

省内同步网部署与优化方案研究

Research on Deployment and Optimization Plan for Provincial Synchronous Network

刘太蔚¹, 韩磊², 赵向东³ (1. 中国联通湖南分公司, 湖南 长沙 410011; 2. 中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450007; 3. 华夏邮电咨询监理有限公司, 河南 郑州 450007)

Liu Taiwei¹, Han Lei², Zhao Xiangdong³ (1. China Unicom Hunan Branch, Changsha 410011, China; 2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China; 3. Huaxia Posts and Telecommunications Project Consultation & Management Co., Ltd., Zhengzhou 450007, China)

摘要:

为响应国家北斗应用战略,加快推进1588v2全面启用,运营商致力于打造高精度时频同步网。依托现有同步网络架构,低成本推进同步网部署,并对架构不清、网络臃肿的现有网络进行优化,推进老旧设备退网整合,是下阶段同步网建设的重点、难点。从同步网现状问题出发,面向5G和算力网络需求,补短板、强网络、提安全,制定3年及远期演进规划,打造省内同步目标网。

关键词:

同步网;北斗授时;1588v2;PTP;目标网

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2025.07.014

文章编号: 1007-3043(2025)07-0083-06

中图分类号: TN913

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

In response to the national BeiDou application strategy and to accelerate the comprehensive deployment of 1588v2, operators are committed to building a high-precision time-frequency synchronization network. By leveraging the existing synchronization network architecture, it aims to promote low-cost deployment of the synchronization network, optimize the existing network structure that is unclear and cumbersome, and phase out outdated equipments while integrating them into the network, which will be the focus and challenge in the next stage of synchronization network construction. Starting from the current problems of the synchronization network, and considering the demands of 5G and computing networks, it develops a three-year and long-term evolution plan, aiming to address shortcomings, enhance network capabilities, improve security, and build the target synchronization network for the province.

Keywords:

Synchronous network; BeiDou timing; 1588v2; PTP; Target network

引用格式: 刘太蔚, 韩磊, 赵向东. 省内同步网部署与优化方案研究[J]. 邮电设计技术, 2025(7): 83-88.

0 前言

同步是指通过各种同步技术实现不同节点之间的高精度时间和频率同步,以保证其协同工作的精度和可靠性。同步网主要使用时间同步协议或频率同步协议等技术,可根据不同的应用场景需求来选择具体的同步方式。

同步网被广泛应用于电力、通信、交通、金融、科研等领域,可以提高系统的稳定性、可靠性和安全性,

满足高精度数据采集、传输和处理的需求。在万物互联的新时代,同步网的重要性更加凸显,成为实现数字化、智能化、信息化的关键基础设施之一。

在运营商网络中,同步网作为主要支撑网络,为核心网、基站、计费、网管等诸多应用提供同步信号^[1]。目前,省内同步网同时存在近年来新建的设备以及早期建设的老设备,结合5G、算力网络时代的各种应用,同步网络应满足哪些方面的要求,承载网在同步信号传递方面是否存在短板,旧BITS设备能否退网,均为亟需解决的现实问题。本文主要对省内同步网络应如何部署、演进及优化进行研究。

