

# 高精度时间同步技术在 模块化波分网络的应用分析

## Application Analysis of Precision Time Protocol Technology in Modular WDM Network

周彦韬<sup>1</sup>,赵 良<sup>1</sup>,张 贺<sup>1</sup>,沈世奎<sup>1</sup>,王永超<sup>2</sup>,杨鹏真<sup>1</sup>,王泽林<sup>1</sup>(1. 中国联通研究院,北京 100048;2. 中国联通河南分公司,河南 郑州 450008)

Zhou Yantao<sup>1</sup>,Zhao Liang<sup>1</sup>,Zhang He<sup>1</sup>,Shen Shikui<sup>1</sup>,Wang Yongchao<sup>2</sup>,Yang Pengzhen<sup>1</sup>,Wang Zelin<sup>1</sup>(1. China Unicom Research Institute,Beijing 100048,China;2. China Unicom Henan Branch,Zhengzhou 450008,China)

### 摘 要:

以中国联通的模块化波分设备城域网网试点结果为基础,对模块化波分设备基于 1588v2 协议的高精度同步传输承载的方案进行了分析和比较。通过结合模块化波分设备与 1588v2 传输能力,其应用场景进一步扩宽,实现了城域光网络的低成本建设,并助力 1588v2 地面网络建设,实现了天地互备的授时系统。最后,分析了不同的 1588v2 同步传输承载方式,为模块化波分设备的 1588v2 部署提供了参考。

### 关键词:

模块化波分;高精度时间同步;城域网应用;4G/5G 回传

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.05.014

文章编号:1007-3043(2025)05-0078-04

中图分类号:TN914

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

Based on the pilot results of China Unicom's modular WDM equipment metro network,it analyzes and compares the different schemes of modular WDM equipment high-precision synchronous transmission based on 1588v2 protocol. Through the combination of modular WDM equipment and 1588v2 transmission capacity,its application scenarios are further expanded. It achieves the low-cost construction of metropolitan optical network,and assists the construction of 1588v2 terrestrial network,realizes the timing system of sky and earth mutual backup. Finally,it analyzes different 1588v2 synchronous transmission bearer methods and provides a reference for 1588v2 deployment work with modular WDM equipment.

### Keywords:

Modular WDM equipment;Precision time protocol;Metropolitatan area network application;4G/5G backhaul

引用格式:周彦韬,赵良,张贺,等. 高精度时间同步技术在模块化波分网络的应用分析[J]. 邮电设计技术,2025(5):78-81.

## 0 引言

随着网络技术的不断发展,模块化波分设备在数据中心、专线业务承载、OLT上联和4G/5G回传网承载等多种场景中得到了广泛的应用。其中,县乡波分及4G/5G回传承载的场景还要求具备 1588v2 时间同步信号传输承载的能力<sup>[1]</sup>。本文通过现网测试,对模块化波分设备的 1588v2 同步传输承载的不同方式的特点及性能进行分析和比较,并给出适用于高精度时间

同步传输的方案建议。

## 1 模块化波分设备的应用优势及背景

模块化波分设备具备高带宽、大容量、快速扩展等特点,特别是其高度模块化的特性,可以根据不同的业务需求,灵活选择模块搭配,开通相应的业务。模块化波分设备还可以实现对业务的灵活调配,有效保障服务质量,因此被广泛应用于城域网络组网中,包括数据中心光互联、专线业务承载、OLT上联承载等。同时,结合了地面 1588v2 同步传输能力的模块化波分设备也是实现 4G/5G 回传网承载的重要手段。

