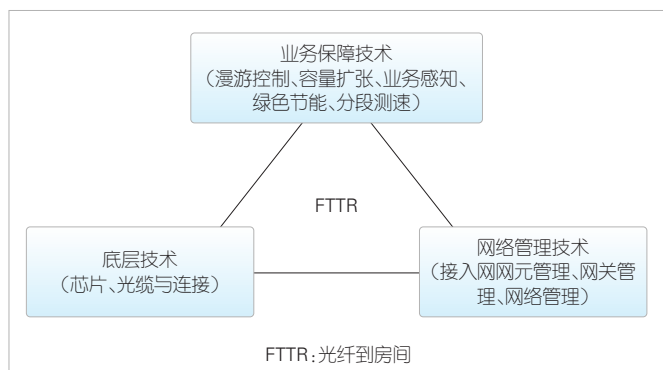
中兴通讯围绕 FTTR 开展了深入研究, 目前已实现多项技术创新。其中, 有些技术创新已取得专利认证, 有些创新技术已经在实际产品中落地应用。

FTTR 技术主要分为底层技术、网络管理技术、业务保障技术三大类, 如图 1 所示。基于核心软硬件能力和算法创新, 我们做了一系列的技术创新和方案改进。

2.1 底层技术

2.1.1 芯片技术

FTTR 是基于 P2MP 架构的家庭 PON 网络技术。相比于传统家庭网关, 主网关具备类 OLT 功能, 对下挂从网关具有光路拓展、从网关注册和业务分配等局端主控功能。这对主网关内核心芯片的架构设计、处理能力、功能扩展等都提出



▲图1 FTTR技术架构

了更高的要求。

中兴通讯研制的PON芯片能够匹配主从网关的P2MP架构和技术功能。目前中兴通讯已研发多款FTTR PON芯片，是首家支持XGS-PON/XG-PON/10G-EPON/GPON全系列上行制式的厂商。当前，FTTR主网关采用现场可编程门阵列（FPGA）芯片，实现主网关的OLT化功能，但这种方式存在功耗大、成本高等问题。因此，中兴通讯已启动新一代芯片的开发。新一代芯片设计功耗更低、成本更优，可帮助FTTR技术实现大规模推广应用。

2.1.2 光缆与连接技术

相比于传统的宽带入户，FTTR需整体考虑室内ODN的网络规划和布线施工，这也是FTTR技术得以落地商用的重要环节。ODN网规主要分为普通场景和大户型场景。普通场景不超过4个房间，采用1:4的单级ODN，可支持4个从网关的接入；大户型场景包括大平层、复式、别墅等，房间数大多超过4个，采用不等比分光的多级级联ODN（例如1:5分光器级联，最多可支持4级级联、16个从网关接入）。

为了满足不同户型的ODN布线需求，可采用弯曲损耗不敏感的G.657.A2或G.657.B3光纤。施工方式具体包括暗管和明线两种：对于新装修房屋，可采用蝶形光缆进行暗管施工，利用管道内旧线缆抽拉引导布放，或者借助橄榄头弹簧穿管器进行穿管；对于已装修房屋，可视情况采用暗管或明线施工，明线施工采用隐形光缆和短线槽部署，以确保整体家居的美观度。

据此，中兴通讯编制了《家庭光

纤施工技术白皮书》，详拟了FTTR标准化的网络规划和施工步骤，提供了工程物料、辅助工具的详细清单，以及施工常见问题（FAQ）等，解决了落地推广中ODN布线施工难的问题。

