

提 纲

IMT-2020

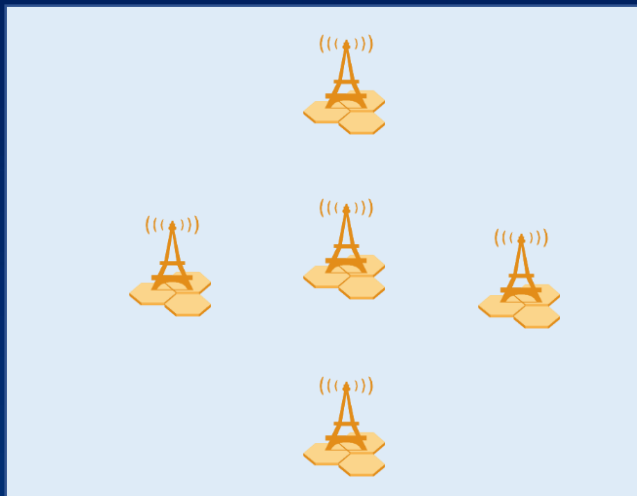
一、5G同步需求

二、5G高精度时间同步组网模型

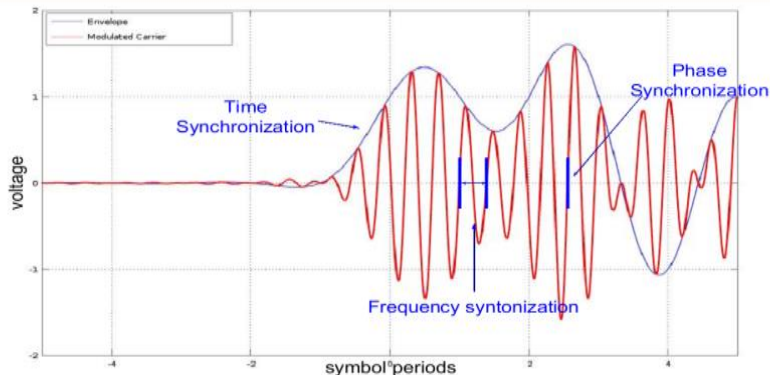
三、5G高精度同步关键技术

四、总结与展望

5G同步目的



Frequency, Time, and Phase (FrTiPh)



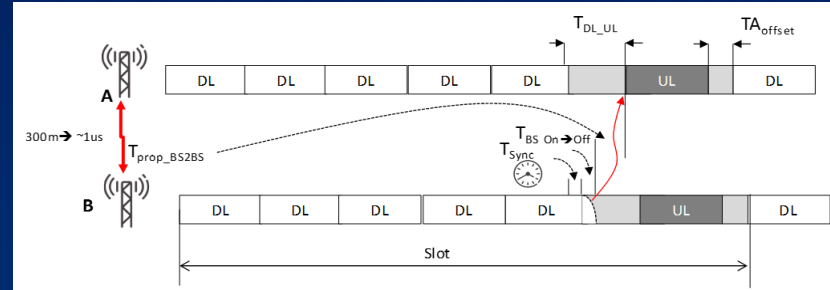
- ❑ 5G频率同步：确保载波频率与标称频率一致
- ❑ 5G时间同步：不同基站空口信号时间对齐（即调制信号相位一致）

❑ 5G频率同步相对于现有无线通信系统并无明显变化，而时间同步则要求更加严格，本白皮书在分析5G系统时间同步需求的基础上，重点研究5G时间同步组网架构和关键技术。

5G基本同步需求与4G相同

基本时间同步是所有TDD制式无线通信系统的共性要求，其对**基站空口时间偏差进行严格限定**，主要是为了**避免上下行时隙干扰**。

基站-基站之间典型干扰场景：DL到UL转换，B下行发送对A上行接收的干扰



$$T_{Sync} < (T_{GP} - 2 * T_{prop, BS1-BS2} - T_{BS on \to off} - T_{BS off \to on}) / 2$$

其中：

T_{Sync} 是基站之间的同步偏差

T_{GP} 是保护间隔时间

$T_{prop, BS1-BS2}$ 是基站之间由距离引入的传输时延

$T_{BS on \to off}$ 是基站从“开”到“关”的转换延迟

$T_{BS off \to on}$ 是基站从“关”到“开”的转换延迟



频段	Sub 6G			Above 6G	
子载波间隔 (kHz)	15	30	60	60	120
T_{GP} (us)	71.4 单符号	71.4 2符号	71.4 4符号	17.8 单符号	17.8 2符号
$T_{BS, on-off}$ (us)	10	10	10	3	3
$T_{BS, off-on}$ (us)	10	10	10	3	3
T_{Sync} (us)	3	3	3	3	3
$T_{prop, BS1-BS2}$ (us)	<22.7	<22.7	<22.7	<2.9	<2.9
基站间距离 (km)	<6.8	<6.8	<6.8	<0.87	<0.87

