



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105027489 B

(45)授权公告日 2018.08.21

(21)申请号 201380002819.5

(22)申请日 2013.12.20

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105027489 A

(43)申请公布日 2015.11.04

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.03.07

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/CN2013/090159 2013.12.20

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/089848 ZH 2015.06.25

(73)专利权人 华为技术有限公司
地址 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办
公楼

(72)发明人 吕京飞

(74)专利代理机构 北京中博世达专利商标代理
有限公司 11274

代理人 申健

(51)Int.Cl.
H04L 7/00(2006.01)
H04L 29/06(2006.01)

(56)对比文件
CN 101505214 A,2009.08.12,
CN 101505214 A,2009.08.12,
CN 102195766 A,2011.09.21,
CN 103138887 A,2013.06.05,
CN 102195735 A,2011.09.21,
CN 101330374 A,2008.12.24,

审查员 曾康玲

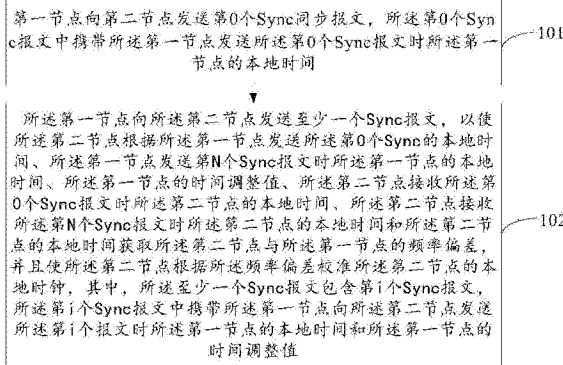
权利要求书12页 说明书57页 附图17页

(54)发明名称

精确时钟协议同步方法和节点

(57)摘要

本发明实施例提供一种精确时钟协议同步方法和节点,涉及通信领域、电力领域、自动化领域和医药领域等,有助于提高PTP报文频率同步和时间同步的精度。其方法为:第二节点在与第一节点进行频率同步或时间同步的过程中,报文交互的过程需要记录相邻报文间第一节点和第二节点的时间调整值,以根据报文发送时的本地时间和接收时的本地时间以及时间调整值获取第二节点与第一节点的频率偏差,或根据报文发送时的本地时间和接收时的本地时间以及时间调整值获取第二节点与第一节点的链路延时,并且使第二节点根据链路延时获得时间偏差,以根据时间偏差校准第二节点的本地时钟。本发明实施例用于频率同步和时间同步。



1. 一种精确时钟协议同步方法,其特征在于,所述方法包括:

第一节点向第二节点发送第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;

所述第一节点向所述第二节点发送至少一个Sync报文,所述至少一个Sync报文不包括所述第0个Sync报文,以使所述第二节点根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第N个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收所述第N个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并且使所述第二节点根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中,所述至少一个Sync报文包含第i个Sync报文,所述第i个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第i个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第i-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第i个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy_i 是所述第二节点接收所述第i-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第i个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值,N为正整数,i是1至N中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第N个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第N个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i},$$

$$\text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N.$$

3. 一种精确时钟协议同步方法,其特征在于,所述方法包括:

第二节点从第一节点接收第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;

所述第二节点接收所述第一节点发送的至少一个Sync报文,所述至少一个Sync报文不包括所述第0个Sync报文,所述至少一个Sync报文包含第i个Sync报文,所述第i个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第i个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第i-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第i个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

所述第二节点根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第N个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收第N个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中, Δy_i 是所述第二节点接收所述第i-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第i个同步报文的时

间之间所述第二节点的时间调整值, N 为正整数, i 是 1 至 N 中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第 0 个 Sync 报文的时间与所述第一节点发送所述第 N 个 Sync 报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第 0 个 Sync 报文的时间与所述第二节点接收所述第 N 个 Sync 报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

4. 根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i},$$

$$\text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N.$$

5. 一种精确时钟协议同步方法, 其特征在于, 所述方法包括:

第一节点向第二节点发送第一 Sync 同步报文, 所述第一 Sync 报文中携带所述第一节点发送所述第一 Sync 报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

所述第一节点接收所述第二节点发送的 Delay_Req 延迟请求报文, 并获取所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一 Sync 报文的时间与所述第一节点接收所述 Delay_Req 报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

所述第一节点向所述第二节点发送 Delay_Resp 延迟响应报文, 所述 Delay_Resp 报文包括所述第一节点的时间调整值 Δx 和 T_4 , 以使所述第二节点根据 T_1 、 T_4 、 Δx 、所述第二节点接收所述第一 Sync 报文时所述第二节点的本地时间 T_2 、所述第二节点发送所述 Delay_Req 报文时所述第二节点的本地时间 T_3 , 和所述第二节点的时间调整值 Δy 获取链路延时 D , 其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一 Sync 报文的时间与所述第二节点发送所述 Delay_Req 报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

