

导读:5G 高带宽、高频段和高速率的“三高”特点使得 4G 室内覆盖方案不能满足 5G 时代的需求,同时 5G 室内业务的低时延和智能化需求,驱动 5G 室内网络向数字化转型。面对多样化的室内场景,5G 室内覆盖技术将呈现出不同技术方案的多元化演进趋势。

为了促进 5G 通信技术交流,推动我国 5G 通信技术发展,《电子技术应用》杂志 2020 年第 7 期推出“5G 室内覆盖技术”主题专栏,论文内容涵盖 5G 室内覆盖的新型解决方案和关键技术,涉及室内场景时钟同步方案、前传承载方案、共建共享方案和小基站应用解决方案等内容,期待为 5G 时代的室内覆盖技术研究和应用部署提供有益的借鉴。



特约主编:朱雪田,北京邮电大学工学博士,教授级高级工程师,中关村国家自主创新示范区高端领军人才,现就职于中国联通网络技术研究院。长期从事 4G/5G 移动通信技术与业务创新研发工作,作为项目组长先后负责多个 4G/5G 领域的移动通信国家重大项目,发表学术论文超过 80 篇,发明专利 100 余篇,个人专著 3 本。

5G 家庭一体化小基站时钟同步研究

朱红绿,孙丽楠

(中国电信股份有限公司研究院,上海 200122)

摘要:为促进 5G 家庭一体化小基站部署应用,解决家庭场景下小基站的时钟同步问题,对 4G 家庭一体化小基站时钟同步方案进行了研究,提出了 5G 基于 PON 的时钟同步方案,并进行了现有方案对比,展示了基于 PON 同步方案的实验室测试结果,给出家庭小基站时钟同步部署方案建议。

关键词:家庭小基站;PON;时钟同步;5G

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.200504

中文引用格式:朱红绿,孙丽楠. 5G 家庭一体化小基站时钟同步研究[J].电子技术应用,2020,46(7):19-23,28.

英文引用格式:Zhu Honglv,Sun Linan. Research on clock synchronization schemes of 5G home cell[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(7): 19-23, 28.

Research on clock synchronization schemes of 5G home cell

Zhu Honglv, Sun Linan

(China Telecom Research Institute, Shanghai 200122, China)

Abstract: In order to promote the deployment and application of 5G home cell, and solve the clock synchronization problem in family scenarios, clock synchronization schemes of 4G home cell are studied, and the 5G PON-based (Passive Optical Network) clock synchronization scheme is proposed. Current schemes are compared with each other, and laboratory test results based on the PON synchronization scheme are illustrated. Finally, development recommendations for the clock synchronization scheme of the 5G home cell are summarized.

Key words: home cell; PON; clock synchronization; 5G

0 引言

由于 5G 信号频率较高,衰减较大,穿透能力较差,导致室外宏站无法完全解决室内覆盖问题,而采用小基站方式可以更好地解决室内覆盖问题。目前小基站的部署已经到了关键时期,小基站的部署进度是决定 5G 能否全面规模商用的关键因素之一。当前已经涉足小基站的有主流电信设备商以及中小型设备厂商,如华为、中兴、爱立信、诺基亚、大唐移动、京信通信、三维通信等。

在小基站解决方案中存在分布式小基站、扩展型小基站、一体化小基站等细分方案,而对于家庭场景或者小型商业空间场景的室内覆盖,因为部署环境、接入数量、回传网络等方面的原因,较难采用分布式小基站或扩展型小基站,因此可随宽带部署的一体化小基站成为家庭 5G 覆盖的一种可行的解决方案。