收稿日期: 2025-05-28

1 同步需求及演进趋势

各类型业务的同步需求主要包括为以下几种。

a) 频率同步: SDH、语音交换等 TDM 承载网络, 2G~5G 基站。

b) 高精度时间同步服务 (PTP): 5G 基站、4G (TDD) 基站。

c) 低精度时间同步服务 (NTP): 核心网信令、计费、鉴权及运营商网络授时等。

不同网络制式的同步需求及解决方案如表 1 所示。

表 1 网络的同步需求、指标及解决方案

网络制式	时钟频率精度要求/ ppm	时间同步要求	同步方式
固网交换	$0.016(\pm 1.6 \times 10^{-8})$	-	局内分配
SDH	$0.016(\pm 1.6 \times 10^{-8})$	-	局内分配+网内传递
Pe-OTN (VC)	$0.016(\pm 1.6 \times 10^{-8})$	-	局内分配+网内传递
GSM	$0.05(\pm 5 \times 10^{-8})$	-	SDH 传递
WCDMA-FDD	$0.05(\pm 5 \times 10^{-8})$	-	MSTP 传递
TD-SCDMA	$0.05(\pm 5 \times 10^{-8})$	$\pm 1.5 \mu\text{s}$	MSTP 传递
CDMA2000	$0.05(\pm 5 \times 10^{-8})$	$\pm 3 \mu\text{s}$	MSTP 传递
LTE-TDD (基站 半径 $\leq 3 \text{ km}$)	$0.05(\pm 5 \times 10^{-8})$	$\pm 1.5 \mu\text{s}$	内置 GPS/北斗同步
LTE-TDD (基站 半径 $\geq 3 \text{ km}$)	$0.05(\pm 5 \times 10^{-8})$	$\pm 5 \mu\text{s}$	内置 GPS/北斗同步
LTE-FDD	$0.05(\pm 5 \times 10^{-8})$	$1 \sim 5 \mu\text{s}$ (eMBMS/eICIC 等特殊场景)	MSTP/IPRAN 传递
5G	$0.05(\pm 5 \times 10^{-8})$	$\pm 1.5 \mu\text{s}^{[2]}$	内置 GPS/北斗同步
G.8271-6A 带间	$0.05(\pm 5 \times 10^{-8})$	$\pm 260 \text{ ns}$	内置 GPS/北斗同步
G.8271-6B 带内	$0.05(\pm 5 \times 10^{-8})$	$\pm 130 \text{ ns}$	内置 GPS/北斗同步
计费、告警、网管	-	500 ms	IP 网络传递
IP 时延监视	-	100 μs	IP 网络传递

数字同步网分为频率同步网和时间同步网, 其中频率同步网是全国性网络, 时间同步网是以地(市)为单位的本地层面网络。

1.1 频率同步

频率同步网建设之初主要采用 SDH/MSTP 系统物理层码流的频率传递方式^[3]。随着 PTN、SPN、IPRAN 和智能城域网等网络的建设, 目前本地网层面已逐步采用同步以太 (SyncE) 的频率传递方式。频率同步网

属于全国性的频率同步网, 分为省际、省内和本地 3 层 (见图 1)。

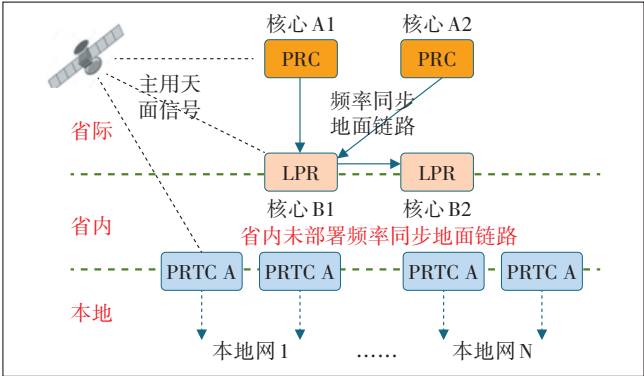


图 1 频率同步网结构示意图

a) 省际层面。在 AA、BB、CC 等若干城市设置有 N 个基准参考时钟 PRC 节点, 每个节点配置一主一备 2 套铯原子钟。

b) 省内层面。在全国 31 个省/直辖市按每省一主一备分别设置 2 套区域基准时钟 LPR, 一般异局址部署在省会城市。

c) 本地网层面。通常未进行地面链路的部署, 主要由各本地网主/备同步网系统提供频率同步信号, 能够保证基于天面 (主用) 和地面 BITS 时钟提供的频率同步。为保证地面备用频率同步信号向全国的溯源统一, 提升同步网络安全, 下阶段应考虑结合近期部署的 S 厂家时钟同步服务器, 搭建省会 LPR—各地 (市) PRTC 的频率同步地面链路。