2.2 网络管理技术

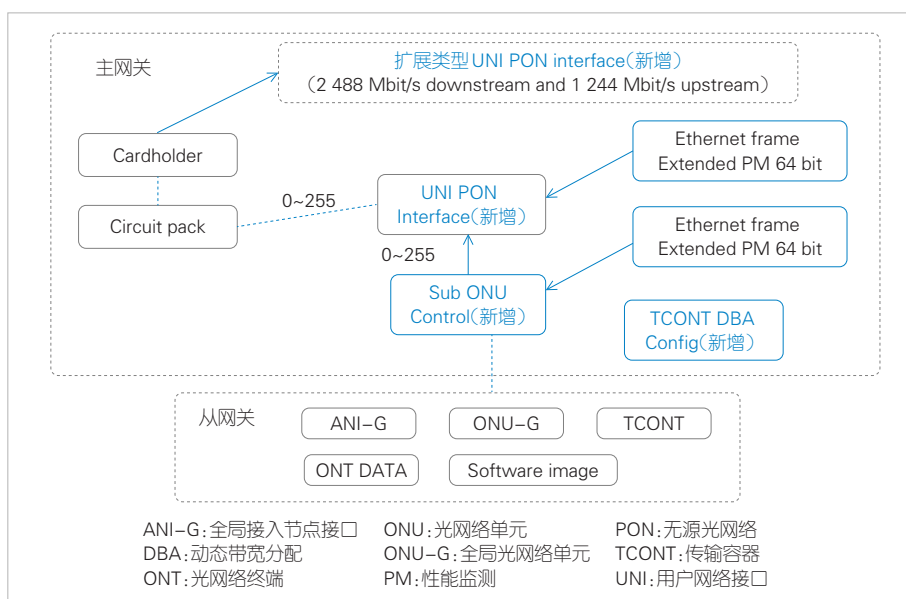
FTTR技术架构使家庭组网演变成了一个小型网络接入系统。如何实现对从网关的可管理、可检测、可运维，是FTTR能否成功推向市场的关键。

FTTR远程管理由3个管理单元组成：接入网网元管理单元、网关管理单元、网络管理单元。其中，接入网网元管理单元负责FTTR网络PON层的管理，网关管理单元负责主网关的网关业务功能管理，网络管理单元负责FTTR网络的管理。三者协同管理，实现FTTR网络的主动管理、主动诊断、主动质差和智能调优。

2.2.1 接入网网元管理单元

接入网网元管理单元基于OLT代理方式实现PON层的管理，采用光网络单元管理控制接口（OMCI）/操作管理维护（OAM）协议^[4]。传统光纤到户（FTTH）的OLT管理模式只能管理主网关，无法管理从网关。对此，中兴通讯提出两大创新技术，使OLT可直接管理从网关，并拥有网关的注册、动态带宽分配（DBA）、告警、性能统计、组播、版本升级等功能。

1) 定义了主网关下联PON口与从网关的OMCI管理模型，如图2所示。通过光网络单元管理控制通道（OMCC）



▲图2 主网关下联PON口与从网关的光网络单元管理控制接口管理模型

(PON原生OAM通道), OMCI消息直通从网关, 从而实现OLT对主网关下联PON口和从网关的全管理。

2) 定义了用户网络接口 (UNI) PON Interface ME 和 Sub ONU Control ME。OLT发现从网关并建立直接管理通道。OLT负责下行, 主网关负责上行, 在发送信息前, 先发送点灯消息, 以告知后续信息所属, 如图3所示。此项创新技术不仅降低了FTTR PON层的管理复杂度, 还提升了管理效率。相关成果已形成专利^[5]。

2.2.2 网关管理单元

和接入网网元管理单元一样, 网关管理平台默认只管理主网关的业务, 无法管理从网关。基于TR-069协议, 我们创建了从网关上报接口 (IF) 对象与主网关分配GEM (GPON封装方法) Port一对一的映射关系表。主从网关自身的虚拟IF对象和实际IF对象一对一映射, 按照统一的命名和编码规则对外呈现。因此, 通过主网关上报IF虚拟对象, 网关管理单元可以管理从网关的业务。