未来随着 5G 业务的发展,在家庭场景可能会出现更多的 5G 需求,而家庭一体化 5G 小基站可以有效地解决家庭室内覆盖不足的问题,但是也引入了一系列新技术和运营管理挑战,时钟同步就是其中之一。同步就是要求本地时钟与标准时钟偏差不超过一定范围,如果不能保证精准的时钟同步,将导致严重的互干扰,甚至影响全系统正常工作^[1]。时钟同步分为频率同步和时间同步。频率同步要求网络中各基站以同一时钟频率运行,如 GSM 和 WCDMA 网络;时间同步要求相位同步,如 TD-LTE 网络^[2]。目前 eMBB 的 5G 网络是 TDD 系统,采用时分复用技术,是严格的时钟同步系统:基站和标准时钟之间的偏差不超过正负 $1.5\ \mu\text{s}$,基站之间时间偏差不能超过 $3\ \mu\text{s}$,频率偏差(上下行)不能超过 $0.1\ \text{ppm}$ (小基站系统),详细参见 3GPP 标准^[3]。宏基站可以通过加装一套 GPS 系统解决时钟同步问题,但是家庭环境下,安装 GPS 设备不方便,并且家庭小基站潜在数量巨大,配套设备和工程建设成本高,导致该方案较难实施。

4G 时代中国电信 LTE 网络为 FDD 系统,只需进行频率同步,所以采用了 1588ACR 的方式。该机制不需要对承载网设备进行改造,易于现网实现。5G 系统在时间、频率上均要求同步,因此需要根据家庭小基站的应用场景、部署位置、PON 承载能力等分析时钟同步解决方案。根据现有技术条件,实现家庭一体化小基站同步有内置 GPS 方案、空口同步方案、PON 时钟方案、1588v2 方案等。本文通过对上述方案的研究与对比,探索 5G 家庭一体化小基站切实可行的时钟同步方案。

1 家庭小基站时钟同步现状

在 4G 时代的家庭覆盖方案中,小基站主要采用内置 GPS 同步方案和空口同步方案。

1.1 内置 GPS 方案

该方案通过家庭小基站引出 GPS 线缆,通过线缆延长到室外,在室外安装 GPS 天线进行 GPS 时钟信号的接收。家庭小基站需要加装 GPS 模块,配置 GPS 天线,成本约 90 RMB。该方案优点主要是不依赖外部系统即

可获得时钟同步;缺点主要是通过线缆连接室外 GPS 天线,涉及打洞、布线缆、天线点位选择等施工操作,不易于家庭场景实施,同时也需要增加小基站侧 GPS、线缆、施工等成本。

1.2 空口同步方案

空口同步方案是在家庭小基站内置空口消息解析芯片,通过专用解析芯片(部分射频芯片具备解析能力)实现对 SIB 消息的解析,进而获取和宏站相同的时钟信息。该方案需要在部署家庭小基站的位置具有 5G 宏站信号,对于家庭补盲、应对投诉等场景适用度较低,同时也会引入约 30 元的设备成本。该方案优点主要是不需要 GPS 线缆延展到室外,节约 GPS 配套成本,利于家庭场景应用;缺点主要是需要增加专用芯片,或者具有宏站空口解析能力,增加小基站成本,对小基站在家庭的部署位置有较高要求,存在一定的部署限制。

1.3 1588ACR 方案

IEEE 1588 方案分为 1588v2 和 1588ACR 方案。1588v2 机制的时钟具备时间同步和频率同步。1588ACR 只支持频率同步,该方案是 IEEE 协议组织为了减少同步方案对网络改造的要求提出的^[4],即自适应时钟恢复方案。该方案是将频率信息承载在 1588v2 报文中,通过中间网络透传,网络两端设备通过 1588v2 报文恢复频率,实现两端设备的频率同步,可以满足 4G FDD LTE 网络的家庭小基站同步需要。

对于 1588ACR 的时钟同步,主要是完成协商后,通过从 Server 侧向 Client 侧发送 1588 报文和 Client 侧接收到 1588 报文的时间情况,实现频率的同步。1588ACR 时钟同步分为 One-way 和 Two-way 两种模式。