其中, 所述 T_1 为第一节点发送该第一 Sync 报文时所述第一节点的本地时间; 所述 T_2 为第二节点接收所述第一 Sync 报文时所述第二节点的本地时间; 所述 T_3 为第二节点发送所述 Delay_Req 报文时所述第二节点的本地时间; 所述 T_4 为第一节点接收所述 Delay_Req 报文时所述第一节点的本地时间。

6. 根据权利要求 5 所述的方法, 其特征在于, 所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}.$$

7. 根据权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

所述第一节点向所述第二节点发送第二 Sync 报文, 所述第二 Sync 报文中携带所述第一节点发送所述第二 Sync 报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 , 使所述第二节点根据 T'_1 、所述第二节点接收所述第二 Sync 报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 和 D 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差 Offset, 并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

8. 根据权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 所述第二节点与所述第一节点的时间偏差

为:

$$\text{Offset} = T_2' - T_1' - D。$$

9. 一种精确时钟协议同步方法,其特征在於,所述方法包括:

第二节点接收第一节点发送的第一Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

所述第二节点向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文,并获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

所述第二节点接收所述第一节点发送的Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 ,和所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

所述第二节点根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 Δx 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ;

其中,所述 T_1 为第一节点发送该第一Sync报文时所述第一节点的本地时间;所述 T_2 为第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间;所述 T_3 为第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间;所述 T_4 为第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间。

10. 根据权利要求9所述的方法,其特征在於,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}。$$

11. 根据权利要求10所述的方法,其特征在於,所述方法还包括:

所述第二节点接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

所述第二节点根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述第二Sync报文的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差Offset校准所述第二节点的本地时钟。

12. 根据权利要求11所述的方法,其特征在於,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$\text{Offset} = T_2' - T_1' - D。$$

13. 一种精确时钟协议同步方法,其特征在於,所述方法包括:

第一节点向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

所述第一节点向所述第二节点发送第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时所述第一节点的本地时间 T''_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

所述第一节点接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文,并获取所述第一节

点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, 其中, 所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;

所述第一节点向所述第二节点发送Delay_Resp报文, 所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和 $\Delta x'$, 以使所述第二节点根据 T_1 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 、所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D , 其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

其中, 所述 T_1 为第一节点发送该第一Sync报文时所述第一节点的本地时间; 所述 T_2 为第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间; 所述 T_3 为第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间; 所述 T_4 为第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间。

14. 根据权利要求13所述的方法, 其特征在于, 所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x'') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

15. 根据权利要求14所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

所述第一节点向所述第二节点发送第二Sync报文, 所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 , 以使所述第二节点根据所述 T'_1 、所述链路延时 D 以及所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset。

16. 根据权利要求15所述的方法, 其特征在于, 所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$\text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D。$$

17. 一种精确时钟协议同步方法, 其特征在于, 所述方法包括:

第二节点接收第一节点发送的第一Sync同步报文, 所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

所述第二节点向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文, 并获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

所述第二节点接收所述第一节点发送的第三Sync报文, 所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时的本地时间 T''_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, 其中, 所述第三Sync报文是所述第一节点在 T_1 与接收到所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 之间发送至所述第二节点的, 且所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;

所述第二节点接收所述第一节点发送的Delay_Resp延迟响应报文, 所述Delay_Resp报

文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

所述第二节点根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 以及 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ;

其中,所述 T_1 为第一节点发送该第一Sync报文时所述第一节点的本地时间;所述 T_2 为第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间;所述 T_3 为第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间;所述 T_4 为第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间。

18. 根据权利要求17所述的方法,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x'') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

19. 根据权利要求18所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

所述第二节点接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

所述第二节点根据 D 、 T'_1 以及所述第二节点接收所述Sync'报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

20. 根据权利要求19所述的方法,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$\text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D。$$

21. 一种精确时钟协议同步方法,其特征在于,所述方法包括:

第一节点接收第二节点发送的Pdelay_Req延迟请求报文;

所述的第一节点向所述第二节点发送Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp延迟响应报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx ,以使所述第二节点根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

22. 根据权利要求21所述的方法,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

23. 根据权利要求22所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

所述第一节点向所述第二节点发送Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据 T'_1 、D以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

24. 根据权利要求23所述的方法,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$\text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D。$$

25. 一种精确时钟协议同步方法,其特征在于,所述方法包括:

第二节点向第一节点发送Pdelay_Req延迟请求报文;

所述第二节点接收所述第一节点发送的Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

所述第二节点根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时D,其中, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

26. 根据权利要求25所述的方法,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}。$$

27. 根据权利要求26所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

所述第二节点接收所述第一节点发送的Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

所述第二节点根据 T'_1 、D以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

28. 根据权利要求27所述的方法,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$\text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D。$$

29. 一种第一节点,其特征在于,包括:

发送单元,用于向第二节点发送第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;

所述发送单元还用于向所述第二节点发送至少一个Sync报文,所述至少一个Sync报文不包括所述第0个Sync报文,以使所述第二节点根据所述 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第N个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第

二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收所述第 N 个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并且使所述第二节点根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中,所述至少一个Sync报文包含第 i 个Sync报文,所述第 i 个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第 i 个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第 $i-1$ 个同步报文的时间与所述第一节点发送第 i 个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy_i 是所述第二节点接收所述第 $i-1$ 个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第 i 个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值, N 为正整数, i 是1至 N 中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

30. 根据权利要求29所述的第一节点,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i},$$

$$\text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N.$$

31. 一种第二节点,其特征在于,包括:

接收单元,用于从第一节点接收第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;

所述接收单元还用于接收所述第一节点发送的至少一个Sync报文,所述至少一个Sync报文不包括所述第0个Sync报文,所述至少一个Sync报文包含第 i 个Sync报文,所述第 i 个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第 i 个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第 $i-1$ 个同步报文的时间与所述第一节点发送第 i 个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

处理单元,用于根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第 N 个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收第 N 个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中, Δy_i 是所述第二节点接收所述第 $i-1$ 个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第 i 个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值, N 为正整数, i 是1至 N 中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

32. 根据权利要求31所述的第二节点,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i},$$

$$\text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N.$$

33. 一种第一节点, 其特征在于, 包括:

发送单元, 用于向第二节点发送第一Sync同步报文, 所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

接收单元, 用于接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文;

获取单元, 用于获取所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

所述发送单元还用于向所述第二节点发送Delay_Resp延迟响应报文, 所述Delay_Resp报文包括所述第一节点的时间调整值 Δx 和 T_4 , 以使所述第二节点根据 T_1 、 T_4 、 Δx 、所述第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 、所述第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_3 , 和所述第二节点的时间调整值 Δy 获取链路延时 D , 其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

其中, 所述 T_1 为第一节点发送该第一Sync报文时所述第一节点的本地时间; 所述 T_2 为第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间; 所述 T_3 为第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间; 所述 T_4 为第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间。

34. 根据权利要求33所述的第一节点, 其特征在于, 所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}.$$

35. 根据权利要求34所述的第一节点, 其特征在于, 所述发送单元还用于:

向所述第二节点发送第二Sync报文, 所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 , 使所述第二节点根据 T'_1 、所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 和 D 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset, 并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

36. 根据权利要求35所述的第一节点, 其特征在于, 所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$\text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D.$$

37. 一种第二节点, 其特征在于, 包括:

接收单元, 用于接收第一节点发送的第一Sync同步报文, 所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

发送单元,用于向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文;

获取单元,用于获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

所述接收单元还用于接收所述第一节点发送的Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 ,和所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

处理单元,用于根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 Δx 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ;

其中,所述 T_1 为第一节点发送该第一Sync报文时所述第一节点的本地时间;所述 T_2 为第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间;所述 T_3 为第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间;所述 T_4 为第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间。

38.根据权利要求37所述的第二节点,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

39.根据权利要求38所述的第二节点,其特征在于,所述接收单元,还用于接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

所述处理单元,还用于根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述第二Sync报文的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差Offset校准所述第二节点的本地时钟。

40.根据权利要求39所述的第二节点,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$\text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D。$$

41.一种第一节点,其特征在于,包括:

发送单元,用于向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

所述发送单元,还用于向所述第二节点发送第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时所述第一节点的本地时间 T''_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

接收单元,用于接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文;

获取单元,用于获取所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;

所述发送单元,还用于向所述第二节点发送Delay_Resp报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和 $\Delta x'$,以使所述第二节点根据所述 T_1 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 、所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

其中,所述 T_1 为第一节点发送该第一Sync报文时所述第一节点的本地时间;所述 T_2 为第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间;所述 T_3 为第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间;所述 T_4 为第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间。

42. 根据权利要求41所述的第一节点,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x'') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

43. 根据权利要求42所述的第一节点,其特征在于,所述发送单元还用于:

向所述第二节点发送第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据所述 T'_1 、所述链路延时 D 以及所述第二节点接收所述Sync'报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset。

44. 根据权利要求43所述的第一节点,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$\text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D。$$

45. 一种第二节点,其特征在于,包括:

接收单元,用于接收第一节点发送的第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

发送单元,用于向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文;

获取单元,用于获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

所述接收单元,还用于接收所述第一节点发送的第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时的本地时间 T''_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第三Sync报文是所述第一节点在 T_1 与接收到所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 之间发送至所述第二节点的,且所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;

所述接收单元,还用于接收所述第一节点发送的Delay_Req延迟请求报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述

第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

处理单元,用于根据所述 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x'$ 、 $\Delta x'$ 以及 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时D;