收稿日期:2025-04-16

### 1.1 县乡波分与城域4G/5G回传

在县乡波分及城域网4G/5G网络建设中,模块化波分设备主要需要支持1588v2时间同步信号,满足4G/5G基站回传业务的时间同步需求<sup>[2]</sup>,作为卫星授时的备份。模块化波分设备在县乡波分的主要应用是承载县乡地区的业务数据,由于地理位置的特征,县乡地区的网络环境较复杂,对设备的抗干扰能力和稳定性要求较高,在卫星信号难以搜索的地区,可以作为可靠的地面同步网备用链路<sup>[3]</sup>。在城域4G/5G回传中,模块化波分设备需要支持同步链路的保护倒换。这是为了确保当某个节点出现问题时,能够快速切换到其他链路,以保证服务的连续性和高可用性。4G/5G的服务对时钟同步的要求非常高,基本业务时间同步要求达到 $\pm 1.5\ \mu\text{s}$ ,时钟劣化可能会影响到用户的使用体验,例如视频卡顿、游戏延迟等。高精度的时钟同步可以有效避免这类问题,保障用户体验。

在县乡环组网环境下,模块化波分设备部署高精度时间同步功能的典型应用场景如图1所示。县乡环由模块化波分设备组成,一个局点可下挂多个接入机房的设备组成波分环,共享200G/400G的波道业务。地面时间同步信号从地(市)时间源服务器,经过核心—汇聚层到由模块化波分设备组成的县乡环中,由县乡环覆盖面积大、地势广的县乡区域,并通过接入层将地面时间同步信号传送至4G/5G的基站,实现高可靠的天地互备的同步授时机制。

### 1.2 数据中心光互联

大规模数据中心的建设需要保证数据传输的快速、可靠,同时要求各个数据中心之间的时钟同步<sup>[4]</sup>。模块化波分设备可以提供高带宽、低时延的传输通

道,并通过合适的同步传输方案,实现数据中心之间的时钟同步,优化操作效率、提高数据完整性以及增强网络性能和可扩展性。一般的数据中心对时间同步的要求为毫秒级,通过网络时间协议(Network Time Protocol, NTP)即可达到<sup>[5]</sup>,在对实时性要求较高的场景中,NTP的时间精度会限制数据库的吞吐量和性能,所以纳秒级的高精度时间同步对提升分布式数据库的性能是十分关键的。高精度时间同步保证了所有网络节点之间的数据操作顺畅,同时允许并发处理,减少潜在的延迟或数据瓶颈<sup>[6]</sup>,从而提高系统性能。

## 2 试点测试分析

在模块化波分设备组成的网络中,1588v2高精度时间同步信号传输承载方案可细分为透传时间板卡、1588v2 TC (Transparent Clock) 板卡和1588v2 BC (Boundary Clock)板卡3种。其中,透传时间板卡技术简单、成本低,适用于对时钟同步要求不高的场景;1588v2 TC方案采用TC模式,可记录设备内部处理时延,并支持同步链路保护倒换;1588v2 BC方案具备内部时钟,可进行逐跳终结再生,并支持同步链路的保护倒换,同时也是现网本地高精度时间同步传输承载广泛应用的方案。

### 2.1 透传时钟板卡方案

透传时钟板卡对1588v2信号不做处理,直接进行光电转换并进行转发,这种板卡技术简单,成本低,适用于对时钟同步要求不高的场景。透传板卡的组网分东向和西向2种板卡,仅有东西向的端口和信号的合波口用于时间信号和光信号的合并转发,不支持同步链路的倒换。透传时钟板卡方案如图2所示。

透传板卡需要占用2个业务波长通道 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ ,用于同步信号的传输。为了消除同步信号光在来回光纤路径上的时延差,同步信号的收发光方向在波分网络主光通道的同一根光纤中,采用单纤双向的方式进行传输,收发光信号采用不同的波长。当经过多个站点时,同步信号通过光—电—光的方式终结再生,但并不对1588v2的协议报文进行处理,不会对终结点引入的时延误差进行补偿。

### 2.2 1588v2 TC板卡方案

1588v2 TC板卡方案是应用于模块化波分设备的同步传输板卡方案之一,在处理1588v2同步信号、内部时钟功能和同步链路保护倒换方面具有独特的特点。TC板卡采用软件层面的转发方法接收来自网络

