



千兆宽带全光室内远端覆盖

严文发, 陈锋

(中国移动通信集团设计院有限公司湖北分公司, 湖北 武汉 430024)

摘要: 针对室内无线保真信号覆盖不均匀、无线带宽和入户宽带速率不匹配的问题, 分析了室内无线宽带覆盖的现状与传统技术。介绍了以光纤为传输介质, 光网关加远端延伸设备的覆盖技术。并用实例验证了千兆入户宽带使用该技术方案后, 室内无线信号覆盖均匀、速率能够达到千兆级别。

关键词: 千兆宽带; 无线保真; 光纤到房间; 室内覆盖

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2022170

Gigabit broadband all-optical indoor far-end coverage

YAN Wenfa, CHEN Feng

Hubei Branch of China Mobile Group Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430024, China

Abstract: The indoor wireless local area network has the problem of uneven signal coverage. Moreover, a mismatch between the wireless bandwidth and the incoming broadband rate exists. The research status of wideband indoor wireless coverage was provided with traditional technologies. A new signal coverage technology combining the optical gateway and remote extension covering equipment, using the optical fiber as the transmission medium, was proposed. Experimental results on two examples show that uniform indoor wireless signal coverage and a gigabit level of the rate can be achieved when using the proposed technology.

Key words: gigabit broadband, Wi-Fi, FTTR, indoor coverage

0 引言

高清视频、自媒体、虚拟现实(virtual reality, VR)等新应用不断涌现, 大带宽上网需求越来越多^[1]。在室内场景, 当前有线宽带包时长的资费方式与无线 4G、5G 按流量的资费方式相比, 仍然具有突出优势, 全民“有线宽带+无线保真(wireless fidelity, Wi-Fi)”的上网时代还将继续。从“宽带中国”战略实施以来, 我国持续加大光

纤网络建设投资力度, 2020 年光纤到户(fiber to the home, FTTH)覆盖家庭已超过 3 亿户, 各大运营商不断在各大城市进行千兆(1 000 Mbit/s)宽带接入能力升级^[2]。面向逐步实现的 FTTH 千兆接入, 中小企业和大户型住宅光纤接入点远端房间的上网质量将成为新的瓶颈, 光纤网络需要进一步向远端延伸, 本文针对宽带网络“光纤到户”向“光纤到房间(fiber to the room, FTTR)”的演进方案进行研究。



1 室内无线宽带现状及传输介质

手机等移动终端已遍及每个家庭,当前高速宽带需求呈快速增长趋势,在室内环境中各类移动终端基本通过 Wi-Fi 实现互联网访问。多居室的远端房间因 Wi-Fi 信号连续穿墙后的严重衰减,普遍出现上网速率大打折扣,甚至无法稳定连接 Wi-Fi 的情况。根据某设备厂商收集到的逾 5 000 份家庭宽带调查问卷反馈的数据,发现随着居室数的增加,用户有意识地通过增加 Wi-Fi 热点数量改善房间的网络体验,千兆用户有 24.8%希望进一步提升网络体验。室内 Wi-Fi 热点数量与户型的关系如图 1 所示^[3]。

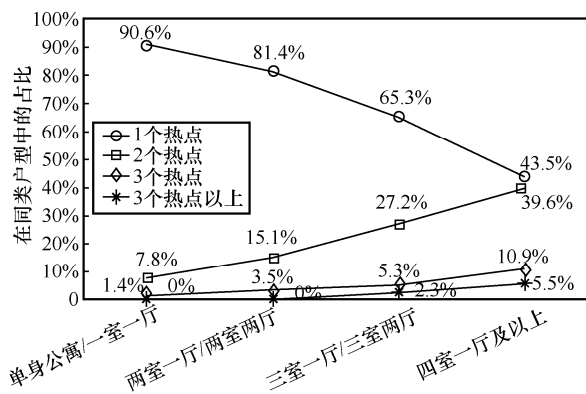


图1 室内 Wi-Fi 热点数量与户型的关系

大户型宽带用户,室内多个 Wi-Fi 接入点的需求日益增长,增加 Wi-Fi 接入点的传输介质可

选择光纤、网线、Wi-Fi 桥接或中继、电力线等,不同传输介质优劣势分析见表 1。

光纤介质相对于铜线类介质和无线介质,具有更高的稳定性和传输带宽,具有更低的信号衰减等^[4],是实现高品质千兆 Wi-Fi 入室的优选方案;从使用周期来看,光纤寿命长^[5],一次铺设可长期使用;从建设和维护成本来看,室内蝶形光缆部署灵活^[6],可适应多种多样的户型。