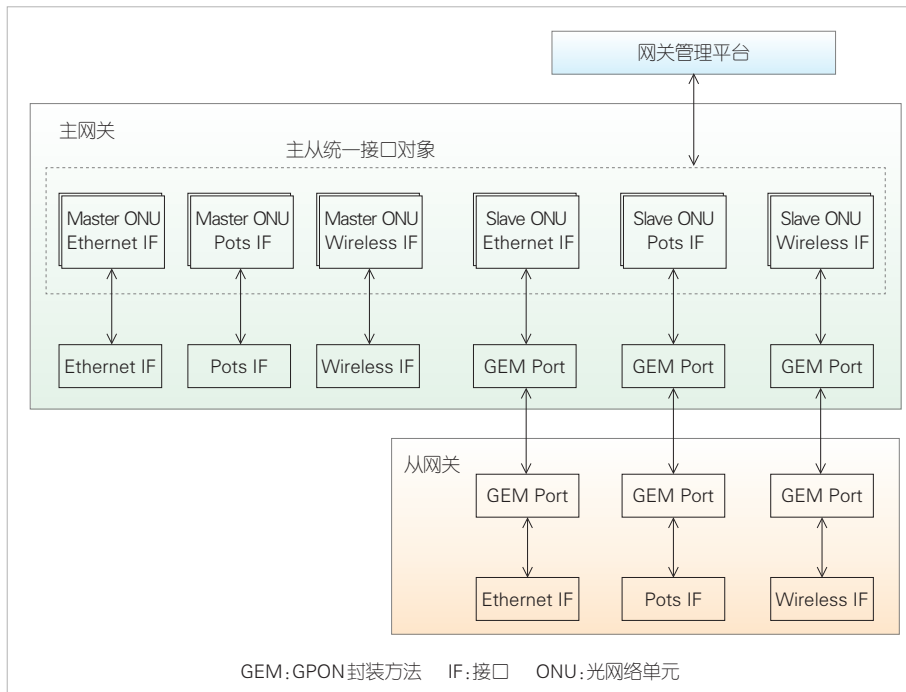
如图4所示, 该创新技术使FTTR主从网关的二级架构简化为一级架构, 不仅优化了主从网关管控和转发架构, 而且降低了管控复杂度和业务转发时延。该架构兼容现有管理协议和接口, 有利于未来FTTR的互通开放和规模化部署。相关成果已形成专利^[6]。

2.2.3 网络管理单元

上述两个管理单元主要是单个网关设备层面的管理, 无法进行FTTR网络的管理运维。中兴通讯研发的智能管理云平台可实现FTTR网络两个方面的管理: 一是FTTR主从一张网的网络管理, 该管理主要基于消息队列遥测传输 (MQTT) /JSON (JS对象简谱) 协议, 包括网络拓扑管理、Wi-Fi信息管理和配置; 二是FTTR主从一张网的性能数据采集管理, 该管理基于MQTT/GPB (gRPC ProtoBuf编码格式) 协议, 包括信息协同收集、性能与告警上报、协同漫游与调优、交互式网络电视 (IPTV) 业务配置和版本升级。



▲图3 信号灯消息



▲图4 FTTR网关管理平台架构创新

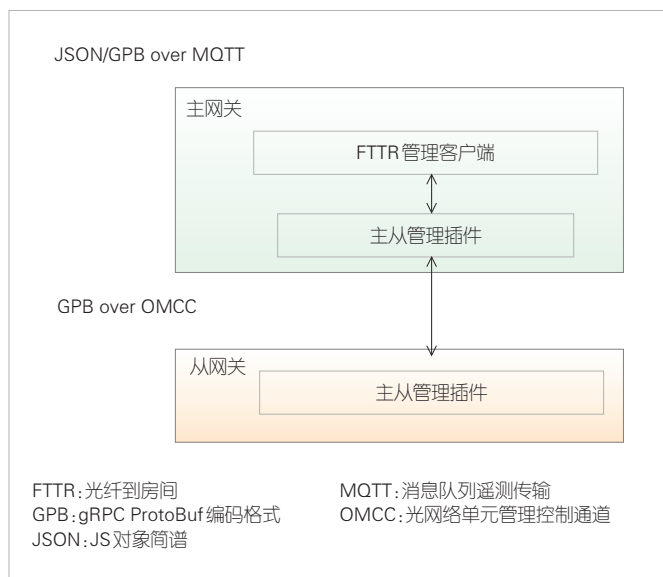
如图5所示, 我们创新定义了主从网关管理插件, 通过主网关代管从网关的方式, 实现智能管理平台对主从一张网的管理, 采用OMCC和高性能编码协议GPB, 自定义结构化数据传递, 保证了同步的实时性。GPB协议对采集的带宽需求仅为JSON协议的1/3, 因此大大减少了对主网关下联PON口带宽的占用。

此项创新技术填补了FTTR网络管理的空白, 提高了管理能力和效率, 相关成果已形成专利^[7]。

2.3 业务保障技术

2.3.1 漫游控制技术

无线接入终端 (STA) 在Wi-Fi网络中移动时, 可以在



▲图5 中兴通讯智能管理平台

各网关接入点（AP）之间无缝切换。这解决了大型家庭和小微企业场景下的Wi-Fi全覆盖问题。当用户终端在家中随意移动时，如何确保网络不掉线和业务不中断？对此，基于多AP协同与整网感知技术，中兴通讯创新性地提出了智能决策技术与快速切换技术，实现STA的全域无缝漫游，业务不中断，用户无感知。

