

面向多场景应用的新型 光纤同轴混合接入技术

The Hybrid Fiber Coaxial Access Technology for Multi-Application Scenarios



赵辉/ZHAO Hui^{1,3}, 刘跃/LIU Yue^{1,3}, 张诚/ZHANG Cheng²

(1. 北京瀚诺半导体科技有限公司, 北京 100080;

2. 北京大学区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 北京 100871;

3. 网络通信与安全紫金山实验室, 江苏 南京 211111)

(1. Beijing Hannuo Semiconductor Technology Co., Ltd., Beijing 100080, China;

2. State Key Laboratory on Advanced Optical Communication Systems & Networks, Peking University, Beijing 100871, China;

3. Purple Mountain Laboratories, Nanjing 211111, China)

摘要: 同轴电缆网络是中国信息基础设施的重要组成部分, 具备传输容量大、入户率高、室内接口广泛等优势。基于高性能同轴电缆网络(HINOC)的光纤同轴混合接入技术可以充分发挥同轴电缆优势, 提供高速、可靠、可管理运维的入户管道, 并可以在室内进行渗透组建家庭互联网络, 支撑多种场景的业务部署和应用。

关键词: 无源光网络; HINOC; 服务质量; 信道均衡; 网络管理

Abstract: Due to the advantages of large channel capacity and high household penetration rate, coaxial cable network is one of the important components of China's information infrastructure. The hybrid fiber coaxial access technology based on High Performance Network Over Coax (HINOC) can fully utilize the advantages of coaxial cable, and change it to a high-speed, reliable and manageable communication pipeline. This technology can be used to establish an excellent performance access network or home Internet, which supports multi-application scenarios.

Key words: passive optical network; HINOC; quality of service (QoS); channel equalization; network management

DOI: 10.12142/ZTETJ.201905007

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190927.1354.004.html>

网络出版日期: 2019-09-27

收稿日期: 2019-07-22

当前中国新一代信息技术支撑的数字经济进入快速发展阶段, 信息基础设施建设成为拉动经济增长的新支点。伴随着“宽带中国”“超高清视频产业发展行动计划”等系列国家战略的实施落地, 加快打造室内高速通信通道和网络成为信息领域发展关键。室内高速通信通道和网络不仅是新业态、新技术的重要组成部分, 更是抢占新兴

产业发展制高点、推动传统产业转型升级赋能的重要引擎。

有效、优质的入户管道是运营商提供宽带网络服务的“生命线”。中国骨干网已基本实现“全光化”, 而用户侧最后一段信息点连接呈现“因地制宜”式发展。从目前市场情况来看, 实现有线宽带接入的介质包括双绞线、电力线、光纤和同轴电缆。从覆盖规模上来看, 光纤、同轴是目前市场主流的2种接入介质, 单从介质本身而言, 两者并无本质

优劣差异。由于用户环境的复杂性, 尤其在一些老旧小区内, 目前相当一部分光纤入户只到楼头, 光纤入户较为困难; 同轴电缆拥有千亿存量资源, 几乎实现了100%入户, 同时还渗透到室内各个主要的活动场所。

作为泛在的信息接入口, 同轴电缆业务承载能力强, 容易部署升级, 符合“一线多能”的要求; 然而由于同轴传输技术的限制, 同轴电缆并未得到充分利用, 未发挥其全部

基金项目: 国家重点研发计划
(2018YFB1801403, 2018YFB1801402)

价值。本文中,我们将对光纤同轴混合接入技术的发展现状进行分析,提出了基于高性能同轴电缆网络(HINOC)的新型光纤同轴混合接入技术。该技术可用于构建宽带接入或智慧家庭互联网络,支撑多种场景的业务部署和应用。

1 光纤同轴混合接入技术

同轴电缆是一种泛在的入户介质。除了用于有线电视信号的单向广播传输之外,中国多数同轴电缆网络已完成双向化改造,可用于光纤同轴混合接入,承载双向互联网协议地址(IP)业务。

1.1 传统的光纤同轴混合接入技术

目前,中国普遍使用的光纤同轴混合接入技术可以分为2类:一类是基于混合光纤同轴电缆(HFC)网络的有线电视数据服务接口规范(DOCSIS)技术,一类是无源光网络(PON)+同轴电缆以太网传输(EoC)的两级组网技术,具体如图1所示。