2 室内 Wi-Fi 信号传播能力分析

室内远端房间无线 Wi-Fi 信号传播,可基于链路预算原则,通过计算得到信号覆盖情况。

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} - L_{tx} - PL(d) + G_{rx} - L_{rx} \quad (1)$$

其中, $P_{rx}(\text{dBm})$ 表示接收功率, $P_{tx}(\text{dBm})$ 表示发射功率, $G_{tx}/G_{rx}(\text{dBi})$ 表示天线增益, $PL(d)(\text{dB})$ 表示路径损耗, $L_{tx}/L_{rx}(\text{dB})$ 表示其他损耗^[7]。

通过式(1)可得,当设备的接收功率、发射功率、天线增益为确定值时,只有通过降低损耗值提升 Wi-Fi 信号传播能力。Wi-Fi 信号的损耗除了受固定物体带来的反射、衍射、漫射、穿透 4 种传播效应影响,还受人员和宠物的移动、门窗开关等影响,信号频率越高,穿透的能力越差^[8-9]。2.4 GHz 频段和 5 GHz 频段在无线通信中均属高频段,因此室内墙体等障碍物对其传播影响严重。Wi-Fi 信号室内传播效应示意图如图 2 所示。

表 1 不同传输介质优劣势分析

传输介质	协议	稳定性	优势	劣势	未来演进趋势
光纤	PON/以太	高	高稳定性、高可靠性、传输带宽基本无限制(带宽上限主要取决于设备能力)	《综合布线系统工程设计规范》(GB50311-2016)未定义光纤部署,室内部署率低,终端成本较高	光纤支持 10 Gbit/s、100 Gbit/s 演进能力,介质无须更换
网线	以太	较高	实现成本低,较为普及,室内装修普遍预埋	信号衰减量与长度成正比,网速越高衰减越严重,超过 1 Gbit/s 的高规格网路线径粗,部署难度大	支持更高速率的网线成本较高
Wi-Fi	802.11 系列	较差	无须布线,部署灵活方便、成本低	无线衰减明显,易受环境干扰影响,稳定性较差	三频路由器,设置专用频段实现 Wi-Fi 回传
电力线	Ghn/Homeplug	差	复用电力线,较易部署和维护	存在电器干扰,无法有效跨空等问题,多设备组网时性能劣化严重	协议迭代速率慢,当前最高物理层速率 2 Gbit/s,传输速率 1 Gbit/s

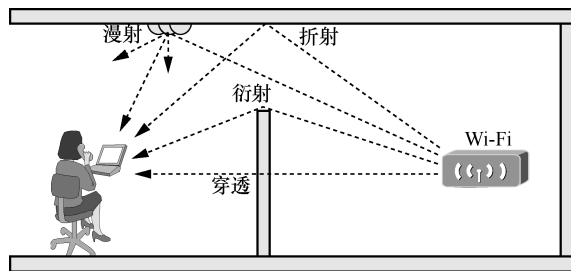


图2 Wi-Fi 信号室内传播效应示意图

Wi-Fi 信号的本质是电磁波, 穿透不同材质障碍物的损耗不同, 其中, 金属和混凝土墙带来的损耗最为严重。Wi-Fi 电磁波穿透障碍物损耗见表 2^[10]。

从表 2 数据可以看到, 室内障碍物对 Wi-Fi 信号的传播影响严重, 穿透木制、塑料等障碍物的信号强度衰减可达到 50% 以上, 穿透墙体障碍物的信号强度衰减可达到 90% 以上, 穿透金属障碍物的信号强度衰减可达到 99% 以上。

3 宽带室内覆盖技术方案

提升室内宽带上网质量, 目前主要有 3 类技术方案可选, 分别是增加 Wi-Fi 覆盖范围、无线拉远覆盖和网线拉远覆盖。

3.1 增加 Wi-Fi 覆盖范围

增加 Wi-Fi 覆盖范围, 可以通过提升路由器发射功率实现, 但受限于我国无线电管理委员会对无线路由器发射功率的限制, 例如天线增益小于 10 dBi 的 2.4 GHz 无线局域网产品, 等效全向辐射功率 (equivalent isotropically radiated power,

EIRP) 不大于 100 mW 或不大于 20 dBm^[11], 此方案面对室内障碍物的穿透损耗较大, 增加覆盖范围有限。

增加 Wi-Fi 覆盖范围, 还可以通过高增益天线技术实现, 但增益带来波束变窄, 会导致不同区域覆盖质量不均, 甚至出现一些覆盖空白的区域^[12]。

3.2 无线拉远覆盖

无线拉远覆盖方案通过增加 Wi-Fi 路由设备, 采用无线桥接或无线中继技术实现覆盖^[13-14]。该覆盖方式部署最为简单, 但双向无线信号质量衰减大、传输带宽损失严重, 并且存在无线路由器之间漫游切换导致速度慢的问题^[15]。

