

# OTN与PTP时间同步技术

工业和信息化部电信研究院  
通信标准研究所

胡昌军

[huchangjun@mail.ritt.com.cn](mailto:huchangjun@mail.ritt.com.cn)

2010年10月

## 介绍内容

- 时间同步基本概念
- 时间同步需求
- 时间同步技术
- 高精度时间同步技术PTP
- OTN时间同步应用背景
- PTP over OTN方案介绍
- OTN时间同步应用场景及实现方式
- 小结

## 时间同步基本概念

- **平均太阳日**：人们习惯上是以太阳在天球上的位置来确定时间的，为了得到以真太阳周日视运动为基础而又克服其不均匀性的时间计量系统，人们引进了平均太阳日的概念。平太阳时的基本单位是平太阳日，1平均太阳日等于24平均太阳小时，1平均太阳小时等于86400平均太阳秒。
- **世界时 (UT0/UT1/UT2)**：以平子夜作为0时开始的格林威治（英国伦敦南郊原格林尼治天文台的所在地，它又是世界上地理经度的起始点）平太阳时，就称为世界时。
- **国际原子时 (TAI)**：原子时间计量标准在1967年正式取代了天文学的秒长的定义新秒长规定为：位于海平面上的铯Cs133原子基态的两个超精细能级间在零磁场中跃迁振荡9192631770个周期所持续的时间为一个原子时秒，我们称之为国际原子时 (TAI)；
- **协调世界时 (UTC)**：UTC在本质上还是一种原子时，因为它的秒长规定要和原子时秒长相等，只是在时刻上，通过人工干预，尽量靠近世界时。
- **闰秒**：UTC在秒长上使用原子时秒，但是在时刻上，需要通过人工干预，使其尽量靠近世界时。

## 介绍内容

- 时间同步基本概念
- 时间同步需求
- 时间同步技术
- 高精度时间同步技术PTP
- OTN时间同步应用背景
- PTP over OTN方案介绍
- OTN时间同步应用场景及实现方式
- 小结

## 时间同步需求

- 普通精度时间同步要求
- 高精度时间同步要求

5

## 普通精度时间同步要求

- 网络管理系统
  - 目前集中网管系统，能收集网络的性能数据进行统计以及收集各网元设备的告警信息进行告警定位。在时间同步的前提下，有助于故障定位和解决。
  - 时间同步的要求：500ms左右。
- 互联网安全认证系统
  - 建立互联网安全认证系统时，在对全国的网络进行全面的评估时，一个基础前提是通信网上所有设备时间都应保持一致。
  - 要求：500ms左右。
- 计费系统
  - 计费对时间同步的要求主要表现在两个方面：一是移动通信网自身计费对时间同步的要求；另一个方面是移动通信网与其它运营商网络进行网间费用结算时对时间同步要求。
  - 要求：100ms量级
- 移动IP网
  - 在IP网中，为了对路由选择进行监视或控制，数据包每经过一个路由器都会打上该路由器的当前时间，通过分析这些时间戳，就可以计算出各段路由所引入的时延。因此，保证各个路由器的时间同步对于分析各段路由的流量，顺利完成路由选择是十分重要的。
  - 要求：100ms量级
- 电子商务的网络安全
  - SSL协议是目前安全电子商务交易中使用最多的协议，SSL协议为每一次安全连接产生了一个128位长的随机数——“连接序号”。计算机产生的随机数是伪随机数，它的实际周期要远比2128小，更为危险的是有规律性，使得SSL协议无法从根本上解决“信息重传”这种攻击方法，有效的解决方法是采用“时间戳”。
  - 要求：500ms量级

6

## 高精度时间同步要求（1）

- 七号信令监测系统
  - 为了准确定位通信网中出现的故障类型和故障点，需要在信令流量较大的STP节点设立信令采集点，建立一套完善的七号信令监测系统，用于监测和分析网上信令流的动向。当网上出现故障时，所有相应的信令流数据将被送往此监测系统进行分析处理，并进行快速故障定位。为避免因信令出现先后顺序的错误而产生虚假信息，必须要求所有信令流的时间信息是准确无误的，进而确保故障类型以及故障点快速定位的准确性。由于信令流的时间标签是由各信令采集点分别产生的，因此要求各个信令采集点必须保持时间同步。
  - 另外，若要利用此七号信令监测系统对网络接通率和呼损率进行统计，信令采集点之间时间不同步有可能会使统计出现偏差，从而对整个通信网性能的评估。
  - 七号信令监测系统对时间同步的精度要求为1ms左右。
- 位置定位服务
  - 在移动通信网中实现基于位置定位的服务有几种技术选择，其中的一种实现手段是利用手机接收附近多个基站发送的无线信号进行定位。这要求基站的精确位置是预知的，并且都是时间同步的。根据定位精度要求的不同，基站时间同步的精度要求也是不同的。一般来说，若各基站之间时间同步的误差在1μs。
- 无线移动通信系统