1.3.1 One-way 模式

One-way 模式如图 1 所示。

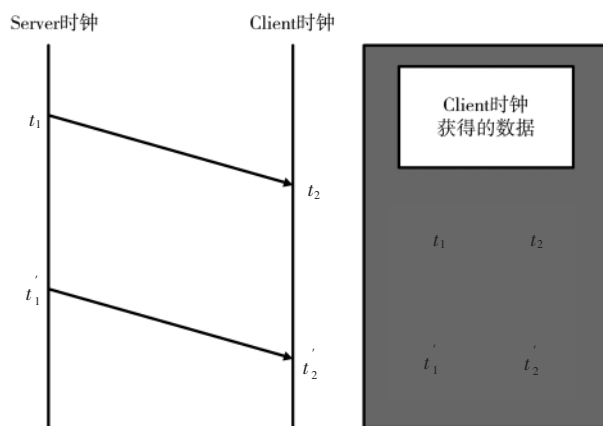


图 1 1588ACR 同步方案(One-way 模式)

(1)Server 时钟 t_1 和 t_1' 时刻分别向 Client 时钟发送带有时间戳的 1588 报文。

(2)Client 时钟 t_2 和 t_2' 时刻分别收到 Server 发来的 1588 报文。

(3)其中 t_1 和 t_1' 取的是 Server 侧的时钟时间, t_2 和 t_2' 取的是 Client 侧的时钟时间。

(4)通过比较两次发送和接收点的时间,可以计算出 Client 与 Server 的频率差异,进而实现频率同步。例如:如果 $(t_2 - t_1)/(t_2' - t_1')$ 的值为 1,那表明两端的频率是相同的;否则,就需要根据实际情况对 Client 的频率进行调整,以实现与 Server 的频率同步。

1.3.2 Two-way 模式

图 2 所示为 Two-way 模式。

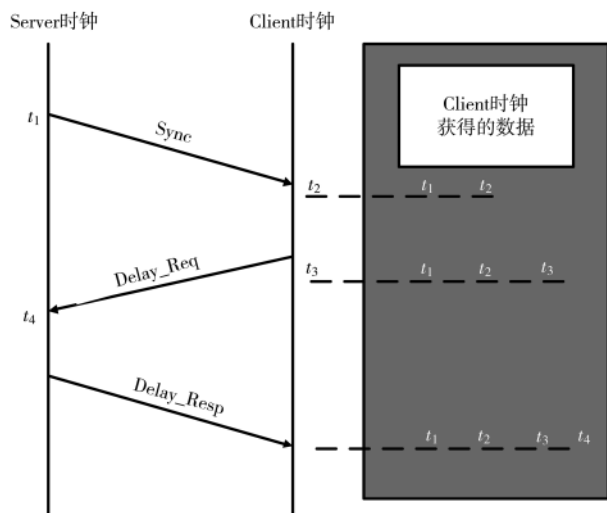


图 2 1588ACR 同步方案(Two-way 模式)

(1)Server 时钟 t_1 时刻向 Client 时钟发送带有时间戳 t_1 的 1588 sync 报文。

(2)Client 时钟 t_2 时刻收到 Server 发来的 1588 sync 报文。

(3)Client 时钟 t_3 时刻向 Server 时钟发送 1588 delay_req 报文。

(4)Server 时钟 t_4 时刻收到 Client 发来的 1588 delay_req 报文,并产生 delay_resp 报文发送给 Slave 时钟。

Two-way 模式与 One-way 模式的计算方法相同,对比 t_1 、 t_2 和 t_3 、 t_4 时间戳,选择一组抖动较小的数据进行

计算,优点在于可以在相同的网络条件下,选择跟踪抖动比较小的一个方向,这样比单独只跟踪一个方向相对要更精确。所以 Two-way 的频率恢复精度以及可靠性都优于 One-way。在带宽允许的情况下,部署 1588ACR 时,一般使用 Two-way 进行频率同步。

1588ACR 方案只能实现频率同步,不能实现时间同步,无法满足 5G 网络 TDD 系统的同步要求。因此,在 5G 时代,仍然需要基于完整的 1588v2 方案,才可以实现对 5G 同步要求的支持。