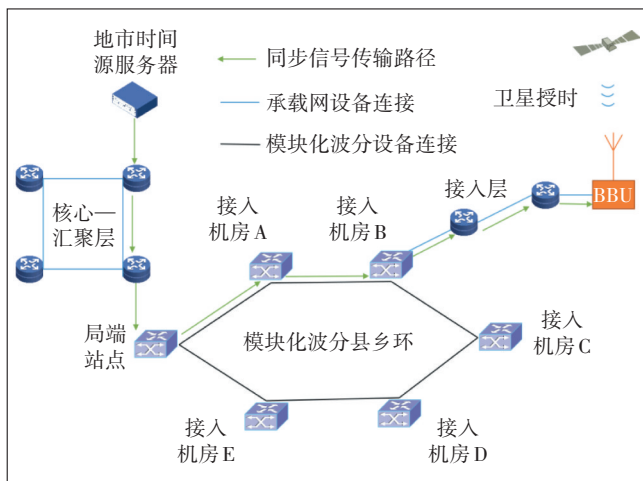


图1 模块化波分设备部署高精度时间同步功能的典型场景



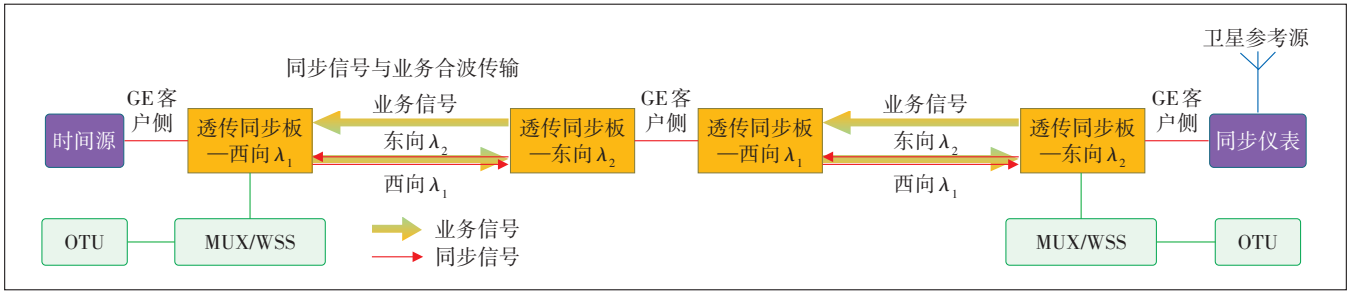


图2 透传时钟板卡方案

的1588v2时钟信号并转发至下一级设备,并在时延处理上记录同步信号在本设备的驻留时间,在进行同步处理时减去驻留时间带来的时延误差,提高最终同步信号的精度。但TC板卡内部没有时钟,因此不会跟踪上游时间信号。

1588v2 TC板卡方案如图3所示。TC板卡采用OSC(Optical Supervisory Channel)承载1588v2同步信号,并与业务主通道合并传输。这种方式使同步传输不会占用额外的业务波长,从而提高了网络效率和灵活性。且TC板卡支持同步链路保护倒换,当主链路发生故障或问题时,能够快速切换到备用链路,确保同步信号的连续性和可靠性。

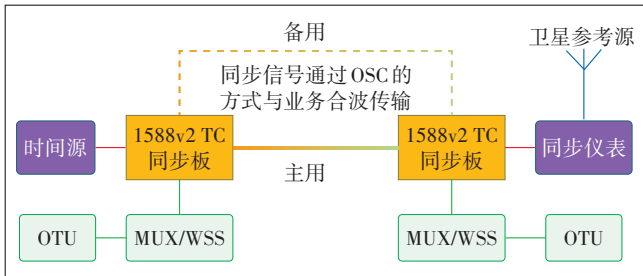


图3 1588v2 TC板卡方案

### 2.3 1588v2 BC板卡方案

1588v2 BC方案是本地网同步信号传输的主流方案,因此在模块化波分设备的同步传输承载场景里应用BC同步板卡方案非常必要。它与TC板卡的组网使用方式基本一致,但本质不同。终结型BC同步板卡具备内部时钟,可以在硬件层面对1588v2同步信号进行逐跳终结再生,从而提供更高精度的时间同步,而TC板卡自身不进行时间同步。