智能决策技术主要解决“何时漫游”与“漫向何处”的问题，采用动态检测技术，结合STA漫游历史，综合判断漫游时机，并预防漫游乒乓现象的发生，如图6（a）。漫游目标的决策是FTTR漫游技术的核心，会直接影响用户的接入带宽。对此，我们提出多维评分体系，以决策出最佳漫游目标。

1) 接收信号强度指示（RSSI）策略。如图6（b），当在网络中移动时，STA与不同AP之间的信号强度持续变化。该策略基于整网感知技术，综合多个AP与STA的测量信息，选择信号质量较好的AP作为切换目标。

2) 负载均衡策略。如图6（c），当AP或射频的接入用户数较多时，单用户的上网速率会大幅下降。负载均衡策略会平衡STA在AP及射频上的分布，提升网络的利用率。

3) 流量分布均衡。如图6（d），部分用户在进行大数据传输时会占据

大量的带宽，此时选择流量较小的AP进行漫游，可避免单AP上的传输竞争。

4) 层级策略。如图6（e），FTTR存在多级组网或无线组网的情况。对于处于尾端层级的无线组网AP，接入体验相对较差。因此在进行漫游决策时，应尽量避免选择此类AP。

5) 5 GHz频段优先策略。大量的实测和分析研究表明，5 GHz频段的接入体验在多数时候都优于2.4 GHz频段。因此，在同等条件下可优先选择漫游到5 GHz频段。

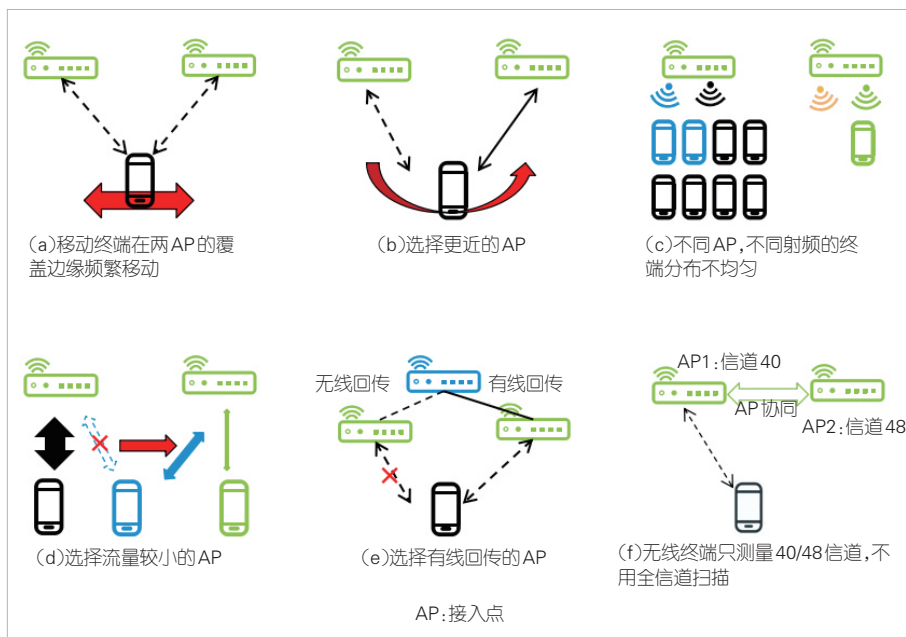
快速切换技术主要解决漫游过程中“不切换”和“切换慢”的问题。独创的STA切换模型能够分析STA频段、802.11 k/v/r、Wi-Fi模式等，判断最优的漫游切换方式；结合组网协同，选取最小的信道集合进行802.11k测量扫描，如图6（f），将漫游切换时延降低到20 ms。