7

## 高精度时间同步要求（2）

### ➢ 无线移动通信系统同步需求

	GSM/W-CDMA	CDMA 2000	TD-SCDMA	移动 WiMax	LTE-FDD	LTE-TDD
同步需求类型	频率同步	频率同步 相位同步	频率同步 相位同步	频率同步 相位同步	频率同步	频率同步 相位同步
频率准确度	+/-50 ppb <sup>注1</sup> +/-250ppb <sup>注2</sup>	+/-50 ppb <sup>注1</sup> +/-250ppb <sup>注2</sup>	+/-50 ppb <sup>注1</sup> +/-250ppb <sup>注2</sup>	+/-15ppb	+/-50 ppb <sup>注1</sup> +/-250ppb <sup>注2</sup>	+/-50 ppb <sup>注1</sup> +/-250ppb <sup>注2</sup>
时间精度 <sup>注3</sup>	不适用	+/-3us(推荐) +/-10us(必须)	+/-1.5us	+/-0.5us	不适用	+/-1.5us

注1：适用于一般无线网络基站

注2：适用于Femtocel以及住宅用基站

注3：相对于公共参考源（如UTC）的偏差

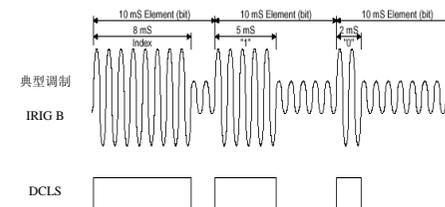
8

## 介绍内容

- 时间同步基本概念
- 时间同步需求
- **时间同步技术**
- 高精度时间同步技术PTP
- OTN时间同步应用背景
- PTP over OTN方案介绍
- OTN时间同步应用场景及实现方式
- 小结

## 时间同步技术（1）

- **IRIG-B(Inter Range Instrumentation Group)**
  - IRIG编码源于为磁带记录时间信息，带有明显的模拟技术色彩。包括IRIG-A和IRIG-B两种
  - IRIG-B采用1KHz的正弦波作为载频进行幅度调制，对最近的1秒进行编码。IRIG-B的帧内包括的内容有：天、时、分、秒及控制信息等。
- **DCLS(DC Level Shift)**
  - DCLS是IRIG-B码的另一种传输码形，用直流电位来携带码元信息，等效于IRIG-B调制码的包络。



## 时间同步技术（2）

- **ACTS (Automated Computer Time Service)**
  - 客户端的MODEM通过电话网拨通时间服务器的MODEM，两个MODEM建立起通路后，通过一定的协议，客户端就可以收到时间服务器的时间，对传输距离没有特别的要求。由美国NITS开发的ACTS即是这种协议，我国陕西天文台授时中心也开发了相似的协议。
- **1PPS(1 Pulse per Second)**
  - 秒脉冲信号，不包含时刻信息，但其上升沿标记了准确的每秒的开始，通常用于本地测试，也可用于局内时间分配，精度达到100ns量级。
- **串行口ASCII字符串**
  - 通过RS232/RS422串行通讯口，将时间信息以ASCII码字符串方式进行编码，波特率一般为9600bps，通常还需同时利用1PPS信号。

## 时间同步技术（3）

- **NTP(Network Time Protocol)**
  - 时间协议(Time Protocol)、日时协议(Daytime Protocol)、网络时间协议NTP(Network Time Protocol)和简单网络时间协议SNTP(Simple Network Time Protocol)
  - NTP协议（RFC1305）最为复杂，能实现的时间准确度最高。
  - NTP有一套严密的方法防止时间网上的“时间自环”和防止同步于时间不准确的时间服务器。
- **PTP (Precision Time Portocal)**