1588v2 BC板卡方案如图4所示。在1588v2同步信号传输方面,BC板卡与TC同步板卡类似,也采用OSC与业务主通道进行合并传输。此外,BC同步板卡也支持同步链路的保护倒换。这与传统的OTN网络对

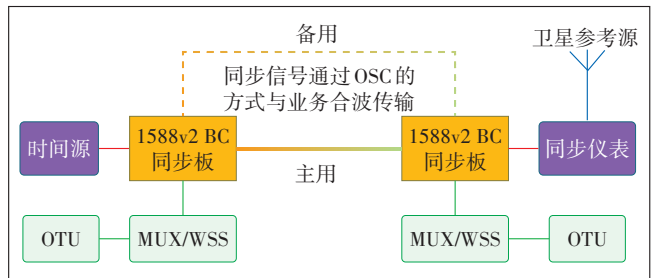


图4 1588v2 BC板卡方案

同步信号传输的要求一致,可以提供更强的保护能力。

### 2.4 现网试点测试

为了验证不同方案的应用情况,在现网试点应用中进行组网验证。组网验证环境如图5所示,其中A、B、C、D 4点为模块化波分设备及同步板卡组成的4个可重构光分插复用器(Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer, ROADM)站点,在A、B、C 3个站点部署不同的同步板卡进行测试。地面时间源1588v2信号从时间源服务器授时到城域网路由器,再从城域网路由器到A站点。对于透传板卡的测试场景,配置A—C的点-to-point连接,PTP时间与SyncE路径均为A—C;

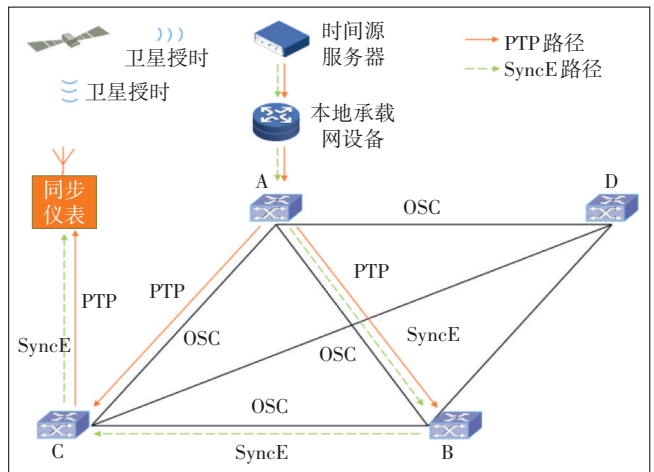


图5 模块化波分设备承载1588v2信号试点测试拓扑

对于TC板卡与BC板卡的测试场景,PTP时间路径设置为A—C和A—B,SyncE同步以太路径设置为A—B—C。3个板卡测试均在C点通过同步仪表接收经过模块化波分同步板卡的1588v2输出信号,并与卫星授时进行分析对比。

表1为3种方案试点结果的对比。从表1可以看出,透传板卡、TC板卡以及BC板卡的时间精度相差不大,这主要是因为组网经过的距离短、跳数少,对时间精度的影响并不大。透传板卡需要占据2个业务波道,而TC与BC板卡可通过OSC传输1588v2信号,无需占用业务波道,开通更便捷。在进行倒换测试时,当A—C中断后,透传板不能进行倒换,TC与BC板卡可以进行自动倒换,而BC板卡在稳定后的精度变化优于TC板卡,这主要是因为BC板卡含有内部时钟,会跟随上游时间源,提高了其稳定性。同时,BC板卡自身也可作为时间源在任意节点输出,在测试拓扑中表现为当时时间路径为A—B—C时,透传与TC板卡仅可在C点输出时间信号,而BC板卡在B点与C点均可输出时间信号。