上述漫游控制技术已经在实际产品中落地应用，其中部分研究成果已形成专利^[8-9]。

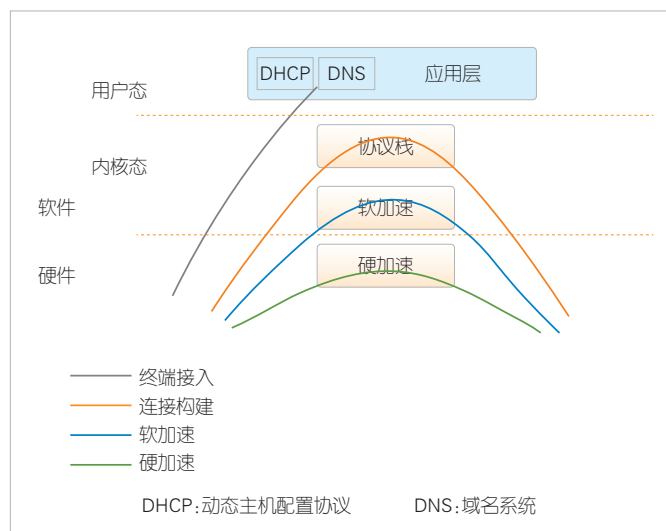
2.3.2 容量扩张技术

未来，智慧家庭场景会有多终端同时接入网络的情况，例如中小企业中两三百个终端同时接入网络。这就需要扩展传统网络的容量，在大量数据报文高并发下，保障FTTR的网络性能。

终端接入流程如图7所示。在第一阶段，系统在终端接入后进行动态主机配置协议（DHCP）地址获取和域名系统（DNS）处理，通过协议栈处理业务报文，构建连接；在第



▲图6 漫游决策与切换



▲图7 终端接入及报文转发流程

二阶段，系统对报文进行加速处理（先软加速后硬加速）。

1) 连接构建优化

终端接入时以IPv4网络为主。我们对DHCP地址分配和DNS转发两个关键技术进行改进，优化了接入流程，提升了效率。

当大量终端接入时，DHCP地址分配过程会出现大量discovery消息堆积，导致超时且无法完成DHCP地址分配。为此，我们提出了两项研究改进：

一是采用报文分类队列调度技术。我们将DHCP报文按类型分类（如discovery、request等）并将其纳入不同队列，随后按照一定权重出队列（优先处理request，然后处理discovery），以此解决消息堆积导致的超时问题。当DHCP地址池容量超过C类地址段时，可采用跨段分配机制，扩充地址容量。

二是采用三重重复地址检测技术。相比于传统的单种重复检测技术，我们使用地址解析协议（ARP）检测、网际报文控制协议（ICMP）检测和邻居表信息对要分配的地址进行三重重复检测。该方法能大幅提高地址可用性的检测准确度，兼容有线和无线多种链路，匹配原先网络的地址状态。

在DNS转发处理上，我们通过3个方面的优化来提升DNS转发性能：

一是DNS程序的flowcache和dnscache容量扩展：flow-cache容量扩大到原先的4倍，单DNS请求记录调整为原先1/4，并进行Hash查找优化；dnscache容量也扩大到原来的4倍，采用环形队列和Hash查找方式。

二是DNS转发路径优化：配置数据预读，降低频繁读取文件，提升查找效率。

三是DNS功能模块化标准化：注入DNS解析流程，减少DNS重复解析。

2) 报文加速优化

我们改进了加速条目容量和快速查询算法，实现了FTTR网络的容量扩充和性能提升。

软加速将报文直接转发，避免走协议栈。我们将软加速的连接跟踪数和条目增加到原来的8倍，同时引入环形队列和Hash算法以实现快速查找。软加速学习到连接条目后，将其配置到硬加速。报文直接经硬件转发，不通过CPU。将硬加速条目数也扩大8倍，采用Hash算法快速查询，可避免通过五元组在整个表中进行对比。

2.3.3 业务感知应用识别技术

面对日益丰富的家庭应用，应用流量的精确控制是网络管理面临的重大挑战。精确识别是实现精确控制的必要前提。业务感知应用识别技术^[10]通过提取报文中特定字段或报文的行为特征，与业务感知特征库进行匹配，进而识别应用。相比于传统的协议识别技术，该技术适用范围更广，智能化程度更高。