## 时间同步技术比较（1）

时间接口	传输方式	传输距离	精度
IRIG-B	两点直连（双绞线或同轴电缆）	1.2Km	10 $\mu$ s-100 $\mu$ s
DCLS	两点直连（双绞线或同轴电缆）	1.2Km	10 $\mu$ s-100 $\mu$ s
	专线（64K DDN）	无限制	100 $\mu$ s-1ms（需补偿传输时延）
NTP	两点直连（双绞线或光纤）	双绞线：100m 光纤：1Km	10 $\mu$ s-200 $\mu$ s
	以太网（例如DCN网）	无限制	局域网：200 $\mu$ s-10ms 城域网：10ms-100ms 广域网：100ms-1000ms
1PPS+TOD	两点直连（双绞线或同轴电缆）	1.2Km	100ns量级（需补偿传输时延）
	专用传输网络（例如MSTP、PTN）	无限制	1 $\mu$ s量级（待研究）
	专线（E1、STM-N或2M帧中继）	无限制	1-100 $\mu$ s量级（待研究）

13

## 时间同步技术比较（2）

时间接口	传输方式	传输距离	精度
改进型NTP	两点直连（双绞线或光纤）	双绞线：100m 光纤：1Km	1 $\mu$ s量级
	E1/STM-N专线	无限制	1-100 $\mu$ s量级（待研究）
	以太网	无限制	局域网：10 $\mu$ s-1ms 城域网：待研究 广域网：待研究
PTP	两点直连（双绞线或光纤）	双绞线：100m 光纤：1Km	10ns量级（待研究）
	专用传输网络（例如MSTP、PTN）	无限制	1 $\mu$ s量级（待研究）
	专线（E1或DDN）	无限制	1-100 $\mu$ s量级（待研究）
	以太网	无限制	局域网：10ns-1 $\mu$ s 城域网：待研究 广域网：待研究
UTI	两点直连（双绞线或同轴电缆）	1.2Km	10ns-1 $\mu$ s量级（需补偿传输时延，待研究）

14

## 介绍内容

- 时间同步基本概念
- 时间同步需求
- 时间同步技术
- **高精度时间同步技术PTP**
- OTN时间同步应用背景
- PTP over OTN方案介绍
- OTN时间同步应用场景及实现方式
- 小结

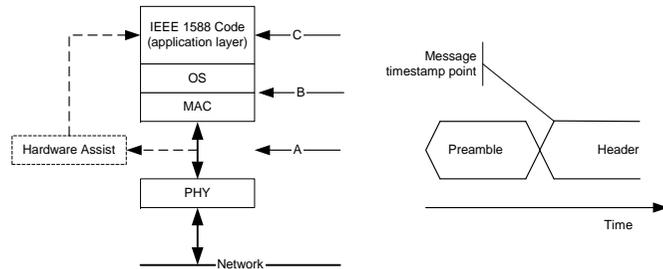
15

## 高精度时间同步技术-PTP

- PTP报文基本交互流程
- PTP报文类型
- PTP时钟类型
- PTP封装方式
- BMC算法

16

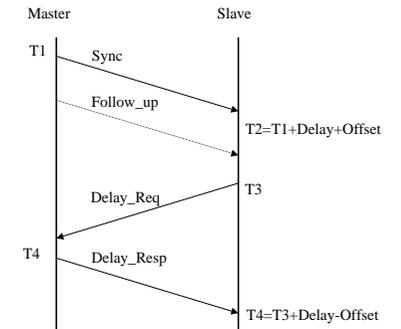
## PTP协议与NTP协议比较



- NTP和IEEE1588 V2的相同点
  - 都需要计算偏移量和路径延迟
  - 都假设主从双向路径对称
- NTP和IEEE1588 V2的区别
  - 如上图IEEE1588 V2的时间戳处理在A点，NTP的时间戳处理在C点，A-C的不确定延时会导致NTP的误差达到几十毫秒，严重影响时间恢复的精度
  - IEEE1588 V2支持TC模式，计算中间网络设备引入的驻留时间，从而实现主从间精确时间同步

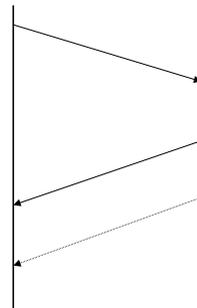
## PTP报文基本交互流程

- 主时钟向从时钟发送一个Sync报文，并记录此报文发送的时刻T1；
- 从时钟接收到来自主时钟Sync报文，并记录接收到的时刻T2；
- 主时钟可以通过以下两种方式将时间戳T1传送到从时钟：
  - 将时间戳放在Sync报文中，这要求非常精确的底层硬件处理，这种方式称之为one step；
  - 将时间戳T1放在Follow\_Up报文中传送，这种方式称之为two step；
- 从时钟向主时钟发送Delay\_Req报文，并记录其发送时刻T3；
- 主时钟接收到Delay\_Req报文，并记录接收到的时刻T4
- 主时钟通过Delay\_Resp将T4传送到从时钟；
- 从时钟根据T1、T2、T3和T4可计算出其与主时钟之间的时延Delay以及时间偏差Offset，并实现与主时钟的时间同步。