DOCSIS技术在美国有线运营商网络中得到了广泛部署。DOCSIS网络的局端设备电缆调制解调器终端系统(CMTS)和终端设备电缆调制解调器(CM)通过HFC网络相连。其中,光纤分配网络与同轴分配网络之间需要负责光电信号转化的光节点设备,每个光节点下的同轴网络中可以支持一级或多级有源放大器。采用HFC的网络拓扑结构,可以增强单个CMTS设备的地理覆盖能力和终端数目支持能力,但这种光纤同轴一体式的网络结构容易导致局端设备昂贵、上行带宽不足、上行噪声汇聚等问题。

PON+EoC技术在中国多数省市得到广泛部署。光纤和同轴2种不同介质的分配网络可独立选择不同的网络传输技术:光纤分配网络可选用以太网无源光网络(EPON)、吉比特无源光网络(GPON)、10 Gbit/s以太网无源光网络(10 G EPON)、10 Gbit/s无源光网络(XG-PON)等PON网络技术,光网络终端(ONU)光节点更靠近用户侧,通常位于楼头或者楼道,即光纤到楼(FTTB);同轴分配网络可选用家庭插座电力线联盟电力线通信技术(Homeplug AV)、同轴电缆多媒体联盟通信技术(MoCA)等多种EoC网络技术,起到最后100 m的入户功能,且分配网络中通常不含有源放大器,信道质量更佳。采用光纤同轴级联的接入方式,具有组网灵活性强和建设成本低的优势。

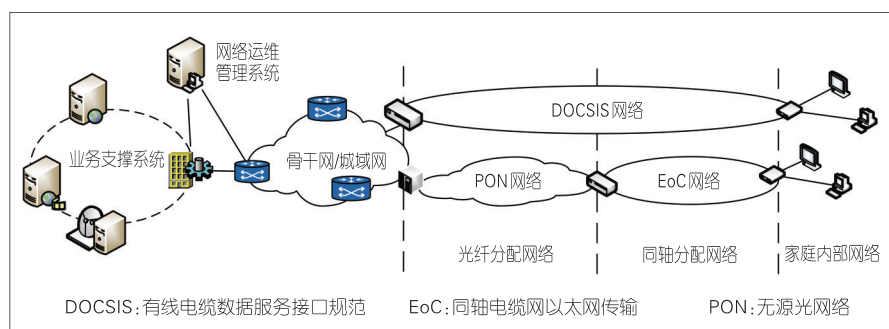
然而,目前EoC技术繁杂,且存在服务质量(QoS)保证能力差、网络总体带宽不足以及网络管理不完备的缺点。

1.2 基于HINOC的新型光纤同轴混合接入技术

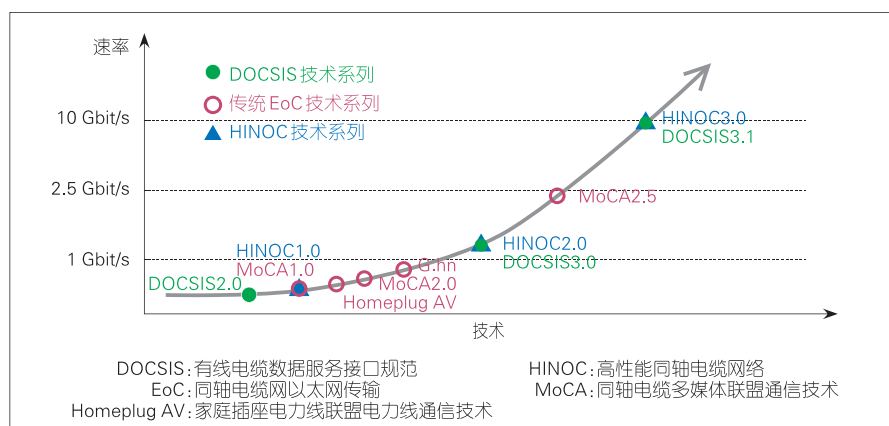
如图2所示,当前同轴传输技术可以分为DOCSIS、传统EoC以及HINOC 3类技术。

DOCSIS从百兆的1.0技术版本已经逐渐发展到万兆的3.1技术版本,DOCSIS 3.0的简化版本C-DOCSIS可用于PON+EoC的网络结构,但仍然具备上文所述问题:传统EoC技术种类繁多,均源自于欧美地区的家庭互联技术,多数技术的传输带宽在数百兆比特每秒,且宽带业务的QoS保证能力欠缺。