5G协同增强提出100ns量级时间同步需求

站间协同特性是指到同一个用户的数据可以通过不同基站的RRU收发，**使用户可以在交叠覆盖区合并多个信号**，从而提升业务增益

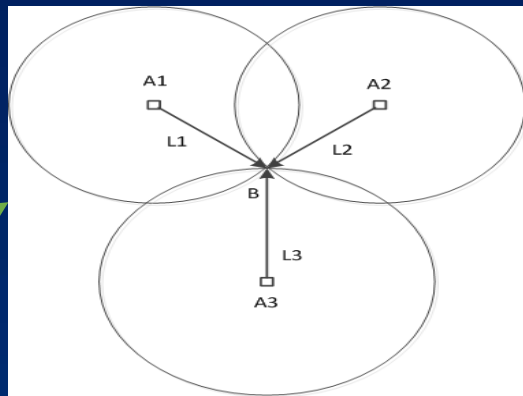
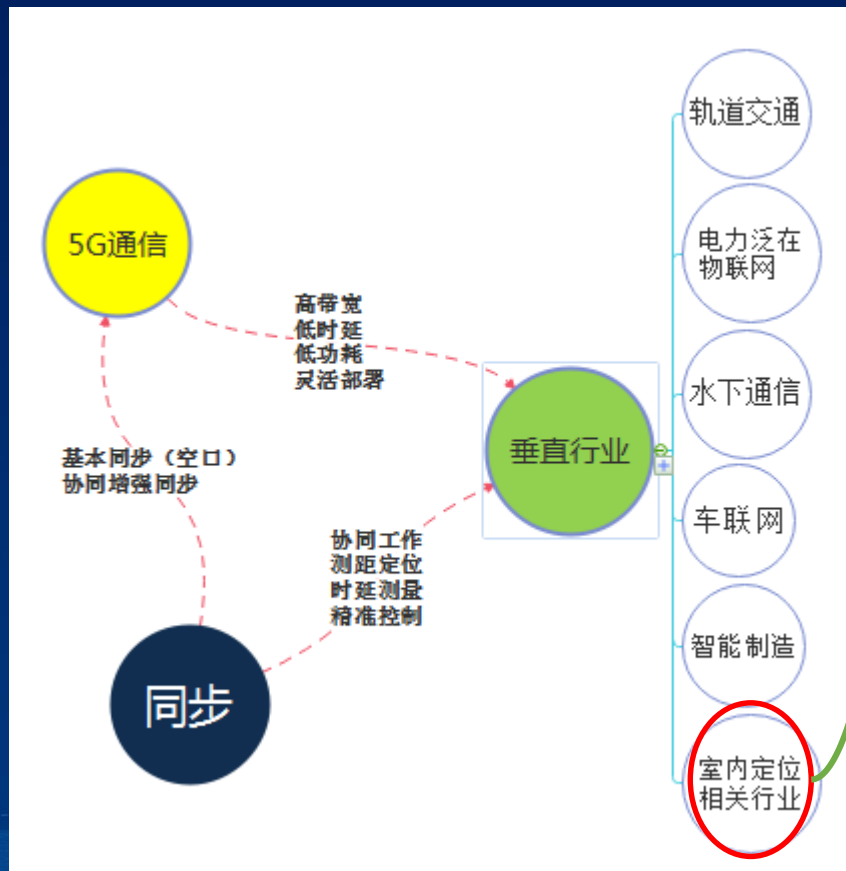
根据3GPP, $TD1(\text{距离差导致的传输延时差}) + TD2(\text{多径传播导致的时延差}) + TD3(\text{同步定时偏差}) = \text{Total TD} \leq CP$ ，其中CP为符号之间的防干扰间隔



基站类型	协同增强类型	TAE同步要求	备注
BS类型1-O	MIMO和发射分集	65 ns	针对低频基站
	带内连续 CA	260 ns	
	带内非连续 CA	3 us	
	带间CA	3 us	
BS类型2-O	MIMO和发射分集	65 ns	针对高频基站
	带内连续 CA	130 ns	
	带内非连续 CA	3 us	
	带间CA	3 us	

协同增强类型	AAU内部	同一基站的AAU之间	不同基站的AAU之间
MIMO, 发射分集	Y	可能性非常小	从不
CA (带内连续)	Y	可能	从不
CA (带间或带内非连续)	很少	Y	从不