1.2 时间同步

时间同步网有 2 类, 分别为 NTP 时间同步网以及 PTP 时间同步网, 分别通过运行 NTP 网络时间协议和 PTP 精确时间协议构建时间同步网。

a) NTP 时间同步网主要为需要 ms 量级时间同步需求的网管、计费、通信云、IT 云以及移动核心网等服务, 但不能满足 LTE 以及 5G 基站对高精度时间同步的指标要求^[4]。

b) 精确时间协议 (PTP) 又称 IEEE1588, 目前的最新版本为 1588v2^[5]。PTP 时间同步网目前暂局限于本地网层面使用, 通过本地移动回传网络为 4G、5G 基站提供时间同步, 采用每个本地网分别配置一主一备 2 套 PTP 高精度时间同步服务器 (PRTC+GM) 的部署方式。未来可进一步在综合业务接入点下沉小型化时间同步服务器^[6], 并通过地面链路溯源至上层的本地主备用时间服务器, 当其失去 BDS/GPS 卫星信号后,

通过获得来自上层的PRC级别的频率进行守时。

建议省内以基于GNSS+1588v2技术的时间同步网络架构作为目标架构,具体如图2所示。

2 省内同步网现状分析

2.1 近期部署的同步网络

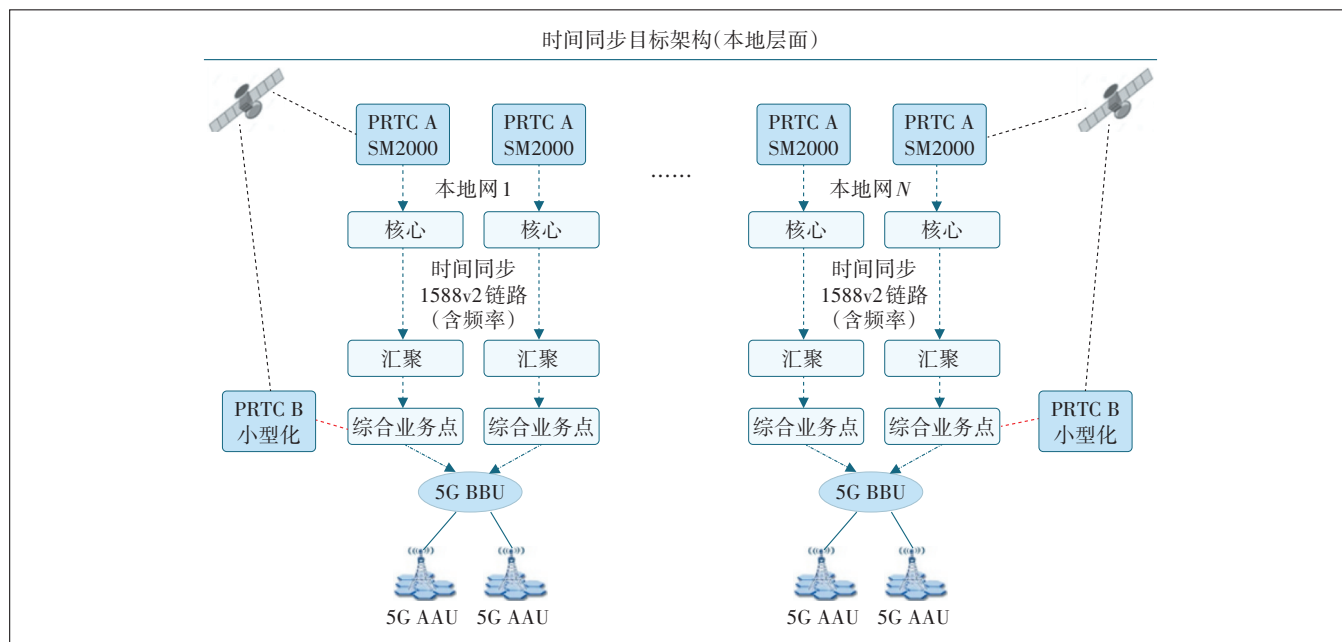


图2 基于GNSS+1588v2的时间同步网结构示意图

省内同步网通常在网络核心节点配置一主一备2套1588v2高精度时间服务器(PRTC+GM),输出标准的时间和频率参考信号。

近年来,省内同步网已经在全省所有地(市)部署了若干套S厂家的时间同步设备(GPS+北斗双模),已实现每地(市)一主一备(见图3)。

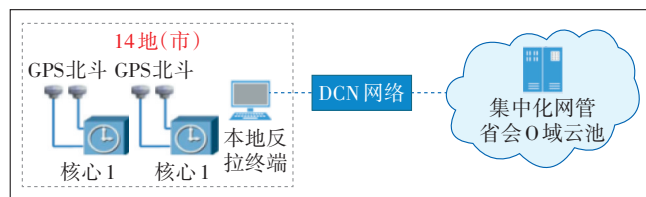


图3 省内高精度时间同步服务器部署现状示意^[7]

目前,单端设备配置频率同步端口(2M)若干个,配置PTP时间同步端口(GE)若干个,但各地(市)基本未进行老旧BITS设备端口迁移,整体利用率较低。