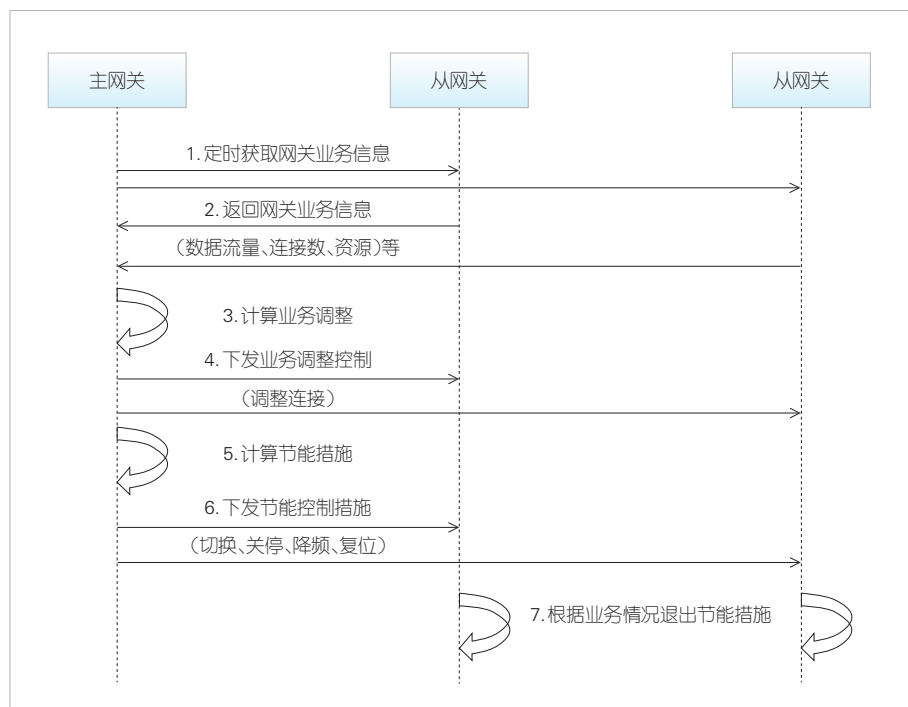
中兴通讯研发了业务感知应用识别插件ZXDPI。ZXDPI持续从互联网应用中提取常见应用的特征，并将其存储到智能管理云平台的业务感知特征库中。特征库保持动态更新，避免APP应用对深度包检测（DPI）插件的反制。FTTR网关也定期同步，动态加载新增的特征库。当业务流量进入网络后，ZXDPI进行应用分类和业务流分析，将分析结果和网关的特征库进行对比，识别出该应用程序，进而实施精细化服务质量（QoS）策略控制。

目前该技术实现了游戏、视频、办公、支付、社交5类应用的智能管控，已经在实际产品中落地应用。

2.3.4 绿色节能

FTTR组网网关较多，容易出现流量不均衡的情况。有些从网关的业务流量大，有些从网关的流量较小甚至没有流量。对此，我们开发了绿色节能机制，对整网流量进行动态智能分析，在用户无感知的情况下实施节能控制，实现网络负载均衡和整体能耗最低，如图8所示。主网关定时获取所有从网关的业务信息，计算出整网的业务分配和从网关的资源占用情况，并制定业务平衡调整策略；从网关调整好自身业务，并执行节能控制。如果从网关的业务情况发生变化，从网关可及时退出节能控制，以确保不影响用户的业务。

基于大量的研究测试，我们形成了3个层面的节能控制措施：



▲图8 绿色节能机制流程图

- 1) LAN口层面：进行快速以太网切换或关停操作。
- 2) Wi-Fi层面：进行多输入多输出（MIMO）切换或关停操作。
- 3) 芯片层面：进行降频或复位操作。通过多轮优化与验证，我们将FTTR网关的功耗降低了50%。

2.3.5 分段测速

目前，多数家庭网络报障多为“上网慢”“卡顿”等，运营商无法定位具体的故障原因。我们研发了FTTR分段测速方案，将网络分为主网关出口至服务器、主网关至从网关和各网关至用户终端，以测试各分段网络的速率。通过速率对比，该方案能够实现故障快速定界，从而找出故障原因。

分段测速方案如图9所示，主从网关之间采用iPerf测速。原先的方案需要经过整个协议栈，并且中央处理器（CPU）全程参与。这导致CPU满载，只能测到线速的25%，影响网络诊断的准确性。对此，我们设法减少CPU的参与，