部分新业务需要更高精度同步



3m定位精度：时间同步误差优于 $\pm 10\text{ns}$ ；
m级定位精度：同步误差优于 $\pm 3\text{ns}$

5G基站部署密度大，**基于基站提供定位服务具有天然优势**，特别是在卫星信号覆盖盲区，该优势更加凸显。

随着高精度定位服务需求爆炸式增长，作为定位服务提供的重要手段，**基于5G系统基站定位极具潜力**，对5G同步提出10ns级需求，其可与其它定位技术相结合，满足m级及以上的定位需求。

不同的5G同步需求需不同的解决方式

名称	分类	同步需求	实现方式
基本同步需求	频率同步	0.05ppm	网同步
	时间同步	$\pm 1.5\mu\text{s}$ (3GPP)	网同步
协同业务	MIMO、发射分集	65ns (相对)	RRU内同步, 无需网同步
	带内连续CA	260ns或130ns (相对)	一般RRU内同步, 无需网同步; 可能站内RRU间同步, 需要网同步 (基于前传网)
	带内非连续或带间CA	3 μs (相对)	网同步 (基于前传网)
基站定位等业务	基于TDOA的基站定位	$\pm 10\text{ns}$ (3m定位精度) $\pm 3\text{ns}$ (米级定位精度)	网同步, 结合其它定位技术 (具体技术待研究)

- 5G 基本业务同步需求与4G相同, 均为3 μs
- 5G协同业务需求指标: 65ns/130ns/260ns/3 μs
 - ✓ 绝大多数百纳秒量级的时间同步要求一般发生在同一个RRU内的2个载波, 无需网同步, 相对容易满足
 - ✓ **少量百纳秒量级的时间同步要求可能发生在同一基站的不同RRU, 需基于前传网实现网同步;**
 - ✓ 所有3 μs 的时间同步要求均需网同步, 每个基站的绝对时间同步要求为 $\pm 1.5\mu\text{s}$ 。
- 基站定位等业务: 时间同步精度与定位精度要求直接相关, 实现难度较大 (如3m定位精度需 $\pm 10\text{ns}$ 时间精度), 需结合其它定位技术实现。