## P2P时延机制

- 端口1向端口2发送Pdelay\_Req报文，并记录发送时刻T1；
- 端口2接收到Pdelay\_Req报文，产生时间戳T2；然后返回一个Pdelay\_Resp报文，并产生相应时间戳T3，为了减小两个端口之间频率偏差造成的误差，端口2收到Pdelay\_Req报文后应尽快地返回Pdelay\_Resp报文，端口2返回报文方式如下：
  - 将T2和T3之间的时间偏差通过Pdelay\_Resp报文返回；
  - 将T2和T3之间的时间偏差通过Pdelay\_Resp\_Follow\_Up报文返回；
  - 将时间戳T2和T3分别通过Pdelay\_Resp和Pdelay\_Resp\_Follow\_Up报文返回。
- 端口1收到Pdelay\_Resp报文后，产生时间戳T4，然后通过T1、T2、T3和T4计算出两个端口之间的时延Delay。



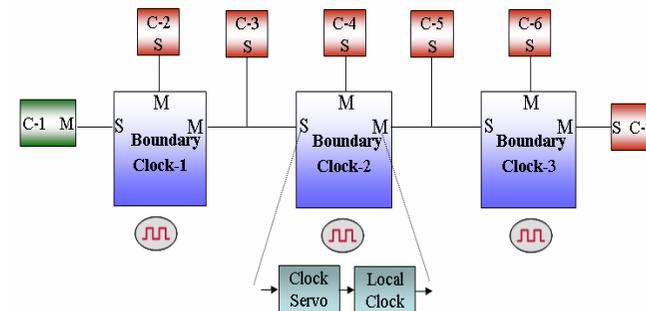
## PTP报文类型

- 事件报文
  - Sync
  - Delay\_Req
  - Pdelay\_Req
  - Pdelay\_Resp
- 通用报文
  - Announce
  - Follow\_Up
  - Delay\_Resp
  - Pdelay\_Resp\_Follow\_Up
  - Management
  - Signaling

## PTP时钟类型

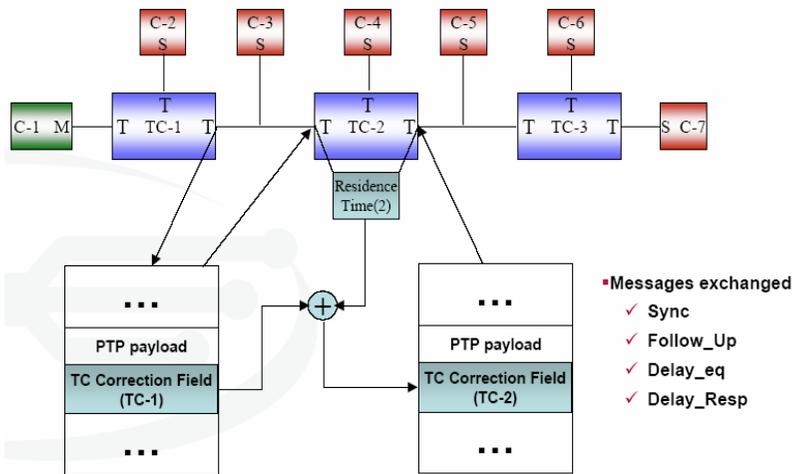
- OC (Ordinary clock) : 普通时钟
- BC (Boundary Clock) : 边界时钟
- TC (transparent clock) : 透明时钟
  - E2E TC: End-to-end transparent clock
  - P2P TC: Peer-to-peer transparent clock
- 管理节点: Management node

## BC (Boundary Clock) 设备模型

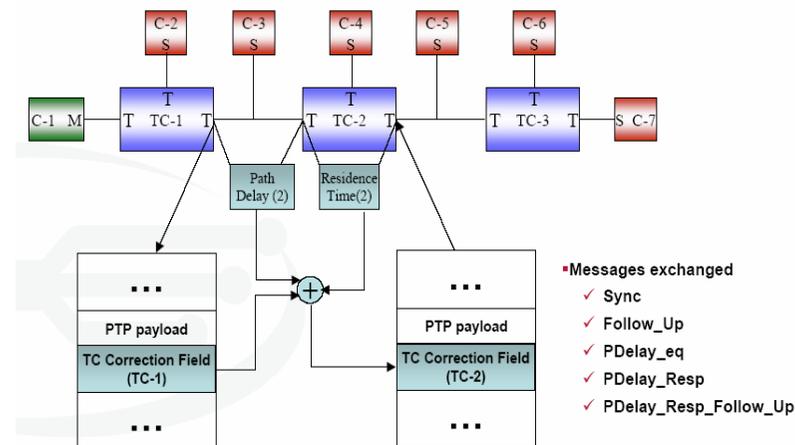


- 1) 一个时钟晶振，一个端口做为上级Master的Slave、N个端口为下级Slave的Master。
- 2) 本地站点与上级Master的时钟（频率）同步，时间（相位）也同步。