HINOC是针对中国有线同轴



▲图1 光纤同轴混合接入技术



▲图2 当前同轴传输技术

网络特性研发的唯一具有完备自主知识产权的新型同轴宽带通信解决方案, HINOC 2.0 技术传输速率可达 1 Gbit/s, 支持信道绑定, 具备灵活的管理和控制机制, 性能指标远超同类同轴通信技术。目前, 中国已有 3 家芯片厂商、10 余家设备商、10 余家省网运营商开展了 HINOC 小规模试点应用。本文中, 我们提出的基于 HINOC 的新型光纤同轴混合接入结构如图 3 所示: 光纤分配网络采 10 G 无源光网络技术, 同轴分配网采用千兆 HINOC 技术。基于 HINOC 大带宽、低时延以及丰富的管理控制接口, 可实现最后

100 m 的宽带入户。

2 HINOC 技术特点

HINOC 2.0 技术在 2016 年形成中国广播电视行业标准 GY/T297-2016, 并被国际电信联盟电信标准分局 (ITU-T) 发布为 J.196 标准族, 其主要技术指标如表 1^[1] 所示。

HINOC 技术可为业务传输提供全方位 QoS 保证, 并针对网络管理拥有完备解决方案, 相较于之前的宽带接入传输技术, 其技术创新性主要体现在如下 3 个方面:

(1) 吉比特宽带传输。吉比特宽带的传输可以选择同轴电缆信噪

比较高的高频段, 通过介质接入控制 (MAC) 层和物理层的高效通信机制设计, 在 128 MHz 单信道内最高可提供 1.14 Gbit/s 的传输速率, 频谱效率达到 8.87 bit/(s·Hz)。通过信道绑定的方式, 局端可以实现更高速率的传输。

(2) 毫秒级超低延迟。毫秒级超低延迟可以针对用户需求, 优化接入控制, 通过独有的调度机制实现了 2.5 ms 以内的平均延迟和 1 ms 以内的平均抖动, 以满足未来 4 K 超高清视频/虚拟现实/增强现实等新型业务对于时延的严格要求。

(3) 电信级运维管控。电信级运维管控支持丰富的管理控制指令, 可对任意特征的数据流进行精细控制; 可根据用户实时的带宽需求实现动态分配, 并对网络的实时环境进行监测控制, 实现智能告警、故障溯源、网络优化等。

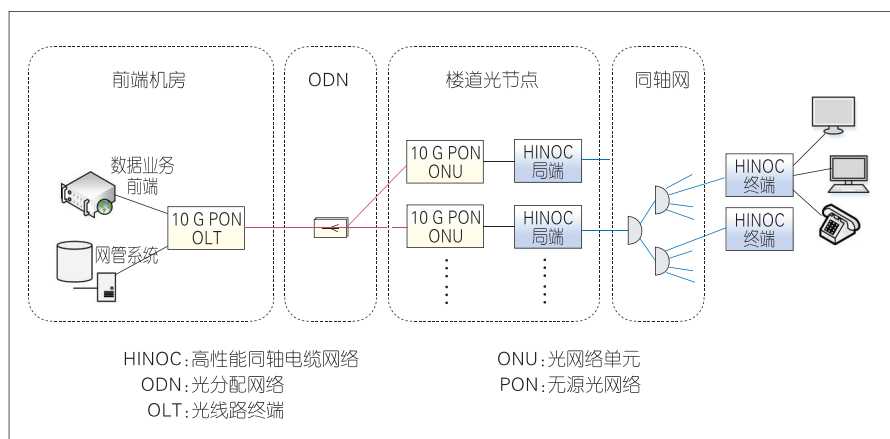
2.1 物理层技术特点

根据同轴信道的特点, HINOC 物理层设计采用了正交频分复用 (OFDM) 与自适应调制编码技术, 并配合分布式的信道均衡技术, 以最低的资源代价, 有效克服单频干扰、冲击噪声、多径效应等信道噪声, 实现稳定和高效的物理层传输, 从而达到频谱效率和系统稳定性的最优。

2.1.1 OFDM 与自适应调制编码技术

因为 OFDM 的技术优势以及硬件计算资源的发展, OFDM 调制技术近年被广泛应用于最新的通信系统之中, 其技术优势体现在如下的几个方面^[2]:

(1) 作为多载波调制技术,



▲图 3 基于 HINOC 的新型光纤同轴混合接入结构

▼表 1 HINOC 2.0 的主要技术指标

技术指标	HINOC 2.0 技术参数
MAC 层传输速率	最高支持 1.14 Gbit/s
单信道模拟带宽	128 MHz
调制技术	OFDM
多址方式	TDMA/OFDMA
调制格式	DQPSK、QPSK-4 096 QAM
纠错编码	BCH、LDPC

BCH: Bose-Chaudhuri-Hocquenghem 编码
DQPSK: 四相相对相移键控
HINOC: 高性能同轴电缆网络
LDPC: 低密度校验码

MAC: 介质接入控制
OFDM: 正交频分复用
OFDMA: 正交频分多址
QPSK: 正交相移键控

TDMA: 时分多址

OFDM 中各个子载波之间相互正交,所以允许子载波频谱重叠,相对于传统的多载波技术频谱效率大大提高。

(2)OFDM 信号的调制和解调可以通过快速傅里叶反变换和快速傅里叶变换来实现,实现起来简单。

(3)引入循环前缀,将OFDM 信号解调时候的线性卷积变成圆周卷积,根据傅里叶变换的性质,信道的多径效应的影响只需要简单的一阶均衡即可去掉,在对抗信道的多径方面有先天的优势,同时在进行频域信道均衡方面也非常方便。

(4)OFDM 技术中数据信息都是通过子载波进行承载,所以可以方便地与其他接入方式相结合,构成 OFDMA 系统,使多个用户同时使用一个 OFDM 符号中的不同子载波组进行数据传输,使用方式灵活。

HINOC 采用的 OFDM 技术除了以上提到的技术优势之外,还可将 OFDM 技术和自适应调制编码技术相结合,最大程度地发挥 OFDM 技术的性能优势。对于模拟带宽较大的通信系统中,往往存在频率选择性衰落或者窄带干扰,导致不同频点的信道信噪比不同。对于 OFDM 系统,每个子载波所在的子信道的带宽往往小于信道的相干带宽,在子信道内部可以认为通道响应和噪声水平不变,所以各个子信道可以根据其信噪比情况自适应地选择调制格式,同时也可以根据整体噪声水平自适应选择整个系统的纠错编码格式,以达到系统的最大传输性能。HINOC 技术综合系统性能和资源,采用将子载波进行分组然后进行自适应调制的方式,同时采用不同纠错能力的 2 种码长的 BCH 信道纠错编码,根据信道状况

进行选择使用,以达到最佳的系统性能和资源的平衡。

2.1.2 分布式信道均衡技术

HINOC 的帧类型主要分为探测帧和数据帧,如图 4 所示。其中,探测帧周期性发送,由固定的同步头及 2 个 OFDM 符号组成,用于维持系统的收发同步和信令交互。探测帧采用四相相对相移键控(DQPSK)调制格式,既便于数据的可靠解调,又便于进行盲信道估计,提取出每个子载波的信道的幅度和相位信息,用于信道均衡。

针对同轴信道随时间缓变的特点以及用户长期在线的特点,HINOC 设计了分布式信道均衡机制^[9]。在 HINOC 系统中,该机制采用多个探测帧进行分布式联合信道估计,对于每个探测帧估计出的频域幅度和相位信息,进行加权平均,以此提高信道均衡的精度,同时也降低了用于信道估计的数据帧中导频的开销。在进行数据帧解调时,信道均衡的幅度信息则直接采用加权平均的幅度,但因 OFDM 符号采样点起始偏差以及载波频率起始偏差,相位信息需要使用数据帧中少量的导频进行偏差纠正。在分布式信道均衡技术的支撑下,HINOC 技

术达到系统解调性能以及协议效率的同时优化。

2.2 MAC 层技术特点

HINOC 提供精细的 QoS 保证机制,可通过数据包的任意特征,如 MAC 地址、虚拟局域网(VLAN)ID、服务类别(COS)、差分服务代码点(DSCP)、IP 地址、IP 上层协议类型、传输控制协议(TCP)/用户数据报协议(UDP)端口号等,进行不同的可定制的 QoS 保证。QoS 保证的技术原理如图 5 所示,包括:流识别、流量控制、优先级设定、重标记以及队列调度等。