根据调研,老旧BITS设备已用2M端口数量普遍较多,因此下阶段的新老设备迁移工作将受到新设备端口不足的限制,建议在未来项目中考虑相关的建设内容。

2.2 早期部署的同步网络

省内同步网早期共设置有 N 套BITS系统(均带GPS),同步方式采用分布定时方式(即等级主从同步与伪同步相结合的结构形式),均以GPS接收的定时信号作为主用定时源,目前2MHz端口占用率为54%,2Mbit/s端口占用率为60%。

省内LPR节点现为A节点、B节点,但随着省内骨干出口优化方案的提出,未来骨干出口节点定位将发生改变,因此省内同步网后续需考虑调整LPR节点以便与骨干出口匹配。

省内早年建设的BITS设备,在网时间普遍较长,维保及备品备件受限;通过对比设备能力和端口配置,老BITS设备无法提供高精度时间同步(PTP),且部分不支持北斗/GPS双模,其他功能与近期部署的同步设备重叠,除省会几个核心节点的新型号设备外,建议加快推进其他老旧BITS退网。

2.3 同步网络现状问题分析

通过对省内同步网架构节点、设备配置、网络安全、承载要求等进行分析,发现同步网络主要存在的问题如下。

a) 架构。新老BITS设备共存,架构不清晰,功能重叠,网络臃肿。

- b) 能力。早期建设的 BITS 设备无法提供 1588v2 功能,且部分不支持北斗/GPS 双模。
- c) 维保。早期建设的 BITS 设备均已停产,维保及备品备件受限。
- d) 节点。现省会 LPR 部署位置不符合骨干出口目标定位。
- e) 安全。省内未部署省会 LPR—地(市)PRTC 频率同步地面链路,存在安全风险。
- f) 应急。在极端情况下, GPS 信号可能失效,从而造成 4G 网络主用同步信号全部失效。
- g) 承载。在承载网层面,需改造现网 WDM/OTN、IPRAN 网络以支持 1588v2 传递功能。

3 时间同步信号传递对承载网的诉求

现阶段 2G 网络已基本完成退网, 3G/4G 网络以 FDD 为主, 基站间并不需要严格的时间同步, 相比 4G 仅对特殊场景有时间同步的要求, 5G 对各场景均有时时间同步要求, 且对时间同步精度的要求也大幅增加。