3.3 网线拉远覆盖

网线拉远覆盖是有线拉远覆盖的一种, 通过网线连接方式增加光网络终端 (optical network terminal, ONT) 下挂的无线访问接入点 (access point, AP) 数量, 实现远端 Wi-Fi 覆盖。该方案虽然解决了室内信号强度衰减问题, 但速率上限被网线种类和质量限制。室内已经布放的网线以五类线 (category 5 cable, CAT5) 为主, 速率上限一般为百兆 (100 Mbit/s)^[16], 室内网络接入带宽改造提升空间受限。新建室内网络可以采用超五类线 (category 5e cable, CAT5E)、六类线 (category 6 cable, CAT6) 提升速率上限, 但存在各无线 AP 流量并发时业务流相互影响的问题, 网

表 2 Wi-Fi 电磁波穿透障碍物损耗

障碍物	示例	穿透损耗	Wi-Fi 电磁波强度降低比例
布料	窗帘、门帘	约 1 dB	约 20.63%
木质	办公室分区	约 3~6 dB	约 50%~75%
塑料	室内墙	约 3~6 dB	约 50%~75%
合成材料	办公室分区	约 3~6 dB	约 50%~75%
玻璃	窗户	约 8 dB	约 84.13%
水	鱼缸、鱼池	约 8~10 dB	约 84.13%~90%
砖	墙	约 8~12 dB	约 84.13%~93.67%
混凝土	楼墙	约 12~20 dB	约 93.67%~99%
金属板	金属门	约 30 dB 以上	约 99.9% 以上



络稳定性较差。另外,由于无线 AP 不属于无源光网络 (passive optical network, PON) 系统的网元,不能实现运营商统一网管监控,运维排障困难。

3.4 全光远端覆盖

FTTR 全光室内远端覆盖,是一种全光宽带网络的创新,将运营商 PON 系统中的宽带接入点由入户信息箱位置延伸至远端房间内^[17], FTTR 全光远端覆盖 PON 系统结构如图 3 所示。

原 PON 系统结构中的 ONT 部分演变为入户光网关设备和若干远端延伸设备,可采用类接入网组网 (即 point to multiple point, P2MP) 或光以太网组网 (即 point to point, P2P) 技术实现,设备间全部采用光纤互联。该方案实现了全光远端房间覆盖,解决了室内障碍物导致的信号衰减,突破了铜线类介质对流量速率的限制,可以通过

不断迭代设备进行带宽升级,远端延伸设备还可以纳入 PON 系统网管,实现运营商对设备的统一监控和维护。

全光远端覆盖与传统覆盖技术方案相比,在带宽速率、传输距离、可靠性、时延和漫游切换方面都具备优势,室内覆盖技术效果对比见表 3。

4 全光远端覆盖技术

4.1 设备及组网

室内全光设备组网有两个思路,分别是类接入网组网和光以太网组网^[18]。

类接入网组网为 P2MP 模式,光网关设备和远端延伸设备间采用短距 PON 技术降低连接距离,设备间经分路器分光后实现光纤互联,组建室内微型光分配网 (optical distribution network,