## E2E TC (Transparent Clock) 设备模型



## P2P TC (Transparent Clock) 设备模型



# 1588不同时钟模式比较

比较项目	边界时钟BC	透明时钟TC	
		PTP TC	ETE TC
适用位置	所有节点	中间节点	中间节点
能否进行时间分配	能	不能	不能
中间协议处理要求	高	较高	低
路径时延计算	逐段计算	逐段计算	端到端计算
路径倒换收敛时间	短	较短	较长
时间是否受节点跳数的影响	是	否	否

# PTP封装及传送方式

## ➤ 报文封装方式:

- PTP over IEEE Std 802.3/Ethernet, PTP over UDP over IPV4/6

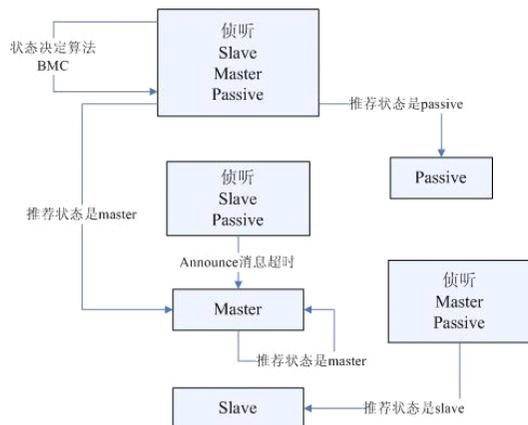
## ➤ 传送模式:

- 组播方式 / 单播方式
- One-step模式 / two-step模式

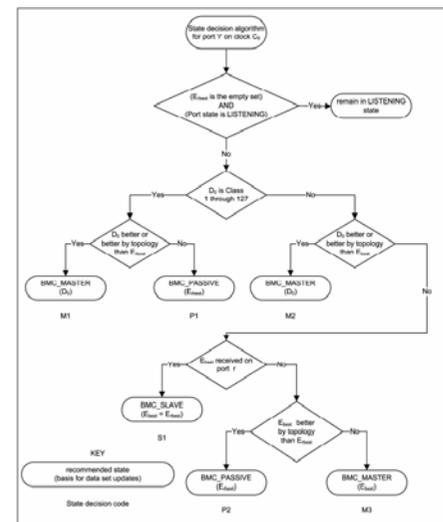
# BMC算法

每个节点执行BMC算法，BMC算法两个步骤:

- 端口状态算法: 确定每个端口的状态 (master、slave还是passive) ;
- 数据集比较算法 (data set comparison algorithm) : 确定哪个端口适合使用;