1588v2 高精度时间服务器输出的标准频率和时间参考信号通过智能城域网的核心/MCR、汇聚/MER、接入/MAR、WDM/OTN 网络(部分场景)链路传递至 5G 基站。为保证精确时间传递, 整个 1588v2 时间域(包括时间服务器、WDM/OTN 网元、智能城域网网元、5G 基站)都需要频率同步作为支持基础, 因此整个网络形成 2 个逻辑层面, 即频率层和时间层, 通常采用 SyncE+PTP 方式, 即频率层同步采用同步以太技术, 时间层同步采用 PTP 技术。

承载网元设置为边界时钟 T-BC, 整个 1588 域采用二层组播方式通信(见图 4)^[8]。



图 4 二层组播的时间同步链路示意

对于现网 LTE 回传网络, 正常时间链路 T-BC 网元个数应小于 10, 异常情况下迂回时间链路 T-BC 网元个数应小于 20。

对于 5G 新建回传网络, T-BC 应为 ITU-T G.8273.2 规定的 Class C 或更高精度等级, 正常时间链路 T-BC 网元个数可规划为小于 20 跳, 但应保证末端基站输出时间信号偏差相对 UTC 不大于 $\pm 1.5 \mu s$, 频率信号频偏小于 50 ppb。

对于规模较大的本地网, 如果中途传递的 T-BC 网元数量超过 20 个且出现传递精度无法满足指标要求的情况, 可考虑通过下沉小型化时间服务器设备或者改造环路的方式解决。

4 网络对接及改造方案

当前 1588v2 高精度时间服务器仅支持最高速率 GE 的同步信号输出, 在其与承载网元接口速率不匹配时, 承载网元应采用支持 1588v2 功能的自适应光接口对接, 将速率自适应至 GE 速率^[9]。承载网元对接端口要求如表 2 所示。

表 2 承载网元对接端口要求

对接设备	对接端口	输出/传递同步信号	备注
时间服务器—智能城域网 MCR	GE 光接口—10GE 光接口	PTP(时间)+SyncE(频率)	原则上不采用时间专用接口 1PPS+ToD
时间服务器—WDM/OTN 网元	GE 光接口—支持 1588v2 功能的客户侧 GE 光接口	PTP(时间)+SyncE(频率)	原则上不采用时间专用接口 1PPS+ToD
智能城域网设备之间	分组以太业务接口 (10GE、25GE、50GE、100GE)	PTP(时间)+SyncE(频率)	避免使用采用相干模块的端口
WDM/OTN 设备之间	OSC 方式或 ESC 方式逐点传递, 推荐单纤双向 OSC	PTP(时间)+SyncE(频率)	不能纯透传
WDM/OTN 设备—智能城域网设备	分组以太业务接口 (GE、10GE、25GE、50GE、100GE)	PTP(时间)+SyncE(频率)	-
5G 承载网元—基站之间 ^[10]	10GE 分组以太业务接口	PTP(时间)+SyncE(频率)	原则上不采用时间专用接口 1PPS+ToD

4.1 智能城域网和 IPRAN 网络

智能城域网地面同步链路的部署首先应完成核心 MCR 设备与时间同步服务器的对接, MCR 通过 GE 端口与时间同步服务器对接, 智能城域网设备之间及智能城域网与基站之间采用 PTP 二层组播方式逐点传递同步信号, 同时采用 SyncE 方式传递频率信号。当市县智能城域网需通过 OTN 承载时, OTN 需进行改造以保障时钟传递进度, 推荐采用单纤双向 OSC 逐点传递的方式。

5G 网络定位由智能城域网进行承载, 现有设备均支持 1588v2, 无需改造。

IPRAN 网络需要进行 1588v2 改造, 全省共涉及各厂家设备约 5 000 端, 考虑到 IPRAN 网络即将进入退服年限, 改造必要性有待进一步论证。

4.2 100G WDM/OTN 系统

由于 ESC 双纤双向相位同步方式(单板传递相位信息)容易受保护倒换、单板时延差异等的影响,东西向时延偏差过大可能导致相位指标跳变劣化,引起网络频繁倒换,无法维护,因此优先推荐 OSC 方式,即使使用光监控信道单板传送频率信息^[11]。