表1 不同类型同步板卡方案试点结果对比

| 对比项              | 透传板卡             | 1588v2 TC板卡     | 1588v2 BC板卡     |
|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 时间精度/ms          | PTP精度为-54~+8     | PTP精度为-37~+8    | PTP精度为-22~+14   |
| 占用波道             | 东西向各1波,需占用2个业务波道 | 通过OSC传输,不占用业务波道 | 通过OSC传输,不占用业务波道 |
| 同步链路倒换           | 不支持              | 支持              | 支持              |
| 同步链路倒换后的精度/ms    | 不支持              | PTP精度为-92~0.00  | PTP精度为-21~+17   |
| 是否支持网络各节点与时间源的同步 | 不支持              | 不支持             | 支持              |
| 任意节点输出时间信号       | 不支持              | 不支持             | 支持              |

结合现网4G/5G回传对1588v2同步信号的需求以及测试结果,建议在实际开通中使用BC方式作为模块化波分设备传输1588v2同步信号的方式。BC方式可以提供更高精度的1588v2传输能力,并支持同步链路的保护倒换,有效地实现了地面时钟的保障作用,与现网4G/5G回传承载要求更一致。此外,BC板卡具备内部时钟,在同步链路倒换时的可靠性更强,同时可以支持在任意节点输出时间信号,组网更加灵活,可进一步助力高精度同步授时的天地互备的建设。目前国内主要的模块化波分设备厂家均开发实现了基于1588v2 BC方案的同步板卡,可供建设使用。

3 结束语

根据试点的测试结论,在模块化波分设备的应用中,针对不同场景的同步需求,需要采用不同的同步传输承载方式。在城域网组网应用中,为满足高精度的4G/5G回传承载及县乡组网需求,应使用逐点传输的1588v2 BC方案,同时以不占用额外的业务口为宜。

未来随着业务对时钟同步的要求越来越高,模块化波分设备需要实现更高精度的同步传输。新技术和架构将逐步应用于模块化波分设备,帮助提高同步精度,满足更严格的同步要求。同时,为了降低运维成本,提高网络运行效率,模块化波分设备需要具备更强的网络自动化特性。通过自动化技术,实现网络的自动配置、自动穿越、自我优化等功能,从而简化网络部署和运维,提高运营商的竞争力。

综上所述,模块化波分设备的同步应用具有广泛的应用空间,在未来的发展中面临诸多机遇和挑战。通过不断创新技术、优化网络管理等,可进一步提升同步应用的性能,满足不同业务场景下的同步需求。

参考文献:

[1] EIDSON J. IEEE standard for a precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems: IEEE Std 1588-2019[S]. Piscataway: IEEE Press, 2020.

[2] 赵良,张贺,魏步征,等.基于北斗和1588v2的5G基站时间同步应用探讨[J].通信世界,2021(16):35-37.

[3] 赵良,张贺.面向5G的高精度下沉式时间源部署方案研究[J].通信世界,2023(5):45-48.

[4] 张千里,张超凡,王继龙,等.基于Telemetry架构的数据中心网络纳秒级时间同步[J].通信学报,2021,42(10):117-129.

[5] MILLS D L. Internet time synchronization: the network time protocol [J]. IEEE Transactions on Communications, 1991, 39(10): 1482-1493.

[6] PERRY J, OUSTERHOUT A, BALAKRISHNAN H, et al. Fastpass: a centralized "zero-queue" datacenter network [C]//Proceedings of the 2014 ACM Conference on SIGCOMM. New York: Association for Computing Machinery, 2014: 307-318.

作者简介:

周彦韬,工程师,主要研究方向为光通信网络新技术应用;赵良,高级工程师,主要从事光传输专业和同步网新技术研究工作;张贺,教授级高级工程师,主要专业领域为光纤传输、同步网新技术等;沈世奎,教授级高级工程师,主要专业领域为高速光通信系统与光器件等;王永超,高级工程师,主要专业领域为承载网规建维优一体化;杨鹏真,工程师,主要专业领域为光传输及光接入网络;王泽林,高级工程师,主要专业领域为IP、云网融合、算力网络、白盒开源等。