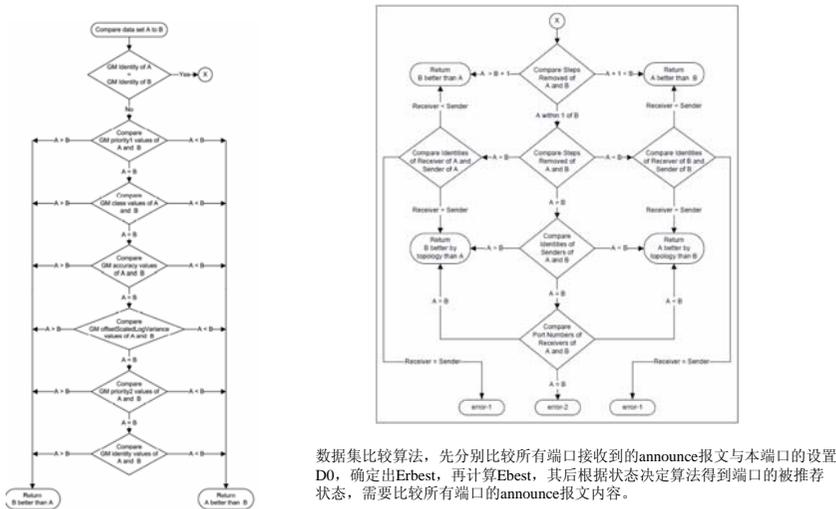


# BMC算法: 端口状态算法



- D0是设置的设备优先级
- Erbest是端口r接收到的announce消息
- Ebest是比较所以端口的Erbest得到的最优

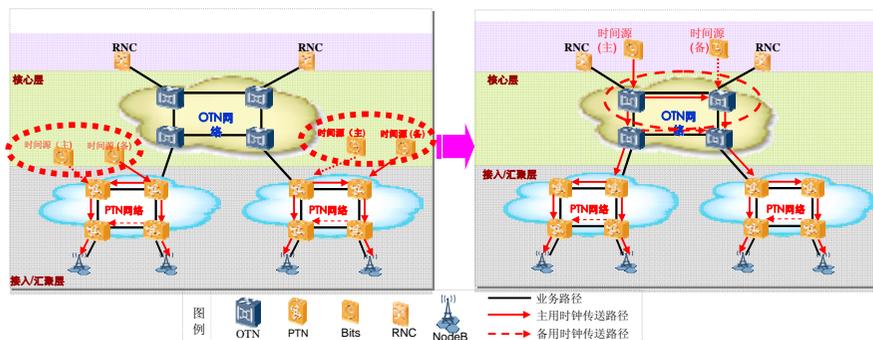
## BMC算法：数据集比较算法



## 介绍内容

- 时间同步基本概念
- 时间同步需求
- 时间同步技术
- 高精度时间同步技术PTP
- OTN时间同步应用背景
- PTP over OTN方案介绍
- OTN时间同步应用场景及实现方式
- 小结

## OTN时间同步应用背景

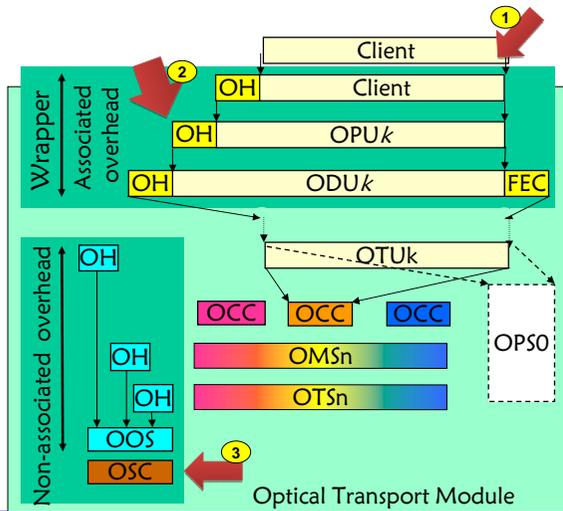


为了减少时间同步设备的设置数量，以降低网络建设成本和提高网络的可维护性，时间同步设备的设置位置从汇聚层上移到核心层，为了实现时间信号的端到端传送，要求OTN设备支持时间同步功能。

## 介绍内容

- 时间同步基本概念
- 时间同步需求
- 时间同步技术
- 高精度时间同步技术PTP
- OTN时间同步应用背景
- PTP over OTN方式介绍
- OTN时间同步应用场景及实现方式
- 小结

## OTN设备支持时间同步的方式



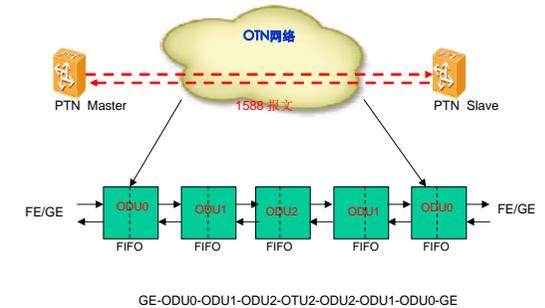
根据OTN承载1588报文的方式不同，存在以下3种时间同步方式：

- 透传方式：1588报文作为客户信号进行承载，OTN不对1588报文进行处理；
- ESC方式：1588报文通过ESC预留开销进行承载，OTN需对1588报文进行处理；
- OSC方式：1588报文通过OSC通道进行承载，OTN需对1588报文进行处理。

## OTN时间同步——纯透传方式

➤ 如图所示，在纯透传方式中：

- 将PTP作为普通业务进行传送，存在两种具体的方式
  - 比特透明方式：在特定条件（如网络稳定、无时延不对称性问题等）能实现一定精度，但会存在一定隐患，见后面分析
  - 非比特透明方式（如采用GFP封装），性能难以保证
- OTN设备不支持1588功能
- 不支持1pps+ToD时间接口。