5G高精度同步地面组网是大势所趋

MT-2020

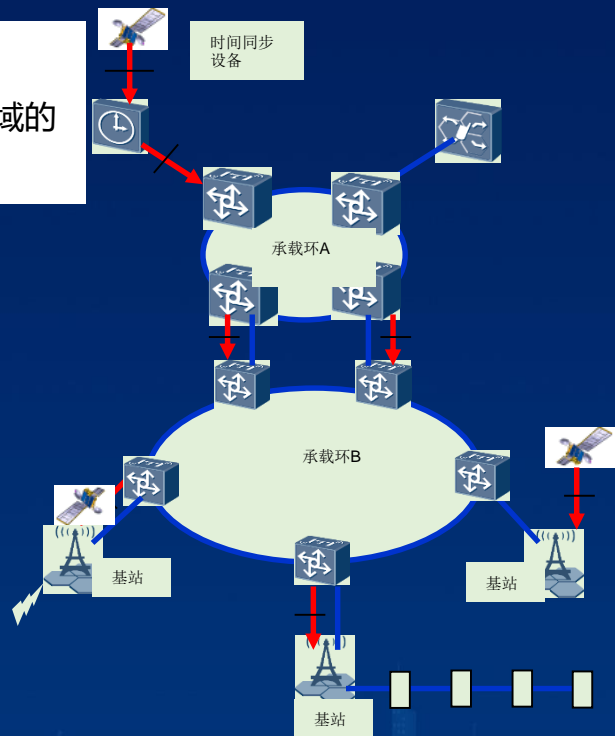
4G时代

- **卫星接收机是标配：基站内置卫星接收机满足同步需求；**
- **地面组网已有部分应用：一般作为备用，或者用于解决卫星信号难以覆盖区域的基站同步。**

- ① 同步需求精度更高。
- ② 同步应用场景更加复杂。
- ③ 同步的安全可靠性要求更加严格。
- ④ 成本方面更加敏感。

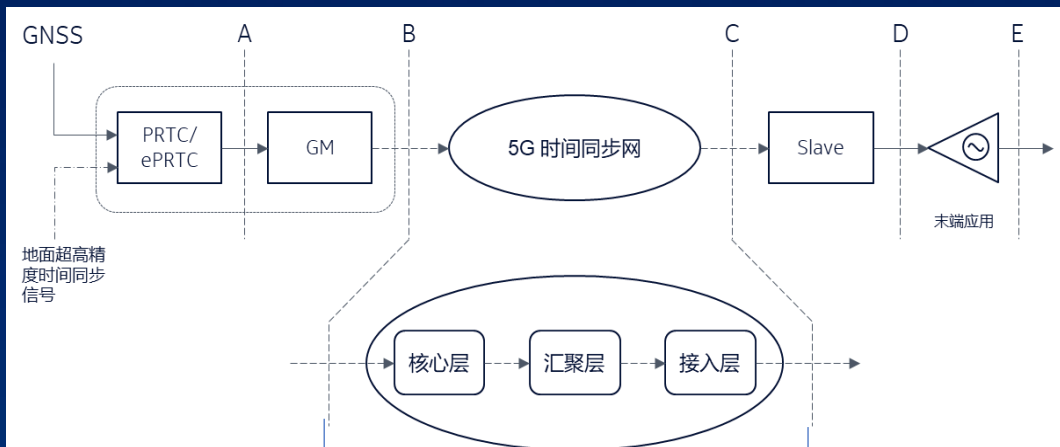
5G

同步
具有
鲜明
特点



面向5G支撑，研究建设自主可控、安全可靠的高精度时间同步网非常必要！
高精度地面时间同步网与基站卫星授时方案是天地互备的关系，将会长期共存、相互补充！

5G高精度时间同步通用组网模型



高精度同步源头

- 核心关键技术：
 - ✓ 卫星共视技术
 - ✓ 双频卫星技术

高精度同步承载

- 核心关键技术：
 - ✓ 1588v2优化技术
 - ✓ 1588v2.1技术
 - ✓ 单纤双向技术

高精度同步接入

- 核心关键技术：
 - ✓ 高精度局内分发接口
 - ✓ 高精度测试和监测技术

- 基于高精度时间协议 (PTP/1588) 组网是5G高精度时间同步的最主要实现方案；
- 高精度同步源头PRTC/ePRTC通常同时实现祖时钟 (GM) 功能，时间精度应优于 $\pm 30\text{ns}$ ，满足ITU-T G.8272.1标准的要求；
- 采用高精度同步传输技术实现高精度同步承载。传输设备单节点时间同步精度应优于一定的限值 (例如，ITU-T G.8273.2规定类型C和类型D的T-BC的时间误差在10ns量级甚至更小) ；
- 一般通过实现相对于UTC的绝对时间精度来满足无线侧的相对时间精度要求。为了满足两个AAU的无线空口参考点E之间的相对误差 (如3us)，要求每个AAU无线空口输出相对于UTC的绝对时间误差满足一定的限值即可 (如 $\pm 1.5\text{us}$) 。

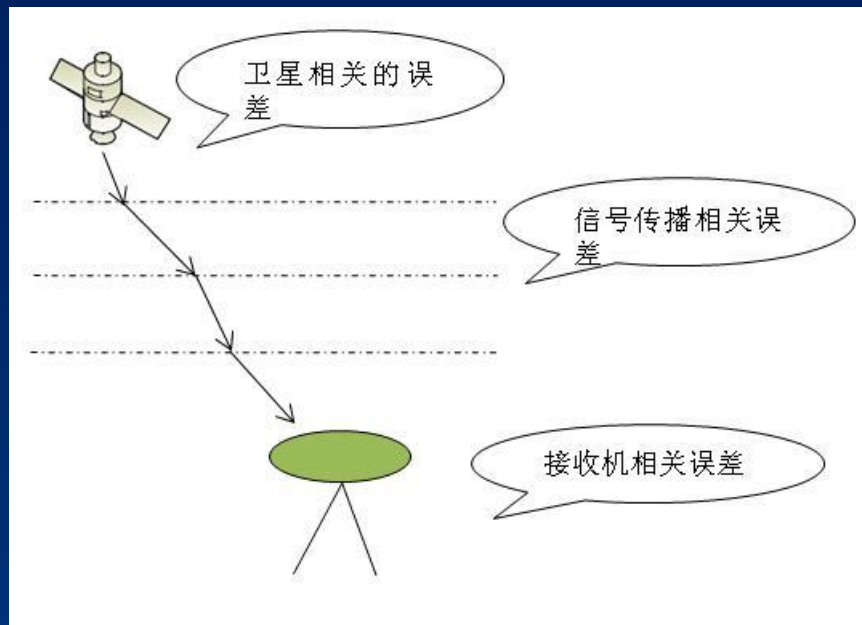
卫星单频单向授时是同步源头基本实现技术

MT-2020

卫星授时的精度取决于卫星系统、大气层、接收系统、本地钟源、锁相环和分发接口等多个要素，其中卫星接收部分对精度的影响比重最大，提升卫星接收部分的精度成为5G时间服务器精度提升的关键技术。

卫星单向授时是目前传统的也是应用最广泛的卫星授时方案。按误差来源分为三类：

- ✓ 卫星有关的误差，星历误差、卫星钟差、多普勒频移及相对论效应等；
- ✓ 与信号处理传播有关的误差，如对流层延迟误差、电离层延迟误差和多路径效应等；
- ✓ 与接收机本身相关的误差。