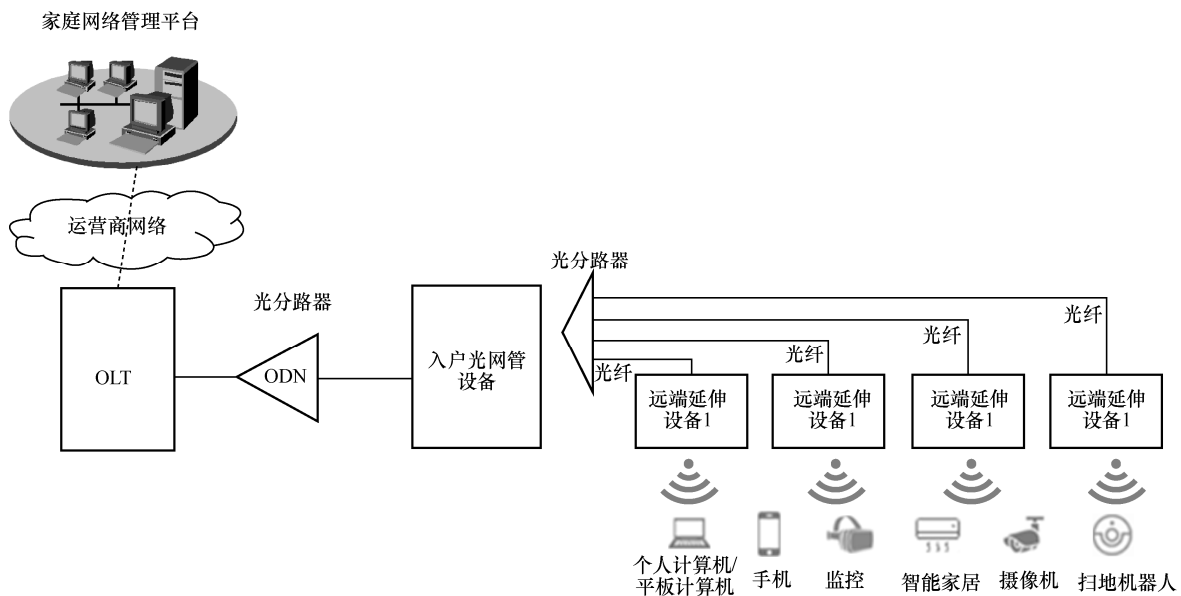


图 3 FTTR 全光远端覆盖 PON 系统结构

表 3 室内覆盖技术效果对比

	全光远端覆盖	无线拉远覆盖	网线拉远覆盖
带宽速率	>1 000 Mbit/s	<600 Mbit/s	10~980 Mbit/s
传输距离	>1 km	严重受室内障碍物影响	<100 m
可靠性	稳定	环境干扰影响大	容易老化
时延	<1 ms	10~100 ms	<1 ms
漫游切换	<100 ms	100 ms~2 s	100 ms~2 s

ODN)。分路器也可以集成至光网关设备中,减少物理设备种类。光网关设备需要 1 个光电转换模块、1 个 PON 光处理模块实现室内微型 ODN 组网,上行通过 XG-PON(非对称型万兆 PON)或 XGS-PON(对称型万兆 PON)接入,速率最大支持 10 Gbit/s;远端延伸设备架构与 FTTH 的 OTN 设备相同,需支持千兆以太网口和 Wi-Fi6,空口速率达到千兆以上。设备系统架构如图 4 所示。

光以太网组网为 P2P 模式,光网关设备和远端延伸设备间采用以太网技术实现光纤互联。光

网关设备需要若干光电转换模块,建议 4 台以上远端延伸设备室内组网时配置局域网交换机,其上行与类接入网组网相同;远端延伸设备架构与家庭无线路由设备相同,需支持千兆以太网口和 Wi-Fi6,空口速率达到千兆以上。设备系统架构如图 5 所示。

类接入网组网和光以太网组网都可以实现室内全光覆盖,类接入网组网采用 PON 技术,需要增加光分路器组网;光以太网组网采用以太网技术,远端延伸设备过多时需要增加光交换机组网。两者现阶段均无技术规范及产品标准,类接入网组