## 纯透传方式优缺点分析

➤ 优点：

- 无须改造现网设备，实现方便和成本低。

➤ 缺点：

- 实现的时间精度低，主要由于：
  - 在时间路径上可能存在多个FIFO，处理时延不确定；
  - 设备节点不处理1588报文，无法补偿OTN网络的光纤不对称引入的时间偏差。

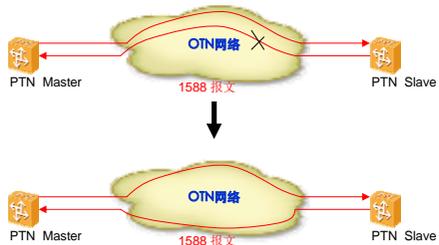
## 纯透传方式可能影响因素（1）

➤ OTN设备内部上下行业务处理的延时不对称影响：

- 由于OTN设备不对1588报文做任何处理，1588报文在OTN设备内部的映射解映射路径上存在多个FIFO：
- FIFO在稳定状态的位置不确定，造成静态延时每次都不一样，如每次上下电、复位、AIS恢复等；
- 映射和解映射的路径是完全独立的，上下行之间的延时无法做到对称；

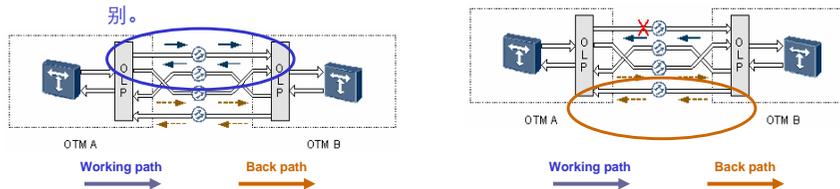
## 纯透传方式可能影响因素 (2)

- OTN网络内部业务路径不一致的延时不对称影响
  - OTN网络内部业务有SNCP保护，发生倒换时收发路径可能不一致，并导致上下行业务的物理路径不一致，从而引入延时不对称，影响1588的时间精度。



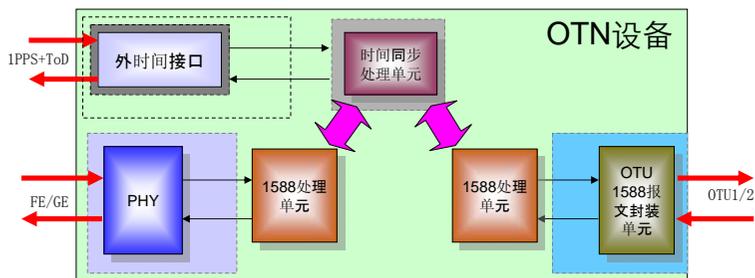
## 纯透传方式可能影响因素 (3)

- 光纤延时不对称
  - 光层OLP保护：OLP保护光纤的误差都是公里级别，引入的误差可达在ms级别。



- 物理端口之间的光纤不对称：即使没有OLP保护的端口之间，光纤物理长度也存在收发不对称的情况。
- 在透传方案下，下游PTN设备无法补偿OTN网络内部的光纤不对称，精度无法满足要求。

## OTN时间同步——ESC方式

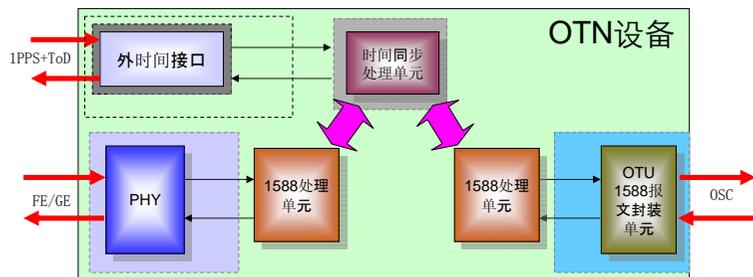


- 如图所示，在ESC方式中，每个节点（不含光放节点）均对1588进行处理：
  - 在发送端，来自以太网接口FE/GE的PTP报文经过1588处理单元处理后，通过OTU开销进行承载，通过OTU接口进行传送
  - 在接收端，来自OTU线路（从OTU开销中取出）的PTP报文经过1588处理单元处理后，通过以太网接口FE/GE进行传送
  - 外时间接口单元可以作为可选模块，在图中用虚线标出。