2 5G 家庭小基站时钟同步方案

对于 4G 时代已经采用的时钟同步方案,在 5G 时代也可以采用,但是无法解决已经面临的部署、用户侧设备成本等问题。为在 5G 时代解决这些问题,让家庭小基站具备规模推广的基础,需要引入一些新型的时钟同步方案,如 PON 时钟方案。

2.1 PON 时钟同步方案原理

PON 设备时钟同步的基本原理是 OLT 从外界获取精准时钟。使用 PON 的物理线路时钟来进行同步。其需要 OLT 设备支持外部高精度参考时钟的输入(例如 BITS、同步以太、GPS、1588V2 等),设备内置时钟模块,完成对参考时钟的跟踪和锁定,生成系统时钟,系统时钟提供给 PON 业务板做线路参考时钟,以供 ONU 实时获取,如图 3 所示。

(1)频率同步

OLT 从外部高精度时钟源获取频率信号,如外部直连的 1588v2 时钟服务器,或者通过 IEEE 1588v2/SyncE 从上游系统恢复频率信号,如 MSE/SR/ER 等设备转发来的时钟。

家庭 ONU 设备(家庭网关)从 PON 线路侧(物理层)恢复时钟,并作为家庭网关的物理层时钟,ONU 设备通过两种方式传递给小基站:①小基站和家庭网关合设,通过 1PPS+TOD 接口把时钟传给小基站模块;②小基站和家庭网关分设(两个设备),由 ONU 作为 IEEE 1588v2 master 输出频率信息给小基站,需要家庭网关支持 1588v2。

(2)时间同步

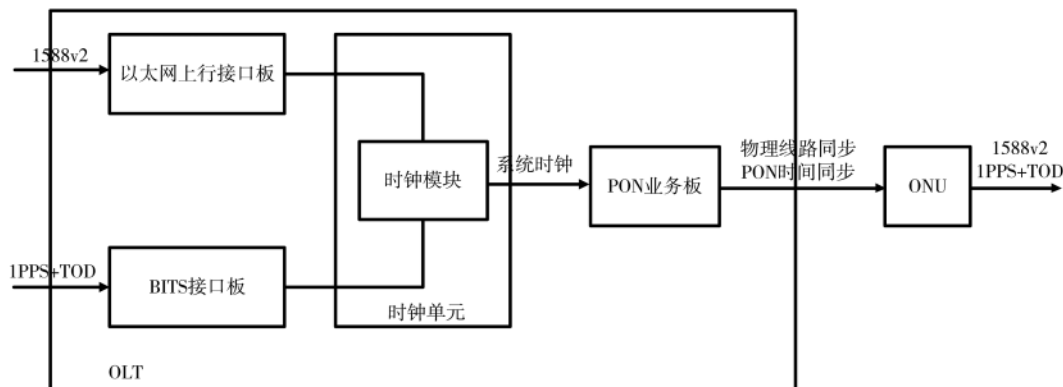


图 3 PON 时钟同步方案

OLT 的时间信号仍然可来自外部时钟服务器或者网络侧(IPRAN、OTN)。OLT 设备内置时钟模块,实现对外部时间的同步跟踪,并生成内部系统时间,作为基准时间同步。

OLT 通过 IEEE 1588v2 实现与上级时钟源的时间同步。EPON 设备通过 IEEE 802.1as, GPON 设备通过 ITU-T G.984.3 Amd2 定义的时间同步机制,实现 PON 系统内部的时间同步。

对于和家庭网关(含 ONU)合设的 5G 一体化家庭小基站,ONU 通过 PON 系统内的时钟同步机制实现精确时间获取后,再通过硬件接口实现 1PPS+TOD 时钟信号输出给小基站。对于家庭网关和小基站分设的方式,网关内的 ONU 设备作为 IEEE 1588v2 master 输出时间信息给小基站。