其中,所述 T_1 为第一节点发送该第一Sync报文时所述第一节点的本地时间;所述 T_2 为第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间;所述 T_3 为第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间;所述 T_4 为第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间。

46.根据权利要求45所述的第二节点,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

47.根据权利要求46所述的第二节点,其特征在于,所述接收单元,还用于接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

所述处理单元,还用于根据D、 T'_1 以及所述第二节点接收所述Sync'报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

48.根据权利要求47所述的第二节点,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$\text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D。$$

49.一种第一节点,其特征在于,包括:

接收单元,用于接收第二节点发送的Pdelay_Req延迟请求报文;

发送单元,用于向所述第二节点发送Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp延迟响应报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx ,以使所述第二节点根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时D,其中, Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

50.根据权利要求49所述的第一节点,其特征在于,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

51.根据权利要求50所述的第一节点,其特征在于,所述发送单元,还用于向所述第二节点发送Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据 T'_1 、D以及所述第二节点接收所述Sync报文时

所述第二节点的本地时间 T_2' 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

52. 根据权利要求51所述的第一节点,其特征在於,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$\text{Offset} = T_2' - T_1' - D。$$

53. 一种第二节点,其特征在於,包括:

发送单元,用于向第一节点发送Pdelay_Req延迟请求报文;

接收单元,用于接收所述第一节点发送的Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

处理单元,用于根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时D,其中, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

54. 根据权利要求53所述的第二节点,其特征在於,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}。$$

55. 根据权利要求54所述的第二节点,其特征在於,所述接收单元,还用于接收所述第一节点发送的Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1' ;

所述处理单元,还用于根据 T_1' 、D以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2' 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

56. 根据权利要求55所述的第二节点,其特征在於,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$\text{Offset} = T_2' - T_1' - D。$$

精确时钟协议同步方法和节点

技术领域

[0001] 本发明涉及通信领域、电力领域、自动化领域和医药领域等,尤其涉及精确时钟协议同步方法和节点。

背景技术

[0002] 传统的方式是使用物理层信号来达到频率同步,随着技术的发展,越来越多的设备使用报文进行频率同步。在无线网络中,设备之间不仅可以使用报文进行频率同步,还可以使用报文进行时间同步。当前技术中,电气电子工程师学会(英文:Institute of Electrical and Electronic Engineers,缩写:IEEE)1588-2008标准使用精确时钟协议(英文:Precision Time Protocol,缩写:PTP)报文进行频率同步和时间同步。

[0003] 使用PTP进行同步可能存在一定的误差,从而影响PTP频率同步和PTP时间同步的精度。

发明内容

[0004] 本发明提供精确时钟协议同步方法和节点,有助于减少PTP报文进行频率同步和时间同步的误差问题,有助于提高PTP同步的精度。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 第一方面,本发明提供一种精确时钟协议同步方法,所述方法包括:

[0007] 第一节点向第二节点发送第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;

[0008] 所述第一节点向所述第二节点发送至少一个Sync报文,以使所述第二节点根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第N个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收所述第N个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并且使所述第二节点根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中,所述至少一个Sync报文包含第i个Sync报文,所述第i个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第i个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第i-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第i个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy_i 是所述第二节点接收所述第i-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第i个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值,N为正整数,i是1至N中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第N个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第N个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0009] 结合第一方面,在第一方面的一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$[0010] \quad R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i}$$

$$[0011] \quad \text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N。$$

[0012] 第二方面,本发明提供一种精确时钟协议同步方法,所述方法包括:

[0013] 第二节点从第一节点接收第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;

[0014] 所述第二节点接收所述第一节点发送的至少一个Sync报文,所述至少一个Sync报文包含第 i 个Sync报文,所述第 i 个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第 i 个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第 $i-1$ 个同步报文的时间与所述第一节点发送第 i 个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0015] 所述第二节点根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第 N 个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收第 N 个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中, Δy_i 是所述第二节点接收所述第 $i-1$ 个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第 i 个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值, N 为正整数, i 是1至 N 中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0016] 结合第二方面,在第二方面的一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$[0017] \quad R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i}$$

$$[0018] \quad \text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N。$$

[0019] 第三方面,本发明提供一种精确时钟协议同步方法,所述方法包括:

[0020] 第一节点向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0021] 所述第一节点接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文,并获取所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0022] 所述第一节点向所述第二节点发送Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报

文包括所述第一节点的时间调整值 Δx 和 T_4 , 以使所述第二节点根据 T_1 、 T_4 、 Δx 、所述第二节点接收所述第一 Sync 报文时所述第二节点的本地时间 T_2 、所述第二节点发送所述 Delay_Req 报文时所述第二节点的本地时间 T_3 , 和所述第二节点的时间调整值 Δy 获取链路延时 D , 其中, 是所述第二节点接收所述第一 Sync 报文的时间与所述第二节点发送所述 Delay_Req 报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0023] 结合第三方面, 在第三方面的第一种可能实现的方式中, 所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0024] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0025] 结合第三方面的第一种可能实现的方式中, 在第三方面的第二种可能实现的方式中, 所述方法还包括:

[0026] 所述第一节点向所述第二节点发送第二 Sync 报文, 所述第二 Sync 报文中携带所述第一节点发送所述第二 Sync 报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 , 使所述第二节点根据 T'_1 、所述第二节点接收所述第二 Sync 报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 和 D 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差 Offset, 并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0027] 结合第三方面的第二种可能实现的方式, 在第三方面的第三种可能实现的方式中, 所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0028] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0029] 第四方面, 本发明提供一种精确时钟协议同步方法, 所述方法包括:

[0030] 第二节点接收第一节点发送的第一 Sync 同步报文, 所述 Sync 报文中携带所述第一节点发送所述第一 Sync 报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0031] 所述第二节点向所述第一节点发送 Delay_Req 延迟请求报文, 并获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一 Sync 报文的时间与所述第二节点发送所述 Delay_Req 报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

[0032] 所述第二节点接收所述第一节点发送的 Delay_Resp 延迟响应报文, 所述 Delay_Resp 报文中携带所述第一节点接收所述 Delay_Req 报文时所述第一节点的本地时间 T_4 , 和所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一 Sync 报文的时间与所述第一节点接收所述 Delay_Req 报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0033] 所述第二节点根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 Δx 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D 。

[0034] 结合第四方面, 在第四方面的第一种可能实现的方式中, 所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0035] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0036] 结合第四方面的第一种可能实现的方式, 在第四方面的第二种可能实现的方式中, 所述方法还包括:

[0037] 所述第二节点接收所述第一节点发送的第二 Sync 报文, 所述第二 Sync 报文中携带所述第一节点发送所述第二 Sync 报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

[0038] 所述第二节点根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述第二Sync报文的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差Offset校准所述第二节点的本地时钟。

[0039] 结合第四方面的第二种可能实现的方式,在第四方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0040] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0041] 第五方面,本发明提供一种精确时钟协议同步方法,所述方法包括:

[0042] 第一节点向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0043] 所述第一节点向所述第二节点发送第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0044] 所述第一节点接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文,并获取所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;

[0045] 所述第一节点向所述第二节点发送Delay_Resp报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和 $\Delta x'$,以使所述第二节点根据 T_1 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x'$ 、 $\Delta x'$ 、所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0046] 结合第五方面,在第五方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0047] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0048] 结合第五方面的第一种可能实现的方式,在第五方面的第二种可能实现的方式中,所述方法还包括:

[0049] 所述第一节点向所述第二节点发送第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据所述 T'_1 、所述链路延时 D 以及所述第二节点接收所述Sync'报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset。

[0050] 结合第五方面的第二种可能实现的方式,在第五方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0051] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0052] 第六方面,本发明提供一种精确时钟协议同步方法,所述方法包括:

[0053] 第二节点接收所述第一节点发送的第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0054] 所述第二节点向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文,并获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

[0055] 所述第二节点接收所述第一节点发送的第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时的本地时间 T''_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第三Sync报文是所述第一节点在 T_1 与接收到所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 之间发送至所述第二节点的,且所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;

[0056] 所述第二节点接收所述第一节点发送的Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0057] 所述第二节点根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 以及 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D 。

[0058] 结合第六方面,在第六方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0059] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x'') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0060] 结合第六方面的第一种可能实现的方式,在第六方面的第二种可能实现的方式中,所述方法还包括:

[0061] 所述第二节点接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

[0062] 所述第二节点根据 D 、 T'_1 以及所述第二节点接收所述Sync'报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0063] 结合第六方面的第二种可能实现的方式,在第六方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0064] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0065] 第七方面,本发明提供一种精确时钟协议同步方法,所述方法包括:

[0066] 第一节点接收第二节点发送的Pdelay_Req延迟请求报文;

[0067] 所述的第一节点向所述第二节点发送Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp延迟响应报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx ,以使所述第二节点根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所

述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0068] 结合第七方面,在第七方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0069] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

[0070] 结合第七方面的第一种可能实现的方式,在第七方面的第二种可能实现的方式中,所述方法还包括:

[0071] 所述第一节点向所述第二节点发送Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0072] 结合第七方面的第二种可能实现的方式,在第七方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0073] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0074] 第八方面,本发明提供一种精确时钟协议同步方法,所述方法包括:

[0075] 第二节点向第一节点发送Pdelay_Req延迟请求报文;

[0076] 所述第二节点接收所述第一节点发送的Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0077] 所述第二节点根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0078] 结合第八方面,在第八方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0079] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

[0080] 结合第八方面的第一种可能实现的方式,在第八方面的第二种可能实现的方式中,所述方法还包括:

[0081] 所述第二节点接收所述第一节点发送的Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

[0082] 所述第二节点根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差

校准所述第二节点的本地时钟。

[0083] 结合第八方面的第二种可能实现的方式,在第八方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0084] \quad \text{Offset} = T'_{2,N} - T'_{1,N} - D$$

[0085] 第九方面,本发明提供一种第一节点,包括:

[0086] 发送单元,用于向第二节点发送第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;

[0087] 所述发送单元还用于向所述第二节点发送至少一个Sync报文,以使所述第二节点根据所述 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第N个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收所述第N个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并且使所述第二节点根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中,所述至少一个Sync报文包含第i个Sync报文,所述第i个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第i个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第i-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第i个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy_i 是所述第二节点接收所述第i-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第i个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值,N为正整数,i是1至N中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第N个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第N个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0088] 结合第九方面,在第九方面的一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$[0089] \quad R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i}$$

$$[0090] \quad \text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N$$

[0091] 第十方面,本发明提供一种第二节点,包括:

[0092] 接收单元,用于从第一节点接收第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;

[0093] 所述接收单元还用于接收所述第一节点发送的至少一个Sync报文,所述至少一个Sync报文包含第i个Sync报文,所述第i个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第i个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第i-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第i个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0094] 处理单元,用于根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第N个Sync报文时所述第一节点的本

地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收第N个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中, Δy_i 是所述第二节点接收所述第*i*-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第*i*个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值, N 为正整数, i 是1至 N 中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第N个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第N个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0095] 结合第十方面,在第十方面的一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$[0096] \quad R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i}$$

$$[0097] \quad \text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N。$$

[0098] 第十一方面,本发明提供一种第一节点,包括:

[0099] 发送单元,用于向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0100] 接收单元,用于接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文;

[0101] 获取单元,用于获取所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0102] 所述发送单元还用于向所述第二节点发送Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报文包括所述第一节点的时间调整值 Δx 和 T_4 ,以使所述第二节点根据 T_1 、 T_4 、 Δx 、所述第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 、所述第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_3 ,和所述第二节点的时间调整值 Δy 获取链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0103] 结合第十一方面,在第十一方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0104] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0105] 结合第十一方面的第一种可能实现的方式,在第十一方面的第二种可能实现的方式中,所述发送单元还用于:

[0106] 向所述第二节点发送第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,使所述第二节点根据 T'_1 、所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 和 D 获取所述第二节点与所述第一

节点的时间偏差Offset,并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0107] 结合第十一方面的第二种可能实现的方式,在第十一方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0108] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0109] 第十二方面,本发明提供一种第二节点,包括:

[0110] 接收单元,用于接收第一节点发送的第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0111] 发送单元,用于向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文;

[0112] 获取单元,用于获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

[0113] 所述接收单元还用于接收所述第一节点发送的Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 ,和所述第一节点的时间调整值 Δx ,是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0114] 处理单元,用于根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 Δx 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时D。

[0115] 结合第十二方面,在第十二方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0116] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0117] 结合第十二方面的第一种可能实现的方式,在第十二方面的第二种可能实现的方式中,所述接收单元,还用于接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

[0118] 所述处理单元,还用于根据 T'_1 、D以及所述第二节点接收所述第二Sync报文的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差Offset校准所述第二节点的本地时钟。

[0119] 结合第十二方面的第二种可能实现的方式,在第十二方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0120] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0121] 第十三方面,本发明提供一种第一节点,包括:

[0122] 发送单元,用于向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0123] 所述发送单元,还用于向所述第二节点发送第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时所述第一节点的本地时间 T''_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0124] 接收单元,用于接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文;

[0125] 获取单元,用于获取所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;

[0126] 所述发送单元,还用于向所述第二节点发送Delay_Resp报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和 $\Delta x'$,以使所述第二节点根据所述 T_1 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 、所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0127] 结合第十三方面,在第十三方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0128] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x'') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0129] 结合第十三方面的第一种可能实现的方式,在第十三方面的第二种可能实现的方式中,所述发送单元还用于:

[0130] 向所述第二节点发送第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据所述 T'_1 、所述链路延时 D 以及所述第二节点接收所述Sync'报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset。

[0131] 结合第十三方面的第二种可能实现的方式,在第十三方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0132] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0133] 第十四方面,本发明提供一种第二节点,包括:

[0134] 接收单元,用于接收所述第一节点发送的第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0135] 发送单元,用于向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文;

[0136] 获取单元,用于获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

[0137] 所述接收单元,还用于接收所述第一节点发送的第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时的本地时间 T''_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第三Sync报文是所述第一节点在 T_1 与接收到所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 之间发送至所述第二节点的,且所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;

[0138] 所述接收单元,还用于接收所述第一节点发送的Delay_Req延迟请求报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间