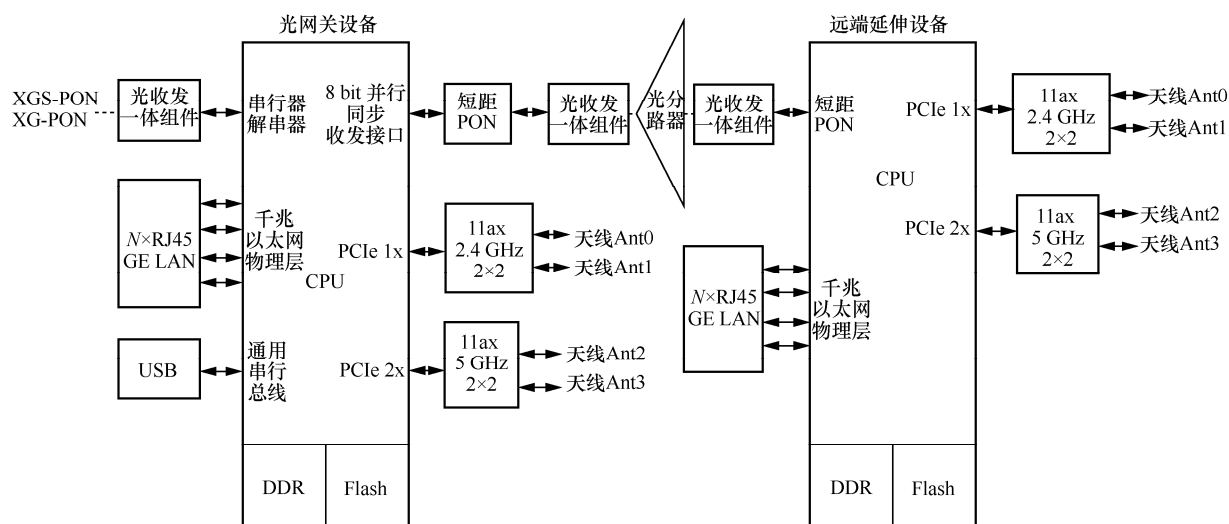


图 4 类接入网组网系统架构

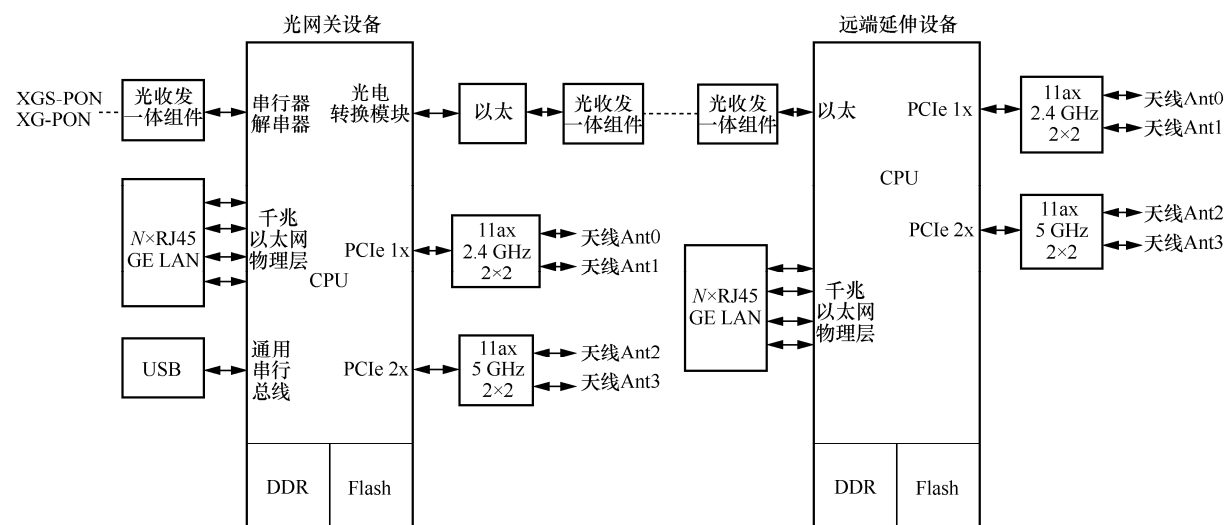


图 5 光以太网组网系统架构



网可参考光接入网规范, 光以太网组网可参考光以太网规范。类接入网组网各运营商有少量试点, 但尚未实现片上系统(system on chip, SoC)设计, 当前建设成本较高; 光以太网组网当前产品较少, 但有成熟的光电模块, 在不加光交换机的前提下建设成本较低。两种组网具体对比见表 4。

4.2 设备部署

光网关设备作为室内信号覆盖的核心设备, 对室内全部设备进行管理, 网络位置在光线路终端(optical line terminal, OLT)与远端延伸设备之间, 向上经分光器连接至通信机房的 OLT 设备, 向下通过光纤接口连接至远端延伸设备, 硬件配置推荐上行采用 10 Gbit/s PON 光接口, 下行根据组网技术采用短距 PON 接口或以太接口, 光网关设备同时具备远端延伸设备所有功能, 建议部署于室内较为中心的位置, 同时能够方便与室内光纤进行合理衔接, 例如可以放置在住宅客厅附近的弱电箱内^[19]。

远端延伸设备主要提供有线和无线上网终端接入, 合理分布于各个房间, 向上连接至光网关设备, 向下提供 Wi-Fi 和 GE 端口接入。远端延伸设备采用桥接模式, 由光网关设备统一管理, 使室内构成一张可互通的整体局域网, 硬件配置推荐上行根据组网技术采用短距 PON 接口或以太接口, 下行采用 Wi-Fi6 及 GE 电口, 部署方案灵活多样, 可以采用桌面形态或与家具融合, 也可以采用吸顶形态部署于天花板或墙体, 还可以采用

面板形态部署于隐藏位置^[19]。

4.3 设备漫游

千兆宽带全光室内覆盖设备支持 IEEE 802.11k、IEEE 802.11v、IEEE 802.11r 3 个协议, 可实现终端在多个远端延伸设备之间 Wi-Fi 无缝漫游, 漫游切换控制在 100 ms 以内。IEEE 802.11k 协议使终端设备实时掌握周边远端延伸设备的信号强度, 当需要漫游时, 可快速确定漫游目标; IEEE 802.11v 协议为终端设备提供远端延伸设备负载情况, 负责触发漫游并为终端设备指引漫游方向; IEEE 802.11r 协议具备“快速基本服务集转换”功能, 可实现漫游高效接入^[20]。