- 目前单频接收机单向授时的理论授时精度约在100ns左右。
- **卫星单频单向授时技术成熟**，成本较低，可独立部署应用，但无法解决性能监测问题，**精度无法满足高精度源头设备（如ePRTC）的要求。**

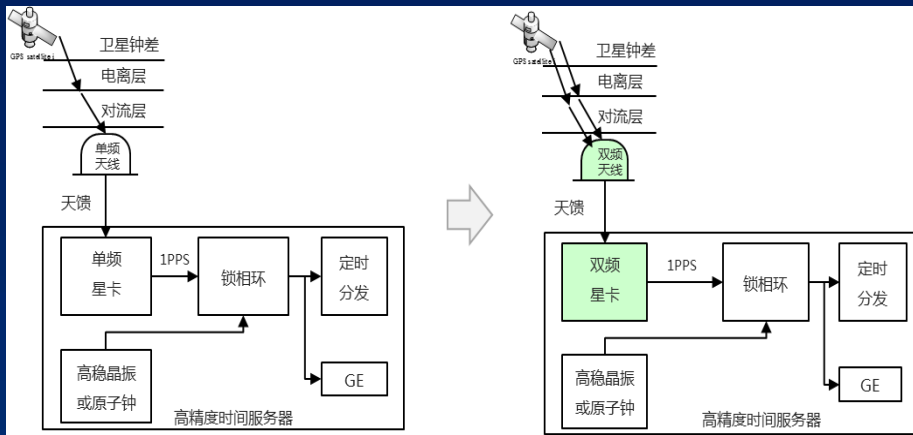
卫星双频技术是提升授时精度的重要手段

✓双频接收机是相对于单频接收机而言的，双频接收机可同时接收GPS的L1、L2或者北斗的B1、B2载波信号，**利用双频载波信号受电离层延迟影响的差异性，可以有效消除电离层对电磁波信号的延迟的影响，从而提升卫星授时精度。**

✓双频修正电离层延时方法在业界已经成熟应用，只要时间服务器采用相应的卫星天线和卫星接收机，可以独立部署，**精度上一般可以做到±30ns左右。**

✓相对于传统单频卫星接收机，双频系统的成本也比较贵，普遍比单频卫星接收机约高一个数量级。

•**卫星双频技术**能够满足高精度源头设备性能要求，可以独立部署应用，**可作为高精度时间服务器实现技术。**
•相对传统单频卫星技术来说，双频卫星技术成本较高，建议在产业化方面加大推动力度，扩大商用规模，降低成本。

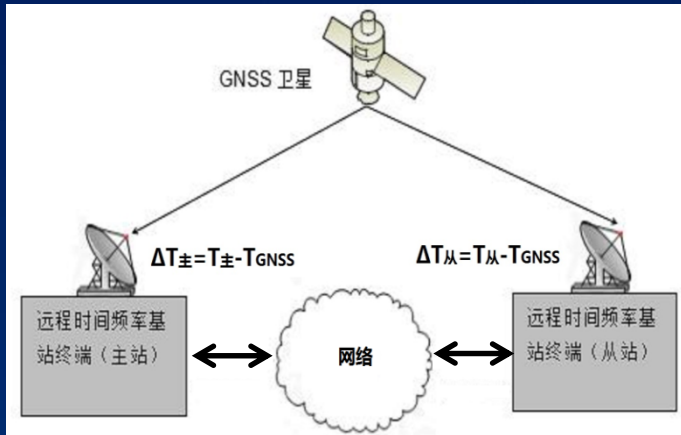


GPS	北斗二代	北斗三代
L1: 1575.42±1.023MHz	B1: 1561.098±2.046MHz	B1: 1575.42±16.368MHz
L2: 1227.6±10.23MHz	B2: 1207.14±2.046MHz	B2: 1191.80±25.046MHz
L5: 1176.45±12MHz	B3: 1268.52±10.23MHz	B3: 1268.52±17.903MHz

卫星共视技术可实现远距离高精度溯源

- ① 本地和远端相对于同一卫星的时间偏差数据;
- ② 交互数据
- ③ 对本地进行校准

卫星共视法利用了卫星到两站路径中误差的相关性，通过相减来抵消共同误差的影响。卫星共视不仅类似于双频消除了大部分路径延迟的影响（比如电离层延迟），同时还完全抵消了星载钟的影响，提高了两地相对钟差的精度，从而达到高精度时间比对，**卫星共视法比对精度可达10ns**。卫星共视技术比较成熟，性能较好，但无法独立部署应用，需主从站配合使用，并配置数据通道进行数据交互。