100G OTN 设备时间同步支持方式如图 5 所示。省内 A 厂家现网设备均支持 3 种时间输入和输出方式,需更换光线路接口板和集中时钟板并进行相应软件升级,双向光监控信道和时钟传送板需更换收发一体模块;B 厂家现网设备支持方式 1 和方式 2 时间输入输出方式,需更换光线路接口板和带外光信道监控板,增加时钟处理板,并进行相应软件升级;C 厂家现网设备均支持 3 种时间输入和输出方式,需进行软件升级,支持方式 2 和方式 3 时需更换主控板。综上所述,省内建议统一采用方式 1。

省内同步网应加速推进智能城域网 1588v2 功能的启用和涉及的 WDM/OTN 网络 1588v2 改造,真正实现天地互备,切实保障基础通信网络授时的安全稳定;省内 100G OTN 设备改造共涉及约 400 端。

5 老旧 BITS 设备定位及退网方案

结合国家关于北斗扩大应用的指示精神,下阶段如要实现北斗主用^[12],对于不支持北斗/GPS 双模的时间同步服务器,应核查设备运行情况,适时安排端口迁转和退网^[13]。

近年来,省内已经在各本地网分别部署 2 套高精度时间同步服务器作为主/备用,所配主机框可接收北斗和 GPS 输入信号,功能上具备时频一体化,可以提供频率和时间同步信号输出,最多可支持 4 个扩展机框,端口可以满足本地网各类授时接入需求,能够作为下阶段省内目标网的同步网服务器^[14]。

为简化同步网架构,降低运维成本,应加快推进老旧 BITS 退网。除省会 N 个核心节点的部分新型号设备外,其余老旧设备均建议退网,已用端口向新部署的 S 厂设备迁转。老旧 BITS 退网可腾退机架位约 40 个,年节约电费若干万元,可有效腾退机房空间,实现降本增效。拟退网的老旧 BITS 均为停产型号,可根据实际情况考虑报废或者各省间物资调拨。

6 同步网目标及优化方案总结

省内同步目标网架构演进如图 6 所示。省内下阶段同步网建设的主要任务总结如表 3 所示。

通过强网络、降成本、定目标三点发力,明确落实北斗主用和地面同步链路搭建,可满足新形势下的网络健壮性需求,提升极端情况下(如 GPS 失效)的抗风险能力,同时推进老旧 BITS 退网整合,降低运营成本,实现网络提质增效,并形成省内同步网目标网方案,指导未来 3~5 年内的省内同步网建设。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 数字同步网工程技术规范: GB/T 51117-2015[S]. 北京:中国计划出版社,2016.
- [2] 赵良,张贺. 同步网探针监测技术研究与应用[J]. 通信世界,2023(4):46-48.
- [3] 于佳亮,程华,于天泽. 通信网同步定时与网同步[M]. 北京:人民邮电出版社,2011.
- [4] 陶源,吴婷. 5G 高精度时间同步组网方案研究[J]. 邮电设计技术,2021(1):77-82.
- [5] 邓建珍. 通信系统同步网的发展及应用[J]. 广东通信技术,2023,43(4):58-60,79.
- [6] 陈乐贤,陈朝辉. 5G 同步网时间源下沉部署技术研究[J]. 光通信研究,2022(3):72-78.
- [7] 赵良,张贺,潘皓,等. 高精度同步网 SDN 统一管控平台研究与应用[J]. 通信世界,2022(3):38-40.
- [8] 古方奎,林何平. IEEE 1588V2 时间同步网部署方案及应用场景的分析[J]. 电信工程技术与标准化,2020,33(1):66-70.