2.2 不同时钟源位置方案

家庭小基站通过 PON 实现时钟同步的前提是需要 OLT 侧能够获取精确时钟,而能够为 OLT 提供精确时钟的方案有多种,主要包括 OLT 侧直接接入高精度时钟源、OTN 提供时钟、城域网侧或者核心网提供时钟。

(1) OLT 直接接入时钟源

GPS/BITS 等高精度时钟源直接注入 OLT,OLT 设备通过时钟接口板卡接收同步数据,时钟接口板支持 2 MHz 接口(频率同步)和 1PPS+TOD 接口(时间同步)。该方案不经过城域网、核心网或者 IPRAN 等其他网络设备,涉及网络同步节点少,技术难度小,但是需要每个 OLT 均上联高精度时钟源,由于 OLT 数量较多,部署规模较大。

(2) OTN 提供时钟

由 OTN 网络提供频率和时间同步信号。OLT 与 OTN 同机房情况下,由 OLT 通过时钟接口板连 OTN 网络接收同步信息,即通过 1PPS+TOD 时钟接口直接获取时钟。OLT 与 OTN 跨机房情况下,OLT 通过 GE 接口板连 OTN 网络接收同步信息,即通过 1588v2 信息获取时钟信息。如果 OTN 网络已具备时钟同步能力,通过 OLT 上联 OTN 的网络实现时间同步规模部署应用也是一种可行方式,但是现网中 OTN 无法提供全网规模化的时钟同步能力。

(3) 城域网侧提供时钟

高精度时钟源部署在城域网 SR 设备侧或者 IPRAN 的 B 设备侧,SR 设备/B 设备和 GPS/BITS 高精度时钟源同时启用 1588v2 功能。1588v2 可以实现时间同步和频率同步,其采用消除网络传输时延的机制实现从主节点到从节点的时间和频率同步。当 PTP(Precision Time Protocol)消息穿过网络路由节点内的协议栈时,在通过协议栈定义的特定参考点(如 A 点、B 点、C 点)时产生时间戳,不同参考点经过的处理层不同。对于靠近实际的物理层的参考点,其引起的定时误差最小^[5],也就是图 4 中的 A 点即为最佳参考点。正是因为 1588v2 需要在最靠近物理层的 PHY 和 MAC 之间打时间戳,可以有

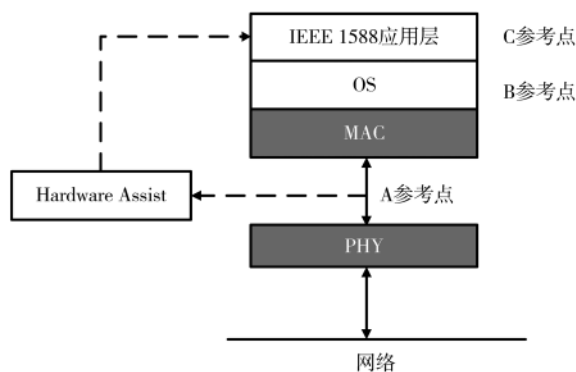


图 4 1588v2 时间戳产生参考点

效避免因为协议层软件的处理带来的不确定时延,进而可实现 ns 级别的同步精度,满足 5G 等高精度时间同步需要。

1588v2 时戳实际上记录的是 1588v2 报文到达设备物理端口处理时的时间,属于硬件打标的时间戳,因此对网络各传输节点的路由设备有相应要求,需要各节点设备支持才能保持每一个节点都能精确记录时间,再结合 1588v2 的一些算法机制,可以实现高精度同步。

1588v2 方案的前提是在现网中承载侧的某个节点引入高精度时钟源,时钟源作为 Master,SR 设备/B 设备作为 Slave。SR 设备/B 设备通过时钟接口板直接接收高精度时钟源的同步信号,然后基于 1588v2 机制实现向 OLT 侧的高精度时钟同步。家庭小基站的部署基本是基于 PON 网络实现,通过城域网或者公网实现回传。该回传网络中较多设备还不支持 1588v2,如果时钟服务器部署于城域网或则核心网边缘,通过 1588v2 同步到 OLT 的时间会引入大量软件层的处理时延,无法达到 5G 家庭小基站的同步精度要求。