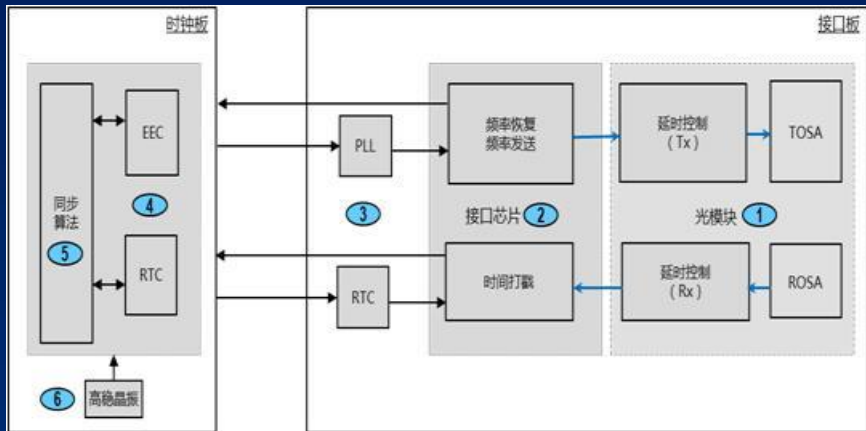


对比项/技术方向	单频单向授时	双频技术	共视技术
精度	一般，约±100ns水平	较高，约±30ns水平	很高，约±10ns水平
产业链成熟度	好	较好	较差
成本	较低	较高	高
工程部署	1, 设备可单台独立部署, 无须成网 2, 可企业内部部署, 无须依赖外部单位或者机构	1, 设备可单台独立部署, 无须成网 2, 可企业内部部署, 无须依赖外部单位或者机构	1, 无法单台设备独立部署, 须建共视服务中心, 包括基准站、共视传输网络、共视解算中心等; 2, 可能涉及与授时单位之间业务关联
可维护性	一般, 单台设备自己无法解决性能监控的问题	一般, 单台设备自己无法解决性能监控的问题	较好, 可以实现全网时间源集中监控和比对, 可以发现异常的时间源设备



- 卫星单频单向授时性能上无法满足高精度同步需求。
- 当前双频技术更适合应用于高精度时间同步网的现网建设和跟踪运行。
- 不建议基于卫星共视技术实现高精度同步源头，可将其用于网络性能集中监测和高精度同步测量。

基于现有1588v2优化实现高精度同步传输



优化1588v2实现高精度同步传输

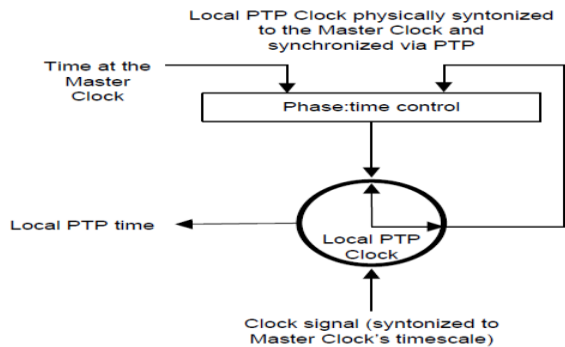
- ✓ **打戳位置尽量靠近物理接口**，尽量减少光模块内部的半静态延时误差和动态延时误差；
- ✓ **提升打戳精度**，提升打戳采样时钟的频率，或者采用其他方法提升打戳分辨率；
- ✓ 改进同步算法，提升系统RTC同步精度；
- ✓ 加强模块间协同，**提升系统内部RTC之间**（如接口卡和时钟卡）同步**对齐精度**；
- ✓ **选取优质晶振，提高本地时钟的稳定性**。提升时间同步和频率同步的动态性能和保持性能。

白兔子技术尝试支持高精度同步传输

- ① 白兔子 (WR) 由CERN提出，用于加速器的同步控制；
- ② 基于同步以太网的物理层同步，并与相位保持一致；
- ③ 使用DDMTD相位检测器增强时戳精确度；
- ④ 单纤双向传输，补偿不同波长的时延差。

新的1588标准草案 (IEEE 1588-2019 draft)