5 全光远端覆盖效果验证

5.1 改造千兆宽带全光室内覆盖效果测试

某中小企业室内面积 250 m², 由 1 000 Mbit/s FTTH 无线拉远室内覆盖改造为 FTTR 全光室内覆盖。改造前部署 Wi-Fi5 路由器 3 端, 分别位于图 6 中的①③⑤位置, 通过无线方式组网。改造后部署 Wi-Fi6 入户光网关设备 1 端、远端延伸设备 4 端, 分别位于图 6 中的①②③④⑤位置, 全光纤组网。

在图 6 中选择 A~H 共 8 个测试点, 改造后漫游触发切换时间在 100 ms 以内, 8 个测试点的下载上传速率都有较大幅度的提升, 整体覆盖效果提升明显, 改造前后 8 个测试点的下载上传测试对比数据见表 5。

表 4 类接入网组网与光以太网组网对比

	类接入网组网	光以太网组网
组网设备及介质	光网关设备、远端延伸设备、光分路器、光纤	光网关设备、远端延伸设备、光纤
网关增加模块	1 个光电转换模块, 1 个类 OLT 光处理模块(未来集成到 SoC 中)	若干光电转换模块, 超过 4 个以上远端延伸设备建议配置 LAN 交换机及相应光电转换模块
成本	较高, 有待规模应用降低成本	不增加光交换机时成本较低, 增加光交换机时成本高
网关 WAN 侧光口速率	上行 2.5 Gbit/s (XG-PON), 下行 10 Gbit/s	上行 2.5 Gbit/s (XG-PON), 下行 10 Gbit/s
网关 LAN 侧接口速率	上行 1.25 Gbit/s, 下行 2.5 Gbit/s, 多口共享	单口上下行均 1 Gbit/s, 多个接口可并发
组网能力演进	GPON→10 Gbit/s PON	1 Gbit/s 以太网→10 Gbit/s 以太网
技术规范及产品标准	可参考光接入网规范	可参考以太网规范
产业成熟度	少量试点, 尚未实现 SoC 设计	产品较少, 有成熟光电模块

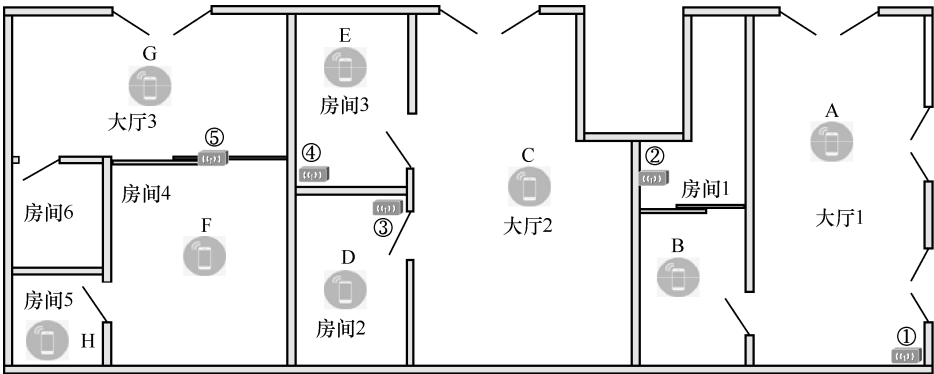


图 6 某中小企业室内设备安装及测点位置示意图

表 5 某中小企业 FTTR 全光室内覆盖改造前后速率测试结果

测点	改造前		改造后	
	下载/ (Mbit·s ⁻¹)	上传/ (Mbit·s ⁻¹)	下载/ (Mbit·s ⁻¹)	上传/ (Mbit·s ⁻¹)
大厅 1 (A 点)	551	401	1 057	800
房间 1 (B 点)	310	229	1 027	733
大厅 2 (C 点)	59	40	607	452
房间 2 (D 点)	41	28	1 075	842
房间 3 (E 点)	39	27	1 080	831
房间 4 (F 点)	10	7	1 050	808
大厅 3 (G 点)	11	7	1 044	804
房间 5 (H 点)	0	0	555	449

注：测速工具使用华为 P40 手机，测速软件使用 Speedtest。

5.2 某住宅新建千兆宽带全光室内覆盖效果测试

某住宅室内面积 138 m²，新建 1 000 Mbit/s FTTR 全光室内覆盖，部署 Wi-Fi6 入户光网关设备 1 端、远端延伸设备 3 端，全光纤组网。具体设备安装及测点位置如图 7 所示。