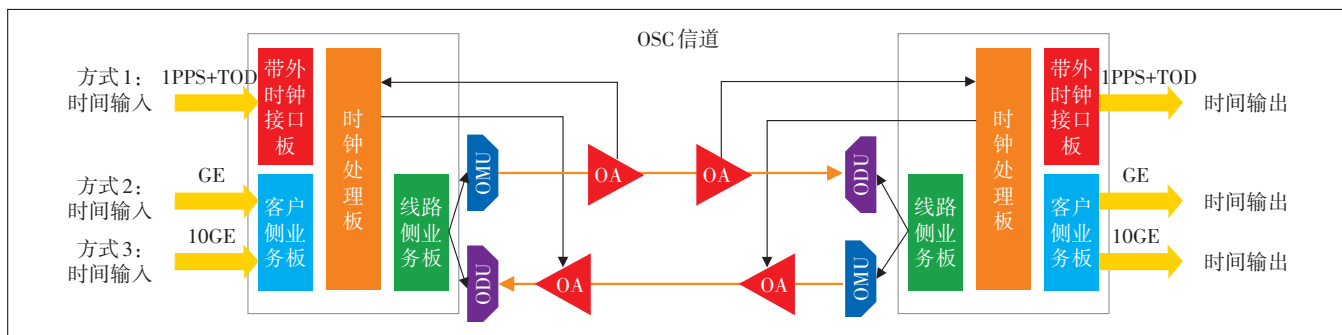


图5 100G OTN设备时间同步支持方式示意

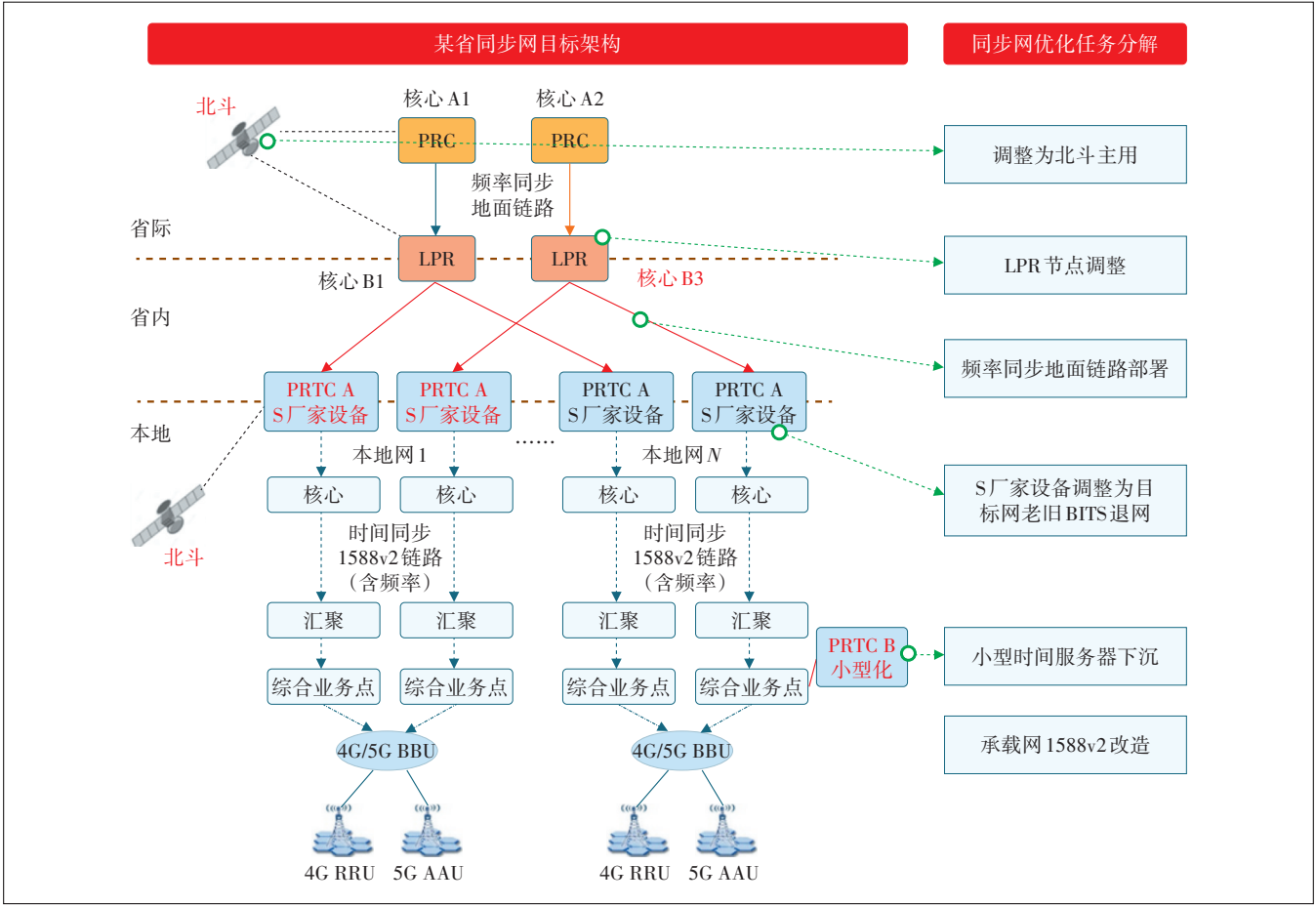


图6 基于GNSS+1588v2的同步网结构总体示意

表3 同步网优化方案总结

序号	任务名称	任务内容	实施建议
1	频率同步地面链路部署	省会LPR—地(市)PRTC可由省干进行传递,省会LPR—省会城市本地PRTC可由省会本地网进行传递。频率同步信号通过省干或本地100G OTN系统主控板传送(EFI端口),需配置网线及安装调试	未来3年
2	北斗主用调整	省内BITS建议实现北斗主用,新部署的S厂同步设备支持北斗/GPS双模,仅需设置为北斗主用模式即可 ^[15]	未来3年
3	LPR节点调整	结合骨干出口优化方案,目标应将LPR节点调整为C节点、D节点,以匹配骨干网架构	未来3年
4	承载网1588v2改造	IPRAN网络需要进行1588v2改造,全省共涉及及设备约5000端。100G OTN网络需要进行1588v2改造,优先推荐OSC方式,全省共涉及及设备约400端	未来3年
5	老旧BITS退网	除省会核心节点的新型号设备外,其他约30端老旧设备均建议考虑退网,已用端口向新部署的S厂设备迁转	未来3年