## ESC方式优缺点分析

- 优点：
  - 对于电处理节点能够逐点进行延时不对称性补偿，实现的时间精度高，
- 缺点：
  - 需要所有OTU单盘支持1588功能，设备成本较高。
  - 对于多跨远距离传输，在每个跨度均采用OLP进行保护的情况下，ESC方式无法实现逐跨段延时不对称性补偿，在网络发生倒换的情况下可能会引入较大的时间偏差。
  - ESC对1588报文进行承载，尚无标准定义，特别是采用哪个预留开销进行承载，目前还是厂家自定义的开销。

## OTN时间同步——OSC方式



- 如图所示，在OSC方式中，每个节点（包含光放节点）均对1588进行处理：
- 在发送端，来自以太网接口FE/GE的PTP报文经过1588处理单元处理后，通过OSC信道进行传送
  - 在接收端，来自OSC信道的PTP报文经过1588处理单元处理后，通过以太网接口FE/GE进行发送
  - 外时间接口单元可以作为可选模块，在图中用虚线标出。

41

## OSC方式优缺点分析

- 优点：
- 能够逐点进行时延不对称性补偿，实现的时间精度高。
  - 通过光放节点支持1588功能，可以对由OLP保护引入的路径不对称性进行补偿，适合于多跨段远距离传输的OTN系统。
- 缺点：
- OSC单盘需支持1588功能。
  - OSC对1588报文进行承载，目前尚无标准定义。

42

## OTN时间同步方式比较

	经济成本	标准支持	实现时间精度	推荐级别
透明方式	低	好	低	*
ESC方式	高	一般	较高	**
OSC方式	较高	较好	高	***

- 根据综合分析，推荐使用OSC方式来实现OTN网络时间同步，但有待后续研究和测试进一步验证。

43

## 介绍内容

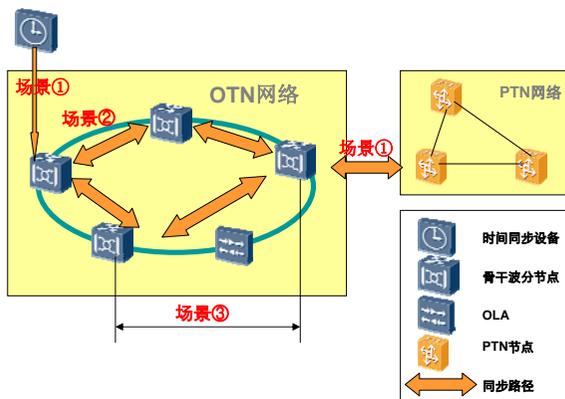
- 时间同步基本概念
- 时间同步需求
- 时间同步技术
- 高精度时间同步技术PTP
- OTN时间同步应用背景
- PTP over OTN方式介绍
- **OTN时间同步应用场景及实现方式**
- 小结

44

## OTN时间同步应用场景

➤根据时间同步信号传递所处的不同网络位置，OTN时间同步应用场景包括下列三种：

- 场景①：OTN网络与外部网络互联，包括从时间同步设备获取定时，以及与PTN设备的互通；
- 场景②：OTN网络内部的两个OTN节点之间（无OLA站）；
- 场景③：OTN网络内部长距传输的两个OTN节点之间（有OLA站）。



45

## 不同应用场景的时间同步方式分析

- 场景①：
  - 可以通过1pps+TOD或1588 FE/GE接口进行互联，要求OTN支持相应的接口方式；
- 场景②：
  - 可以采用OSC或ESC方式，要求OTN逐点进行1588功能处理；
- 场景③：
  - ESC方式：1588报文在OLA站进行透明传送，在两端进行时延不对称性补偿，但在多跨段方式下，各个跨度的倒换可能引入不同的不对称性，难以进行有效补偿；
  - OSC方式：要求OTN节点和OLA光放站均支持1588功能，可以实现逐跨段进行时延不对称性补偿，国内实现更高精度的时间传送。

总体来看，在时间同步方面，OTN与外部连接（场景①）可以选择1pps+TOD或1588 FE/GE方式，OTN内部（场景②和场景③）建议使用OSC方式。

46

## OTN时间同步厂家支持情况

- 在4个OTN厂家中，目前对OTN时间同步功能支持情况如下：
  - 有两个厂家不支持对1588的处理功能，仅支持纯透传方式；
  - 有1个厂家仅支持通过OSC方式采用BC模式实现1588功能；
  - 有1个厂家同时支持通过OSC方式和ESC方式实现1588功能，采用的模式均为BC模式。

47

## 介绍内容

- 时间同步基本概念
- 时间同步需求
- 时间同步技术
- 高精度时间同步技术PTP
- OTN时间同步应用背景
- PTP over OTN方案介绍
- OTN时间同步应用场景及实现方式
- 小结

48