- ① 引入WR技术的一些概念；
- ② 增加了针对高精度应用的PTP Profile，可实现ns级高精度同步。



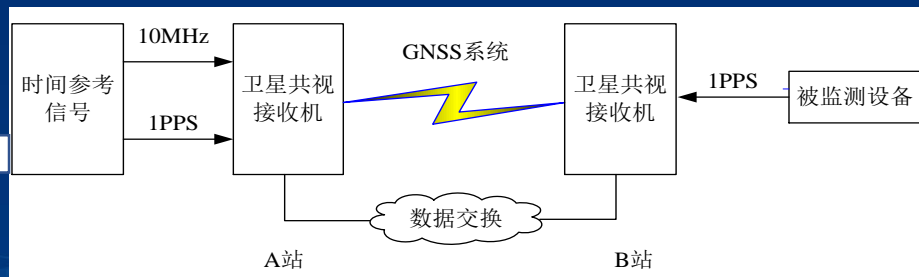
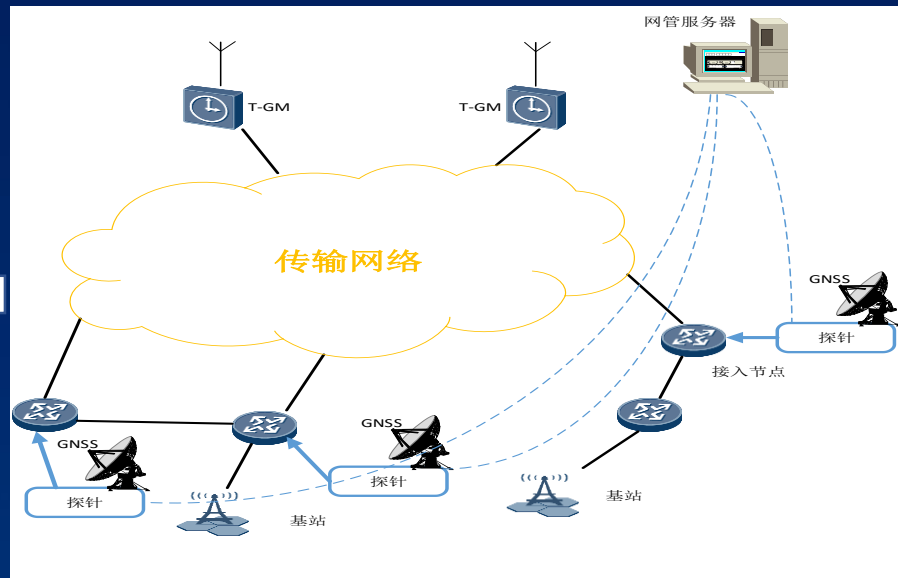
现有1588v2基础上通过优化实现高精度同步传输；尽量采用单纤双向方式；建议引入智能时钟。

通过外置方式实现同步性能绝对监测

外置方式可实现同步性能绝对监测，包括两种方式：**外置探针方式和卫星共视方式**。

外置探针方式：在5G同步网中**按需部署**外置探针装置，探针装置通过GNSS获得绝对时间基准，**对网络末端设备同步输出信号进行监测**，再将监测结果发送至中心网管以实现对整个网络同步性能的实时监测。具体实现方式可以分为**主动式和被动式**。注：**基站配置的卫星授时接收机也可实现外置探针的功能**

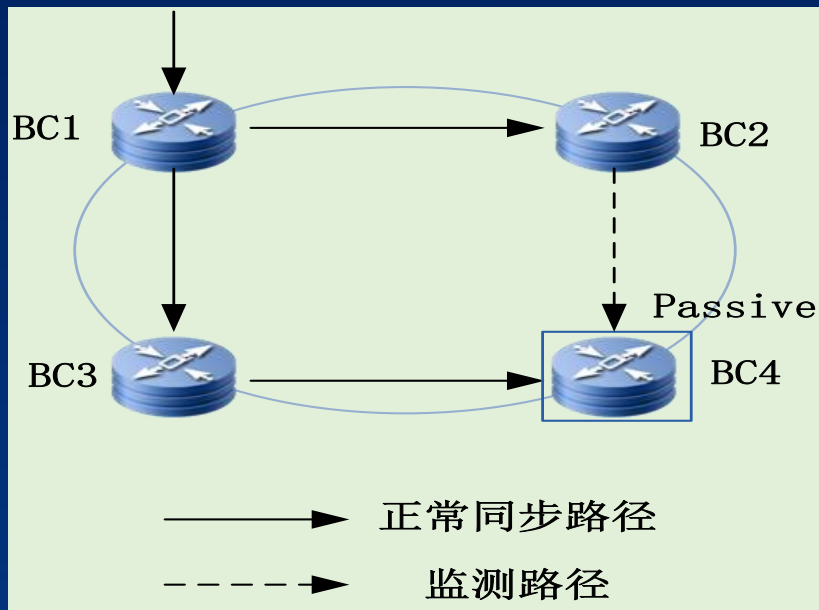
卫星共视方式：在网络适当位置部署共视主站和共视从站，以共视接收作为媒介，通过交换数据，得到共视从站（即被监测点）与共视主站（即远端参考基准，如溯源至UTC的绝对基准）之间的比对结果，**实现对被监测点性能的绝对监测**。一般来说，共视网络中共视从站部署于网络下游位置，靠近网络末端，当然，也可以通过人工规划，**在网络多个点部署共视从站，从而实现可以覆盖全网的性能监测能力**。