HINOC 实现了基于服务等级协议(SLA)的动态带宽分配(DBA)功能。基于业务优先级、用户配置的 SLA 模板以及终端上报的实时带宽需求等多种维度的信息,HINOC 局端可对系统的带宽资源进行统一调度。DBA 功能以单个 OFDM 符号时长(17 μ s)为基本时隙,在 2.5 ms 的调度周期内采用高效的时分多址(TDMA)/OFDMA 多址接入方式对数据包进行调度,保证毫秒级的超低延迟与毫秒级的微小抖动。DBA 最小分配颗粒度为 256 kbit/s,跟踪精度在 5% 以内,跟踪速度大约为 10 ms。

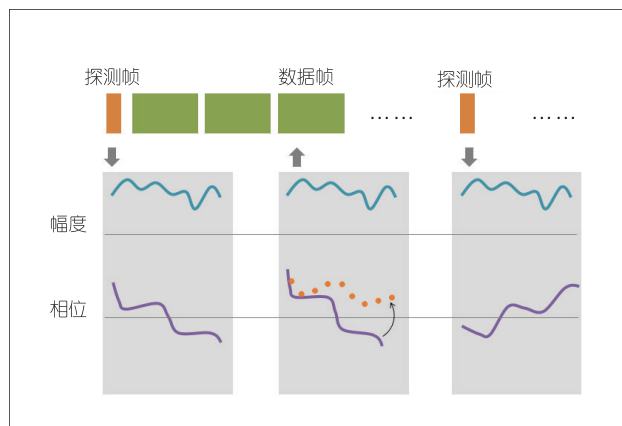


图 4
高性能同轴电缆网络系统中分布式信道均衡机制

此外, HINOC 支持组播功能, 包括 IPv4 Internet 组管理协议 (IGMP) Snooping 以及 IPv6 组播侦听发现协议 (MLD) Snooping 功能。组播业务可以在 HINOC 网络内以组播方式优先转发。

2.3 网络管理

HINOC 网络管理实现对 HINOC 网络、设备或功能单元的在线监测控制与管理, 完成对网络及设备的配置管理、故障管理、性能管理和安全管理等网络管理功能。位于远端的网络管理系统采用简单网络管理协议 (SNMP) 管理 HINOC 网络及设备, HINOC 局端设备 (HB) 内置 SNMP 代理, 将 SNMP 的管理消息转化为 HINOC 运维/管理/维护 (OAM) 消息, 实现对网络以及终端设备 (HM) 的管理。

HINOC 网络管理规范制定了丰富的 OAM 管理接口, 主要包括:

网络信息采集, 如同轴电缆信道的幅频/相频/信噪比信息、网络与用户的实时流量状态、丢包统计、缓存与队列状态等信息; 射频参数配置接口, 如工作频点、发射功率、信道绑定模式等; QoS 配置接口, 如流分类配置、DBA 配置、VLAN 配置、组播配置; 针对各种事件的主动上报消息, 如设备重启事件、上下线事件、环路事件等其他异常事件。

3 HINOC 技术演进

随着带宽需求的增长, 光纤同轴混合接入技术也需要持续升级, 以适应更低的系统成本、更大的模拟带宽、更高的频谱效率。目前, HINOC 产业链多家单位正在对 HINOC 3.0 版本进行联合研究与设计。该版本以不低于 10 Gbit/s 的传输速率和不大于 1 ms 的平均传输延时为目标, 支持不小于 1 GHz 的模拟带宽, 并采用全频带采样技术