对于 OLT 侧提供高精度时钟,影响的网络节点最少,易于实现;对于 OTN 提供高精度时钟,需要 OTN 网络支持;对于城域网侧提供高精度时钟,需要城域网各节点支持 1588v2 能力。结合现网实际情况,综合分析,对于家庭小基站的时钟同步需要,以上 3 种时钟源位置中,在 PON 网络的 OLT 侧直接引入高精度时钟源较为可行,对网络改造最小。

3 5G 时钟同步方案比较及测试

3.1 方案比较

根据已有成熟方案和 PON 时钟同步方案,本文对各时钟同步方案进行了比较,如表 1 所示。

基于对上述多种时钟同步方案的分析和比较,在尽可能节约家庭小基站成本,利于在家庭场景安装部署原则下,使用 PON 时钟方案可以更便捷地实现家庭一体化小基站的时钟同步,有助于推动家庭小基站的规模部署和智慧家庭生态的构建。

3.2 测试结果

基于 PON 的时钟同步机制在 ITU 等国际标准中已

表 1 时钟同步方案对比

方案	优点	缺点	备注
内置 GPS 方案	不依赖外部系统,对网络无要求	需要布线到室外安装天线,不利于家庭使用;增加小基站侧成本	
空口同步方案	不需要小基站侧增加 GPS 模块,降低成本;不需要在家庭布线,利于部署	在没有 5G 信号位置无法同步;需要增加空口解析芯片或其他芯片具备该能力;增加小基站侧少量成本	
1588ACR 方案	不需要对承载网络改造,易于实现	不支持时间同步,无法用在 5G 的 TDD 模式	
PON 时钟方案	不需要小基站侧增加 GPS 模块或空口同步芯片,降低用户侧设备成本;不需要在家庭布线,用于易于接受,利于部署	需要 OLT 或者上游系统支持时钟同步或部署时钟源、时钟板卡,引起网络改造成本	如果在 B 设备或其他上游设备部署时钟源,则采用 1588v2 传递时钟信息

经有定义。GPON 在补偿情况下,20 km 距离 PON 时钟理论精度可以达到 ± 1.6 ns,在不做任何补偿的情况下,精度在 ± 25 ns 以内。EPON 在补偿情况下,20 km 距离 PON 时钟理论精度可以达到 ± 96 ns,在不做任何补偿的情况下,精度在 ± 130 ns 以内。

为进一步评估 PON 时钟方案的同步精度是否可以达到 5G 家庭小基站要求,在实验室对方案进行了测试。测试组网中的 ONU 采用共进公司的 ONU 设备,OLT 采用上海贝尔公司的 OLT-7360 设备,测试仪表采用 Calnex Pardgon-X IEEE1588 的高精度测试仪表,测试组网如图 5 所示。

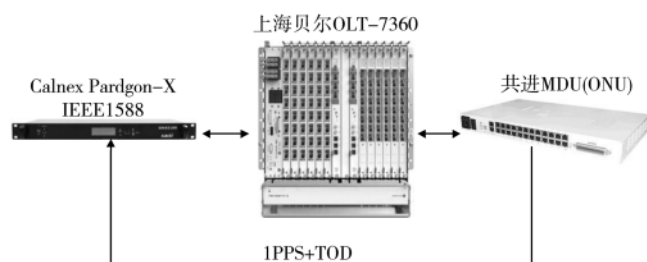


图 5 基于 PON 的时钟同步测试组网

如图 6 所示,测试结果表明,IEEE1588 时钟的 1PPS 输出和 ONU 1PPS 输出之间的时间偏差可以稳定保持在 10 ns 以下,完全满足家庭小基站的同步需求。