通过内置功能实现同步性能相对监测

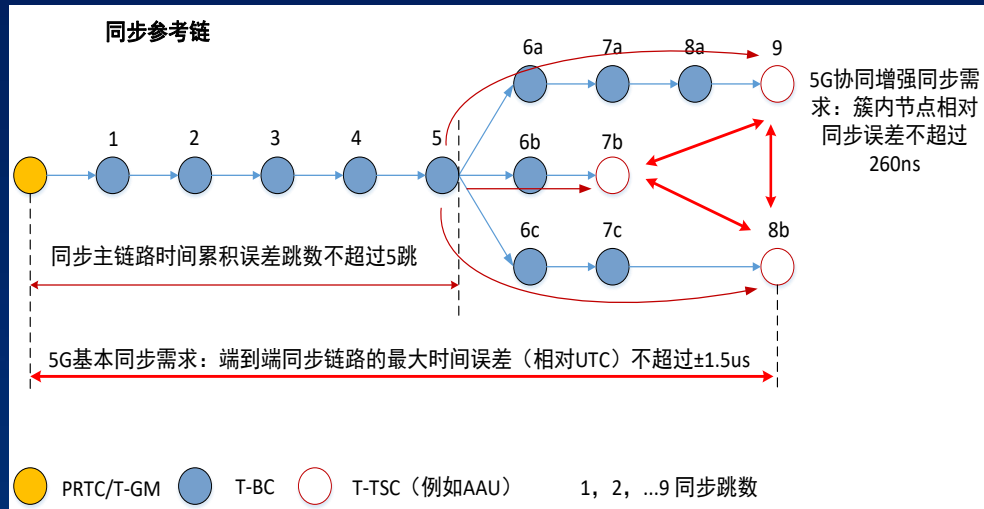
通过内置功能进行同步监测，即利用网络设备自身同步性能监测能力实现同步性能相对监测。

- ✓ **主从监测**，即Slave设备在同步于Master设备的同时，进行自身同步性能监测。监测参数包括PTP时间偏差实时监测、PTP延时实时监测、PTP时间偏差累加值监测等
- ✓ **环上Passive节点监测**，利用Passive节点对其同步侧与非同步侧同步数据进行比对进行同步监测。通过比较设备在Passive和Slave端口分别获得的两个方向的时间偏差的差值，借此进行性能监测。



基于同步参考链实现相对监测

- ✓ 参照ITU-T8271.1[8]附录VII给出的**同步参考链**，可对**同步簇**（相同基站所在区域）内两两相邻节点之间**时间误差进行监测**；
- ✓ 对于5G高精度同步，可采用此方式实现同一基站不同**AAU之间的性能相对监测**；
- ✓ 7b、8b、9可对应AAU部署位置，设置节点5为公共参考点，则节点7b和节点9之间的相对时间误差 $TE_{9,7b}$ 可由 $TE_{9,7b}=TE_{9,5}-TE_{7b,5}$ 计算得到。
- ✓ 各监测点与公共参考点时间偏差（ $TE_{9,5}$ 、 $TE_{7b,5}$ 等）的获取方法待研究。



- 1) 对于5G网络同步性能监测方法，可采用探针等外部设备通过被动监测或主动监测方式进行监测，也可基于网络设备自身监测功能实现相对性能监测。
- 2) 对于5G同步监测部署方案，可根据业务要求采用端到端全程同步性能监测或局部相对时间同步性能监测方式。
- 3) 对于5G同步监测的具体方式，需根据业务要求、网络规模、成本预算等因素进行选择。

总结

- **5G具有新的同步需求特点**，既有与4G相同的微秒级基本同步需求，也有5G协同增强提出的百纳秒级同步需求，还有以定位需求为代表的十纳秒级同步要求；
- **时间同步通用组网模型**是后续5G时间同步网具体组网方案的基础；
- **源头技术方面**，双频技术更适合作为源头实现技术，进行高精度时间同步网的建设部署；
- **同步传输技术方面**，对现有1588v2进行优化，是目前比较可行的方案；
- **5G同步监测具体方法**，需根据业务要求、网络规模、成本预算等因素进行选择。

展望

- 结合运营商5G承载技术及组网架构，继续研究：
 - ✓ **5G同步具体组网技术方案**
 - ✓ **5G同步网演进策略**
 - ✓ **高精度同步测试技术等内容**
- 尽快制定和完善5G高精度同步方案，全力支持5G系统商用部署。

感谢聆听，协同推进

IMT-2020

CAICT 中国信息通信研究院
China Academy of Information and Communications Technology

 中国移动
China Mobile


China unicom 中国联通
创新·改变世界

 中国电信
CHINA TELECOM
世界触手可及


HUAWEI

ZTE


FiberHome

NOKIA 上海贝尔

H3C

FINISAR®

 KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

VIavi

THANKS