和全双工通信技术等通信领域的前沿技术。

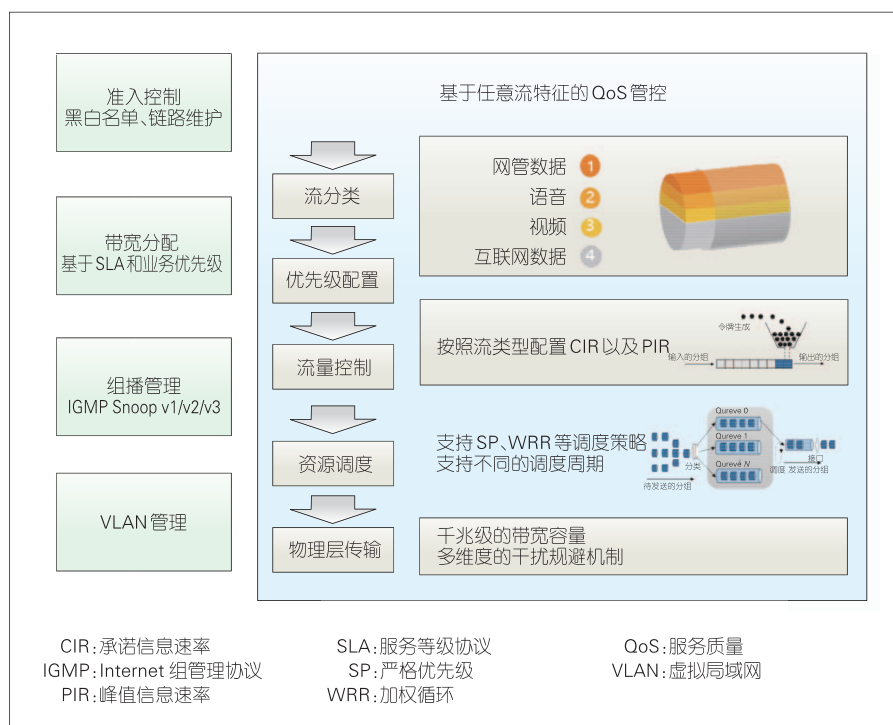
3.1 全频带采样技术

在传统的模拟解调器结构中, 单个系统不能实现不同路信号的有效扫描。如果需要对多路信号进行接收, 则需要多套独立的模拟射频调制解调器以及模数/数模转换器, 还有相应的配套电路, 比如模拟滤波器、电源等。这样一来, 整个系统的尺寸、功耗和成本都将大大增加, 同时性能也很难满足需求。

全频带采样将整个有效带宽内的信号完整采样转变为数字信号, 通过高速度和高精度的转换, 可以将系统中的模拟解调器全部替换^[4]。由于整个有效频带内的信息都进行了有效的采样, 则可以通过复杂的数字信号处理技术, 如数字变频、滤波、采样率变化, 将不同频段的信息进行提取和后续数字信号解调, 具有很大的灵活性, 便于未来的频段规划和实际系统部署。

3.2 全双工通信技术

传统的通信系统, 通常采用时分双工或者频分双工的方式进行通信, 而全双工则是指一个通信设备同时、同频进行信号的发送和接收, 理想情况下系统的频谱效率将会翻倍。全双工中主要面临的问题是信号的自干扰^[5], 即由于信道衰减, 发送信号功率在设备端往往远远大于接收信号功率, 而收发隔离器或者环路器无法进行收发的理想隔离。这导致设备自身的发送信号对接收信号造成很大的干扰, 接收信噪比较低, 甚至无法进行正确地接收。对于同轴系统来说, 自干扰消除主要在信号的模拟传播域和数字域进



▲图 5 高性能同轴电缆网络的服务质量功能机制

行,通过增加模拟域收发信号的隔离以及在数字域采用自干扰消除算法,降低自干扰的影响,从而提高接收端信噪比和总体的频谱效率。

4 典型应用场景

HINOC 技术以 IP 协议栈为业务体制收敛点,在用户侧建立起灵活开放的业务环境,实现“网络与网络、网络与业务”双解耦,提供高速可靠的宽带接入能力,将在 4 K/8 K 超高清视频传输、第 5 代移动通信(5G)技术室内渗透和深度覆盖、智慧家庭网络等领域得到广泛应用,如图 6 所示。

4.1 4 K/8 K 超高清视频传输

目前,国家正在大力推进 4 K/8 K 超高清视频业务的开通,各电视台也在积极部署 4 K 业务。预计到 2020 年,4 K 超高清视频用户数达 1 亿;到 2022 年,8 K 前端核心设