6	小型时间服务器下沉	满足协同业务及垂直行业应用的高精度时间同步需求	远期

[9] 景金荣,范正吉,洪应平. 基于IEEE1588精密时钟同步系统的设计[J]. 电子器件,2022,45(1):27-32.

[10] 李忠文,王科,龙波. 面向5G的高精度时间同步网实现方案[J]. 电信技术,2018(5):43-46.

[11] 夏芸,张渭,袁伟,等. 新型需求下的时钟同步网组网策略分析[J]. 通信电源技术,2023,40(4):167-170.

[12] 徐荣,赵金峰,田湘,等. 北斗高精度时间同步技术方案[J]. 导航定位学报,2023,11(1):154-158.

[13] 潘潇,徐伟民,叶红. 本地承载网北斗授时同步时钟改造研究[J]. 通信与信息技术,2022(6):65-68.

[14] 魏浩翰,沈飞,桑文刚. 北斗卫星导航系统原理与应用[M]. 南京:东南大学出版社,2020.

[15] 贺成艳,郭际,郝振圆,等. 北斗卫星导航系统伪距偏差特性及减轻措施研究[J]. 电子学报,2021,49(5):920-927.

作者简介:

刘太蔚,毕业于湘潭大学,高级工程师,学士,主要从事传送网络的规划、技术演进研究工作;韩磊,毕业于西安电子科技大学,高级工程师,学士,主要从事传送网络的规划和设计工作;赵向东,毕业于解放军信息工程大学,高级工程师,学士,主要从事传送网络的规划和设计工作。