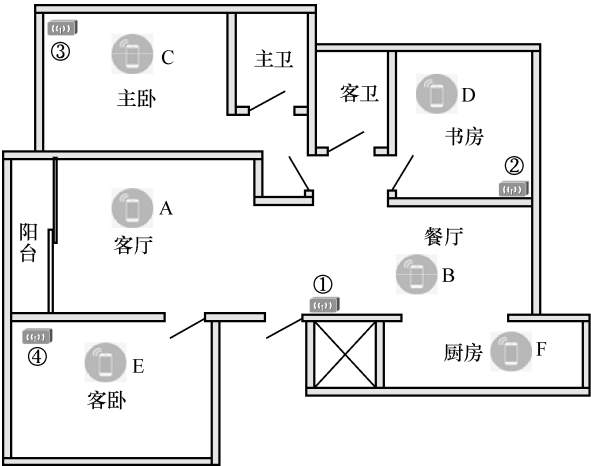


图 7 某住宅室内设备安装及测点位置示意图

在图 6 中选择 A~F 共 6 个测试点，漫游触发切换时间在 100 ms 以内，6 个测试点的速率均达到千兆标准，6 个测试点的下载上传测试数据结果见表 6。

表 6 某住宅 FTTR 全光室内覆盖速率测试结果

测点	下载/ (Mbit·s ⁻¹)	上传/ (Mbit·s ⁻¹)
客厅 (A 点)	1 071	714
餐厅 (B 点)	1 066	727
主卧 (C 点)	1 072	748
书房 (D 点)	1 082	738
客卧 (E 点)	1 080	728
厨房 (F 点)	1 015	688

注：测速工具使用华为 P40 手机，测速软件使用 Speedtest。

6 全光远端覆盖延伸应用

室内的墙面、地面、物体表面、活动人体等，



都会改变 Wi-Fi 信号的传播路径, 这些路径与直射路径形成多径传播, 最终通过叠加生成接收端的 Wi-Fi 信号。随着 Wi-Fi 热点的位置进一步下移至各个房间, 室内环境中可利用 Wi-Fi 多径传播特性, 结合设备天线的多入多出 (multiple-input multiple-output, MIMO) 技术, 通过多路径同时判断实现特殊场景的监控^[21-22]。使用 Wi-Fi 信号进行人体感知时的检测是被动式、非接触式的, 检测对象不需要穿戴任何设备, 不直接采集用户居家生活的视频或图像, 无隐私暴露风险, 可应用于卧室、卫生间、浴室等私密场景的监控。

7 结束语

本文提出的千兆宽带全光室内远端覆盖技术方案, 经实测可以解决中小企业和大户型住宅宽带 Wi-Fi 覆盖的痛点。与传统技术方案相比, 解决了室内 Wi-Fi 信号衰减、带宽速率不均等问题, 可为 VR、智慧家庭、云桌面等行业应用的发展提供基础网络条件。采用光纤作为室内传输介质, 符合技术发展方向, 可跟随设备升级换代不断提升宽带速率、时延、切换等各项网络指标, 并且伴随着室内 Wi-Fi 设备部署数量增多和进一步普及, 未来还可利用其无线电磁波的传播特性, 实现更多的安防类应用。

参考文献:

- [1] 吕萌, 王昌廷, 张瑞翔, 等. 10G PON 部署策略探讨[J]. 电信科学, 2020(Z2): 1-11.
LV M, WANG C T, ZHANG R X, et al. Discussion on deployment strategy of 10G-PON [J]. Telecommunication Science, 2020 (Z2): 1-11.
- [2] 中国信息通信研究院. 中国宽带发展白皮书 (2020 年) [R]. 2020.
China Academy of Information and Communication Technology. White paper on broadband development in China (2020) [R]. 2020.
- [3] 华为技术有限公司. FTTR 技术白皮书[R]. 2020.
Huawei Technologies Co., Ltd. White paper on FTTR technology [R]. 2020.
- [4] 张桐. 现代通信技术中光纤技术的特点及新技术应用情况研究[J]. 黑龙江科学, 2018, 9(5): 126-127.
ZHANG T. Study on characteristics of optical fiber technology in modern communication technology and application of new technologies [J]. Heilongjiang Science, 2018, 9(5): 126-127.
- [5] 张立岩, 李婧, 段建彬, 等. 光纤寿命与疲劳参数的关系研究[J]. 光通信技术, 2019, 43(2): 54-57.
ZHANG L Y, LI J, DUAN J B, et al. Research on relationship between optical fibre lifetime and optical fibre fatigue parameter[J]. Optical Communication Technology, 2019, 43(2): 54-57.
- [6] 卢星星, 阮云芳, 杨巧, 等. 浅议 FTTH 入户光缆的选用[C]//中国通信学会 2013 年光电缆学术年会论文集. 2013: 171-177.
LU X X, RUAN Y F, YANG Q, et al. Discussion on the selection of FTTH household optical cable[C]//Proceedings of 2013 Optical Cable Annual Conference of China Institute of Communications. 2013: 171-177.
- [7] 龚璐. 墙体对 WiFi 信号传播影响研究[J]. 中国新通信, 2020, 22(17): 55-56.
GONG L. Research on the influence of wall on WiFi signal propagation[J]. China New Communication, 2020, 22(17): 55-56.
- [8] 邹莹, 林俊良, 吴炜, 等. 室内墙体对 Wi-Fi 网络的覆盖性能影响分析[J]. 数据通信, 2014(5): 3-6.
ZOU Y, LIN J L, WU W, et al. Analysis of the effect of indoor wall on performance of Wi-Fi network coverage[J]. Data Communication, 2014(5): 3-6.
- [9] KAEMARUNGSI K, KRISHNAMURTHY P. Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting[C]//Proceedings of First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2004. MOBIQUITOUS 2004. Piscataway: IEEE Press, 2004: 14-23.
- [10] 何斌. 高密度环境下的 Wi-Fi 同频干扰探究及网络优化[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2018.
HE C. Research on Wi-Fi co-frequency interference in high-density environment and network optimization[D]. Xiangtan: Hunan University of Science and Technology, 2018.
- [11] 移动用户终端无线局域网技术指标和测试方法: YDC 079-2009 [S]. 2009.
Technical specification and test method of wireless LAN for mobile user terminal: YDC 079-2009 [S]. 2009.
- [12] 黄文静, 孙俊, 杨唐钢. 一种应用于 Wi-Fi 频段的高增益新型微带准八木天线[J]. 通信技术, 2018, 51(10): 2521-2528.
HUANG W J, SUN J, YANG T G. Novel high-gain microstrip quasi-yagi antenna for Wi-Fi band[J]. Communications Technology, 2018, 51(10): 2521-2528.
- [13] 张勇, 刘宇鹏, 齐国富. 浅谈 Wi-Fi 无线覆盖技术及其实现[J]. 信息系统工程, 2010(6): 60-61.
ZHANG Y, LIU Y P, QI G F. Discussion on Wi-Fi wireless coverage technology and its implementation[J]. CC News, 2010(6): 60-61.

- [14] 朱坤华, 李长江. 企业无线局域网的设计及组建研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2008(2): 120-123.
ZHU K H, LI C J. Research on the design and building of enterprise wireless LAN[J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology (Natural Science), 2008(2): 120-123.
- [15] 徐茜亮, 王维. 基于 Wi-Fi 的漫游切换无缝接入技术研究[J]. 工矿自动化, 2011, 37(2): 6-8.
XU X L, WANG W. Research of technology of seamless access in roaming handoff based on Wi-Fi[J]. Industry and Mine Automation, 2011, 37(2): 6-8.
- [16] 路园. 局域网数据传输速率的影响因素探讨[J]. 住宅与房地产, 2015(22): 67-68.
LU Y. Study on the influencing factors of LAN data transmission rate [J]. Residential and Real Estate, 2015(22): 67-68.
- [17] 孟月. FTTR 引领第二次“光大革命”[J]. 通信世界, 2021(9): 21-22.
MENG Y. FTTR leads the second "light to revolution"[J]. Communication World, 2021(9): 21-22.
- [18] FTTR 筑基家庭新基建开启全光未来[EB]. 2021.
FTTR builds the new infrastructure of the family to open the all-optical future [EB]. 2021.
- [19] 上海市通信管理局. 上海市住宅和商务楼宇 FTTR 光网络布线白皮书[R]. 2021.
Shanghai Communications Administration. White paper of FTTR optical network cabling for residential and commercial buildings in Shanghai [R]. 2021.
- [20] 彭程, 霍中杰. Wi-Fi 网络资源管理分析与研究[J]. 数字通信世界, 2019(10): 76-77.
PENG C, HUO Z J. Analysis and research on Wi-Fi network resource management[J]. Digital Communication World, 2019(10): 76-77.
- [21] 邓慧茹, 朱丽平, 田航. 无线信道多径分离技术[J]. 电子设计工程, 2019, 27(3): 127-131.
DENG H R, ZHU L P, TIAN H. Multipath separation technology for wireless channel[J]. Electronic Design Engineering, 2019, 27(3): 127-131.
- [22] 鲁勇, 吕绍和, 王晓东, 等. 基于 Wi-Fi 信号的人体行为感知技术研究综述[J]. 计算机学报, 2019, 42(2): 1-21.
LU Y, LV S H, WANG X D, et al. A survey on Wi-Fi based human behavior analysis technology[J]. Chinese Journal of Computers, 2019, 42(2): 1-21.

[作者简介]



严文发 (1972-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司湖北分公司高级工程师, 主要研究方向为有线通信技术。



陈锋 (1983-), 男, 中国移动通信集团设计院有限公司湖北分公司高级工程师, 主要研究方向为有线通信技术。