3.3 部署成本

PON 网络提供时钟的方案中,需要基于 OLT 进行大

量时钟源的部署,目前能够提供时钟解决方案的公司较多,主要有华为、中兴、浙江赛思、北斗邦泰、北京中新创、高基时间科技等公司。通过对各家时钟方案的分析比较,时钟服务器、网络设备板卡成本平均在 4 万/套。以上海为例,其 OLT 约 2 000 台,以同机房 OLT 收敛接入同一台时钟服务器的方式,按 4:1 收敛比,所需要时钟部署成本约 2 000 万。按照部署 30 万家庭小基站的模式,每用户的时钟成本约 66 元,比在设备侧直接引入 GPS 等方案成本更低,也更有利于客户接受家庭小基站的部署。同时也有利于促进 5G 智慧家庭生态的建设,有助于运营商把 5G 向家庭纵深引入。

4 结论

高精度时钟同步方案是保障 5G 家庭一体化小基站网络稳定、可靠工作的首要条件。内置 GPS 方案,需要在每个家庭安装 GPS 接收机,是用户无法忍受的,也使得一体化小基站成本提高,可行性低。空口同步方案,需要小基站增加空口解析芯片,并且在宏站覆盖盲区,没有可利用的空口信号,因此不能覆盖所有场景。1588ACR 方案,不支持时间同步,无法满足 5G 系统要求。PON 时钟方案,无需在小基站增加芯片,无需布线,但会引入一定的网络改造成本,而网络改造成本的高低取决于家庭小基站设备部署的规模。

综合考虑技术、成本、便捷性,在家庭小基站规模部署情况下,建议优选 PON 时钟同步方案实现家庭一体化小基站的时钟同步。

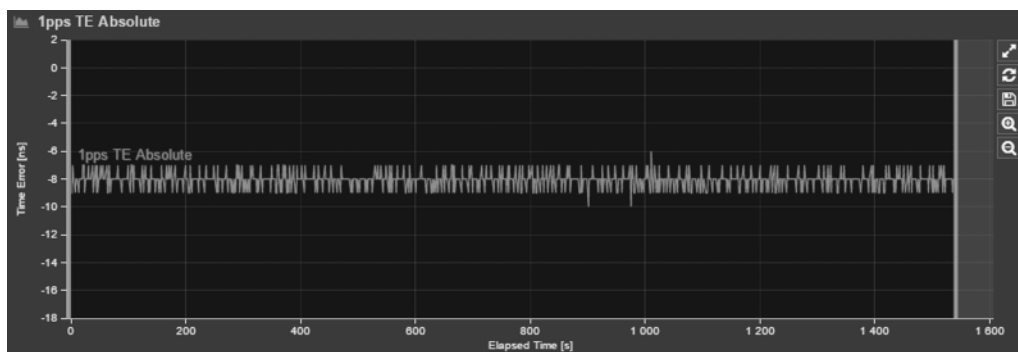


图 6 基于 PON 的时钟同步测试结果示例

(下转第 28 页)

表 4 不同场景下的 5G 前传承载方案

站型	场景描述	前传方式	分析
5G 宏站 AAU	5G 与 4G 共站址新建	无源 WDM	3×AAU+3×RRU 12 波无源 WDM 仅需 1 芯光纤
	纯 5G 新建	光纤直驱	3×AAU, 3 芯光纤
	场点 mRRU 数 ≤ 6	光纤直驱	≤ 6×mRRU, ≤ 6 芯光纤
5G 小站 mRRU	场点 mRRU 数 > 6	WDM-PON, 有源 WDM/OTN	> 6×mRRU 光纤直驱 > 6 芯光纤 设备承载技术仅需 1 芯光纤
	> 9.8 万 m ² (根据现网室分测算, 90% 的场点 CU/DU 集中部署)	短距光纤直驱	CU/DU 下沉后主干光纤用于回传
5G 室分 pRRU	[2.4 万 m ² ~9.8 万 m ²]	WDM-PON, 有源 WDM/OTN	24×PHUB, 光纤直驱 24 根主干光纤 设备承载技术仅需 2 根主干光纤
	< 2.4 万 m ² (参考 4G, 6 芯以下光纤直联机房)	光纤直驱	< 6×PHUB, < 6 芯光纤