使主网关到从网关的测速能达到下行线速值，从网关到主网关的测速能到上行线速值。

FTTR分段测速方案已经在实际产品中落地应用，实现了运维零上门、用户零操作。该方案不仅能够实现对故障的快速定界定位，还可以实现全网批量测速、问题批量整改。

3 FTTR的机遇与挑战

随着各类新兴应用的发展，家庭网络也在飞速演进，FTTR势必会面临诸多挑战。中兴通讯在持续思考和探索，不断推动FTTR技术的创新发展。

在底层技术方面，我们已经启动新一代FTTR PON芯片的研发，以更好适配未来FTTR的产品竞争力和网络技术要求。针对落地推广中面临的ODN布线施工难题，我们已研发出面板式

从网关和吸顶式从网关，并有多种安装部署方案可供选择。

在网络管理方面，基于FTTH管理平台，我们研发了中兴智能管理云平台，实现了FTTR网络管理。目前该平台还存在标准规范上的不足，无法管理到FTTR的每一个层面。因此，对于FTTR的管理标准，我们将逐步细化和优化。

在业务保障方面，当前FTTR技术实现了300 STA并发场景，未来会突破300 STA接入能力。因此我们还需要进一步研究网络扩容和性能优化方案，不断提高智能业务感知应用技术的识别效率，扩大应用范围，以实现更多家庭和企业复杂网络中业务流量的精确管控。

在网络演进方面，10G PON向50G PON演进，会给FTTR提供更高的带宽。在Wi-Fi 6向Wi-Fi 7的演进中，除了具有更高的速率外，Wi-Fi 7引入了多链路设备（MLD）技术，把传统的Wi-Fi单链路改造成多链路，在射频链路上增加了冗余，未来升级到Wi-Fi 7的FTTR可以更好地实现无缝漫游。



▲图9 分段测速方案

4 结束语

继FTTH的巨大成功之后，FTTR开启了第二次光纤革命。中兴通讯在芯片和连接技术、网络管理平台、业务保障机制等方面实现了多项技术创新，为用户提供高速网络和极致体验，

助力运营商打造高质量的家庭千兆网络。未来，我们将持续进行 FTTR 技术攻关，探索与 FTTR 相结合的前沿技术和创新应用，推动家庭全光新基建，筑基智慧家庭新未来。

致谢

本文得到中兴通讯股份有限公司李二洁、羊兆磊、武云飞、董志华、石宏宇的帮助，在此表示感谢！

参考文献

- [1] 吕达, 郑清芳. 构建智能实时网络, 使能 5G 视频业务繁荣 [J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(1): 60-67. DOI:10.12142/ZTETJ.202101013
- [2] 徐代刚, 姜磊, 梅君君. 面向视频云微服务系统的智能运维技术 [J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(1): 68-76. DOI:10.12142/ZTETJ.202101014
- [3] 宽带发展联盟. FTTR 光纤到房间白皮书(2022年) [R]. 2022
- [4] ITU. ONU management and control interface [EB/OL]. [2022-12-15]. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.988-202206-S!Amd5/en>
- [5] 贺峰. 管理从光网络单元的方法、光线路终端、主光网络单元: 202210858652.3 [S]. 2022
- [6] 贺峰. 光网络系统的管控方法及装置: 202211458430.9 [S]. 2022
- [7] 贺峰. 网元管理方法及其系统、网元、存储介质: 202111579075.6 [S]. 2021
- [8] 羊兆磊. 多 AP 组网设备漫游后快速稳定更新转发路径的一种方法: 201911218498.8 [S]. 2019
- [9] 羊兆磊. 一种 Mesh 网络中的端到端 QoS 管理方法: 202111138376.5 [S]. 2021
- [10] 饶翔, 张顺颐, 周筠. 基于业务感知的下一代互联网 QoS 控制架构及关键技术 [J]. 电信科学, 2010(12): 88-95. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0801.2010.12.018

作者简介



王新余, 中兴通讯股份有限公司智能家庭 PON ONU 研发总工; 主要从事 FTTR 产品开发和技术标准研究。



孔雪, 中兴通讯股份有限公司固网综合方案经理; 主要从事固网综合方案和 FTTR 市场推广。



贺峰, 中兴通讯股份有限公司智能家庭 PON ONU 领域专家; 主要从事 FTTR 管理方案开发和标准研究。