备也将形成产业化能力,在文教娱乐、安防监测控制、医疗健康等领域实现超高清视频的规模化应用^[6]。

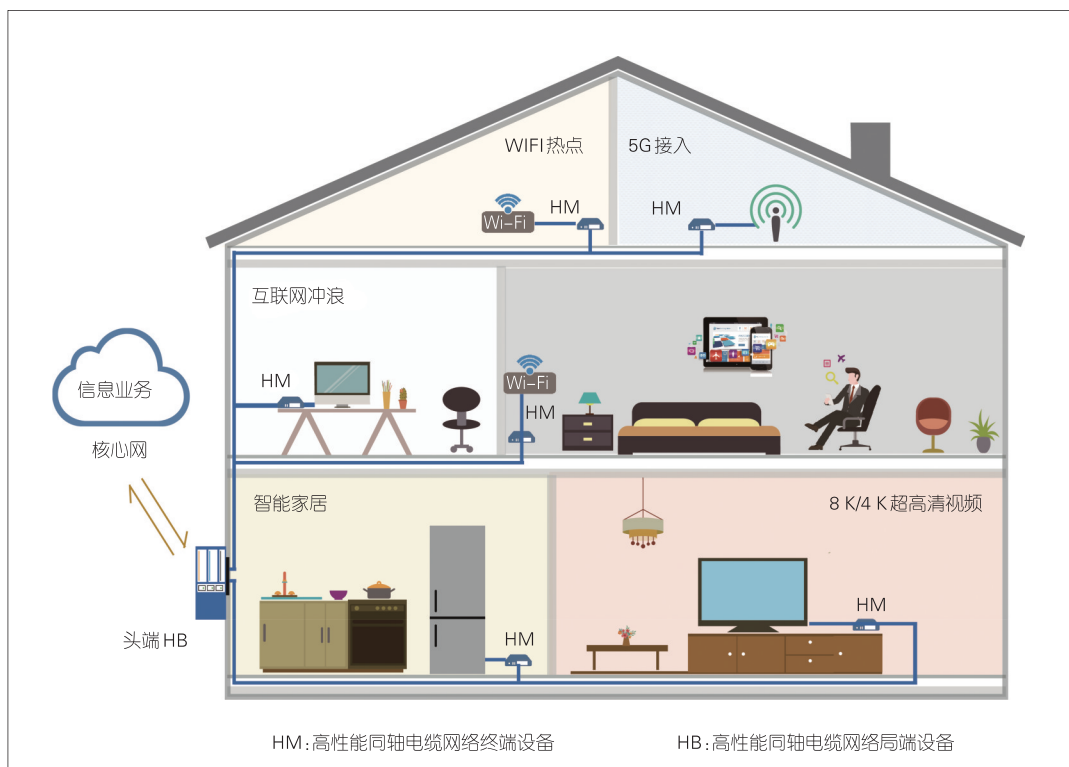
4 K/8 K 超高清视频这一高带宽业务的发展使得传统的广播电视技术和无线 WiFi 都捉襟见肘,整个信息网络需要实现 IP 化、宽带化,并提供广播级服务质量保证。同轴接口作为离电视机等用户终端最近的接口,具有先天的传输优势;而基于 HINOC 的光纤同轴混合接入技术可同时发挥光纤和同轴接口的泛在优势,为超高清视频业务提供完美的解决方案。

4.2 5G 室内渗透与深度覆盖

5G 技术是针对未来爆炸性增长的移动数据流量、海量设备连接、各类新业务和应用场景等需求提出的新一代移动通信技术,其力主创建“万物互联”的新世界。在 5G 时代,超过 80% 的流量将来自室内用

户需求,室内移动网络的部署和覆盖能力将成为运营商在 5G 时代的核心竞争力之一。

5G 工作频段较高,室外宏基站覆盖能力有限,而 5G 重要的应用场景增强移动宽带(eMBB)需要对热点的区域保证较高的传输容量(0.1~1 Gbit/s),这对于网络覆盖和承载网络能力提出了很高的要求^[7]。在这一背景下,实现室内多点覆盖和超密集组网成为 5G 网络的重要组网方式,具有独立的射频和基带功能的小基站在未来 5G 室内网络建设将成为重要的设备形态。小基站的建设需要在室内建立多个向上连接核心网的信息入口,重新部署光纤或者 6 类网线虽在技术上可行,但对于密集住宅楼宇室内施工难度和成本较高。同轴电缆网络由于其潜在带宽大,接入节点海量,可以作为 5G 室内渗透和深度覆盖的重要入户信息通道。目前成