有 FTTH 的架构, 当 ONU 实现小型化采用 SFP 型 ONU 光模块时, 可实现即插即用, 快速部署开通。当前无色可调技术的产业链尚不成熟, 因此可调光模块价格较高。

4 前传承载方案建议

以上方案各有优缺点, 适用的场景也各不相同。从目前阶段来看, 光纤直连、无源 WDM 和有源 WDM/OTN 更合适, 随着 WDM-PON 技术成熟, 采用 WDM-PON 也是很好的一种方案选择。现网实际情况差异较大, 在实际网络部署时, 宜根据实际场景选择合适的技术和方案, 达到性价比、运维管理等多方面合适的解决方案, 满足各种前传承载需求。本文对现网不同无线场景类型进行细分, 并提出相应的 CU/DU 部署方式、建议的前传方案及对应的光纤资源需求, 为 5G 大规模建设提供参考。不同场景下的 5G 前传承载方案应用如表 4 所示。

5 结论

综上所述, 在不同 RAN 架构下以及在不同的应用场景中, 5G 前传网络的建设将会采用不同的部署方式和承载技术。在 5G 室分场景下, 当采用 CRAN 架构时, 有源 WDM 和 WDM-PON 等设备承载技术将有效节约光纤资源, 以降低前传网络的综合造价。但是由于运营商现有基础设施资源存在差异性, 而 5G 前传网络的建设将涉及海量的光纤和机房。为此, 运营商目前面对的

问题不仅仅是 5G 无线设备以及 5G 核心网的建设, 如何有效利用现有已规模部署的光缆网、设备机房等基础设施资源, 服务于 5G 前传网络的规划、建设和运营, 同样也是一个关键而重要的课题。面对上述需求和挑战, 中国电信正在从 5G 前传建设场景、技术需求和网络规划等多个维度, 持续推进 5G 前传网络承载技术的研究、测试和试验。

参考文献

- [1] 中国电信 5G 技术白皮书[Z]. 2018.
- [2] Zhang Dezhi, Du Zhe, Jiang Ming, et al. High speed WDM-PON technology and application for 5G fronthaul network[C]. 2018 ASIA Communications and Photonics Conference(ACP), 2018.

(收稿日期: 2020-06-15)

作者简介:

杜喆(1978-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: EPON/GPON、PON 综合业务承载、光链路测量与诊断以及 5G 承载技术。

韦炜(1977-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 移动网络的规划和建设、物联网技术及应用。

张德智(1978-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: EPON/GPON、PON 综合业务承载、PON SDN 技术及 5G 承载技术。

(上接第 23 页)

参考文献

- [1] 陈昊, 唐余亮. 基于家庭基站移动通信系统的自适应时钟同步算法[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2013, 52(3): 333-337.
- [2] 蒋鑫, 芮鹤龄, 杜艳艳. TD-SCDMA 家庭基站时钟同步解决方案的研究[J]. 电信科学, 2009, 25(4): 25-28.
- [3] 3GPP TS 38.104 V16.3.0. Technical specification group radio access network; NR; base station(BS) radio transmission and reception, (Release 16)[S]. 2020.

- [4] HUAWEI. 时钟时间特性指南 01[OL]. (2018-12-14) [2020-06-15]. <https://support.huawei.com/carrier/docview!docview?nid=DOC1100438514&topicId=be6fd23e>.

- [5] HUAWEI. 华为智简园区交换机 1588v2 技术白皮书[Z]. 2019.

(收稿日期: 2020-06-15)

作者简介:

朱红绿(1984-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 4G 网络 EPC 技术、室内覆盖解决方案、5G 小基站技术、5G 核心网等。

孙丽楠(1983-), 女, 博士, 工程师, 主要研究方向: 5G 无线技术、5G 家庭小基站、小基站开发、5G 网管等。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所