► 图6
光纤同轴混合接入技术的
典型应用场景

熟的 HINOC 2.0 接入技术可支持单通道 1 Gbit/s 双向通信,平均延迟小于 2.5 ms,完全可以支撑室内小基站向上的控制和业务传输通道。演进版本 HINOC 3.0 技术则将支持 10 Gbit/s 传输带宽、小于 1 ms 的平均延迟,也将更好地支撑 5G 的室内渗透和深度覆盖。实现同轴电缆的 5G/超 5G (B5G) 室内渗透解决方案的产业化,有利于未来 5G 网络的商用化应用和推广。

4.3 智慧家庭

随着物联网、智慧家居、智能安防、超高清视频分发等多样化业务的逐步普及,在家庭内部建立一个高速可靠的信息通信网络,实现室内多个接入节点和外部入口之间的高速互联互通日趋重要。虽然无线 Wi-Fi 接入是用户最后一段的首选,但是由于其开放的通信环境,相互干扰日趋严重,且其竞争共享的信道分配机制无法保证超高清视频分发、安防监测控制、物联网控制等高等级业务传输,所以必须有可靠的室内有线网络作为家庭网络的基础支撑。其他传输介质由于其低频受干扰强、无法实现通信带宽的持续升级等问题,无法作为未来家庭网络的承载主体。而同轴电缆由于其已泛在部署、安装方便、带宽升级潜力大、支持总线型组网部署等优势将成为未来智慧家庭网络中连接

各个房间的通信媒质首选。HINOC 技术作为当前综合成本最低,商用最成熟的同轴接入技术,将在智慧家庭网络组建中发挥关键性作用。

5 结束语

基于 HINOC 的新型光纤同轴混合接入技术可以充分发挥同轴电缆网络“信道容量大、入户率高、室内接口广泛”的优势。在光纤分配网段,采用 10 G 无源光网络技术,未来可向 25 G、40 G、100 G 逐步升级。而在同轴入户网络,选择无论从传输性能、QoS 保证、技术演进能力还是部署成本、网络管理运维能力等方面都表现俱佳的 HINOC 同轴宽带通信技术,未来可进一步提升 HINOC 网络容量到 10 Gbit/s。此外,基于 HINOC 技术,还可以利用同轴电缆构建室内高速互连网络,开展 4 K/8 K 超高清视频传输、5G 渗透和深度覆盖、智能家庭网络等多种场景的新业务部署和应用。

参考文献

[1] NGB 宽带接入系统 HINOC 2.0 物理层和媒接入控制层技术规范:GY/T 297-2016 [S]. 国家新闻出版广电总局, 2016

[2] RICHARD V N, RAMJEE P, RICHARD V. OFDM for Wireless Multimedia Communications[M]. USA: Artech House, 1999

[3] ZHAO H, LI J H, ZHU P K, et al. Weighted Inter-Frame Averaging-Based Channel Estimation for CO-OFDM System[J]. IEEE Photonics Journal, 2013, 5(6): 7902807. DOI: 10.1109/jphot.2013.2292355

[4] Broadcom. Full-Band Capture Cable Digital Tuning[R]. 2011

[5] ZHANG Z S, LONG K P, VASILAKOS A V, et al. Full-Duplex Wireless Communications: Challenges, Solutions, and Future Research Directions[J]. Proceedings of the IEEE, 2016, 104(7): 1369. DOI:10.1109/jproc.2015.2497203

[6] 工业和信息化部, 国家广播电视总局, 中央广播电视总台. 超高清视频产业发展行动计划(2019-2022年)(2019-03-01)[2019-00-00]. [EB/OL]. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757021/c6660657/content.html>

[7] 中国联通, 华为. 面向 5G 的室内覆盖数字化演进白皮书[R]. 2018

作者简介



赵辉, 北京瀚诺半导体科技有限公司总工程师; 主要研究方向为同轴电缆高速宽带通信和 5G 移动通信; 参与起草中国行业标准 2 项, 发表 SCI 论文 3 篇、会议论文 3 篇, 授权专利 14 项。



刘跃, 北京瀚诺半导体科技有限公司芯片设计主管工程师; 主要研究方向为同轴电缆高速宽带通信和通信基带核心芯片设计; 发表文章 9 篇, 其中第一作者 6 篇, 授权专利 1 项。



张诚, 北京大学信息科学技术学院电子学系工程师; 主要研究方向为同轴电缆高速宽带通信和微波光子学; 参与起草中国行业标准 2 项, 发表 SCI 论文 14 篇、会议论文 34 篇, 申请专利 11 项。