T_4 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0139] 处理单元,用于根据所述 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x'$ 、 $\Delta x'$ 以及 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D 。

[0140] 结合第十四方面,在第十四方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0141] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0142] 结合第十四方面的第一种可能实现的方式,在第十四方面的第二种可能实现的方式中,所述接收单元,还用于接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

[0143] 所述处理单元,还用于根据 D 、 T'_1 以及所述第二节点接收所述Sync'报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset。

[0144] 结合第十四方面的第二种可能实现的方式,在第十四方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0145] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0146] 第十五方面,本发明提供一种第一节点,包括:

[0147] 接收单元,用于接收第二节点发送的Pdelay_Req延迟请求报文;

[0148] 发送单元,用于向所述第二节点发送Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp延迟响应报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx ,以使所述第二节点根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0149] 结合第十五方面,在第十五方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0150] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

[0151] 结合第十五方面的第一种可能实现的方式,在第十五方面的第二种可能实现的方式中,所述发送单元,还用于向所述第二节点发送Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0152] 结合第十五方面的第二种可能实现的方式,在第十五方面的第三种可能实现的方式中,

式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0153] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0154] 第十六方面,本发明提供一种第二节点,包括:

[0155] 发送单元,用于向第一节点发送Pdelay_Req延迟请求报文;

[0156] 接收单元,用于接收所述第一节点发送的Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0157] 处理单元,用于根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0158] 结合第十六方面,在第十六方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0159] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

[0160] 结合第十六方面的第一种可能实现的方式,在第十六方面的第二种可能实现的方式中,

[0161] 所述接收单元,还用于接收所述第一节点发送的Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

[0162] 所述处理单元,还用于根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0163] 结合第十六方面的第二种可能实现的方式,在第十六方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0164] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0165] 第十七方面,本发明提供一种第一节点,包括中央处理器、晶振、物理层芯片、计数器、存储器以及总线,物理层芯片包括接收时间生成电路、发送时间生成电路、收发器、晶振、计数器、寄存器以及总线,其中:

[0166] 收发器,用于向第二节点发送第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;

[0167] 所述收发器还用于向所述第二节点发送至少一个Sync报文,以使所述第二节点根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第 N 个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收所述第 N 个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并且使所述第二节点根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中,所述至少一个Sync报文包含第 i 个Sync报文,所述第 i 个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二

节点发送所述第*i*个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第*i*-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第*i*个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy_i 是所述第二节点接收所述第*i*-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第*i*个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值, N 为正整数, i 是1至 N 中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0168] 结合第十七方面,在第十七方面的一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$[0169] \quad R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i}$$

$$[0170] \quad \text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N.$$

[0171] 第十八方面,本发明提供一种第二节点,包括中央处理器、晶振、物理层芯片、计数器、存储器以及总线,物理层芯片包括接收时间生成电路、发送时间生成电路、收发器、晶振、计数器、寄存器以及总线,其中:

[0172] 收发器,用于从第一节点接收第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;

[0173] 所述收发器还用于接收所述第一节点发送的至少一个Sync报文,所述至少一个Sync报文包含第*i*个Sync报文,所述第*i*个Sync报文包括所述第一节点向所述第二节点发送所述第*i*个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第*i*-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第*i*个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0174] 中央处理单元,用于根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第 N 个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收第 N 个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中, Δy_i 是所述第二节点接收所述第*i*-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第*i*个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值, N 为正整数, i 是1至 N 中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0175] 结合第十八方面,在第十八方面的一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$[0176] \quad R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i}$$

$$[0177] \quad \text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N$$

[0178] 第十九方面,本发明提供一种第一节点,包括中央处理器、晶振、物理层芯片、计数器、存储器以及总线,物理层芯片包括接收时间生成电路、发送时间生成电路、收发器、晶振、计数器、寄存器以及总线,其中:

[0179] 收发器,用于向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0180] 所述收发器,还用于接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文;

[0181] 中央处理单元用于获取所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0182] 所述收发器,还用于向所述第二节点发送Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报文包括所述第一节点的时间调整值 Δx 和 T_4 ,以使所述第二节点根据 T_1 、 T_4 、 Δx 、所述第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 、所述第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_3 ,和所述第二节点的时间调整值 Δy 获取链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0183] 结合第十九方面,在第十九方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0184] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0185] 结合第十九方面的第一种可能实现的方式,在第十九方面的第二种可能实现的方式中,所述收发器还用于:

[0186] 向所述第二节点发送第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,使所述第二节点根据 T'_1 、所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 和 D 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时间。

[0187] 结合第十九方面的第二种可能实现的方式,在第十九方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0188] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0189] 第二十方面,本发明提供一种第二节点,包括中央处理器、晶振、物理层芯片、计数器、存储器以及总线,物理层芯片包括接收时间生成电路、发送时间生成电路、收发器、晶振、计数器、寄存器以及总线,其中:

[0190] 所述收发器,用于接收第一节点发送的第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0191] 所述收发器,还用于向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文;

[0192] 中央处理单元,用于获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

[0193] 所述收发器,还用于接收所述第一节点发送的Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 ,和所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0194] 所述中央处理单元,用于根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 Δx 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D 。

[0195] 结合第二十方面,在第二十方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0196] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0197] 结合第二十方面的第一种可能实现的方式,在第二十方面的第二种可能实现的方式中,所述收发器,还用于接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文包括所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

[0198] 所述处理器还用于根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述第二Sync报文的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差Offset校准所述第二节点的本地时钟。

[0199] 结合第二十方面的第二种可能实现的方式,在第二十方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0200] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0201] 第二十一方面,本发明提供一种第一节点,包括中央处理器、晶振、物理层芯片、计数器、存储器以及总线,物理层芯片包括接收时间生成电路、发送时间生成电路、收发器、晶振、计数器、寄存器以及总线,其中:

[0202] 所述收发器,用于向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0203] 所述收发器,还用于向所述第二节点发送第三Sync报文,所述第三Sync报文包括所述第一节点发送第三Sync报文时所述第一节点的本地时间 T''_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0204] 所述收发器,还用于接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文;

[0205] 所述中央处理单元,还用于获取所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;

[0206] 所述收发器,还用于向所述第二节点发送Delay_Resp报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和 $\Delta x'$,以使所述第二节点根据 T_1 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 、所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0207] 结合第二十一方面,在第二十方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0208] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x'') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0209] 结合第二十一方面的第一种可能实现的方式,在第二十方面的第二种可能实现的方式中,所述收发器,还用于向所述第二节点发送第二Sync报文,所述第二Sync报文包括所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据所述 T'_1 、所述链路延时 D 以及所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset。

[0210] 结合第二十一方面的第二种可能实现的方式,在第二十方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0211] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0212] 第二十二方面,本发明提供一种第二节点,包括中央处理器、晶振、物理层芯片、计数器、存储器以及总线,物理层芯片包括接收时间生成电路、发送时间生成电路、收发器、晶振、计数器、寄存器以及总线,其中:

[0213] 所述收发器,用于接收所述第一节点发送的第一Sync同步报文,所述第一Sync报文包括所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;

[0214] 所述收发器,还用于向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文;

[0215] 所述中央处理单元,用于获取所述第二节点的时间调整值 Δy ,是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;

[0216] 所述收发器,还用于接收所述第一节点发送的第三Sync报文,所述第三Sync报文包括所述第一节点发送所述第三Sync报文时的本地时间 T''_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第三Sync报文是所述第一节点在 T_1 与接收到所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 之间发送至所述第二节点的,且所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;

[0217] 所述收发器,还用于接收所述第一节点发送的Delay_Req延迟请求报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0218] 所述中央处理单元,用于根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 以及 Δy 获取所述第二节点

与所述第一节点的链路延时D。

[0219] 结合第二十二方面,在第二十二方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0220] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0221] 结合第二十二方面的第一种可能实现的方式,在第二十二方面的第二种可能实现的方式中,所述收发器,还用于接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文包括所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间T'1;

[0222] 所述中央处理单元,还用于根据D、T'1以及所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间T'2获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时间。

[0223] 结合第二十二方面的第二种可能实现的方式,在第二十二方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0224] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0225] 第二十三方面,本发明提供一种第一节点,包括中央处理器、晶振、物理层芯片、计数器、存储器以及总线,物理层芯片包括接收时间生成电路、发送时间生成电路、收发器、晶振、计数器、寄存器以及总线,其中:

[0226] 所述收发器,用于接收第二节点发送的Pdelay_Req延迟请求报文;

[0227] 所述收发器,还用于向所述第二节点发送Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp延迟响应报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间T2、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间T3以及所述第一节点的时间调整值Δx,以使所述第二节点根据T2、T3、Δx、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间T1、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间T4以及所述第二节点的时间调整值Δy获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时D,其中,Δx是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,Δy是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0228] 结合第二十三方面,在第二十三方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0229] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

[0230] 结合第二十三方面的第一种可能实现的方式,在第二十三方面的第二种可能实现的方式中,所述收发器,还用于向所述第二节点发送Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间T'1,以使所述第二节点根据T'1、D以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间T'2获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时间。

[0231] 结合第二十三方面的第二种可能实现的方式,在第二十三方面的第三种可能实现

的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0232] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0233] 第二十四方面,本发明提供一种第二节点,包括中央处理器、晶振、物理层芯片、计数器、存储器以及总线,物理层芯片包括接收时间生成电路、发送时间生成电路、收发器、晶振、计数器、寄存器以及总线,其中:

[0234] 所述收发器,用于向第一节点发送Pdelay_Req延迟请求报文;

[0235] 所述收发器,还用于接收所述第一节点发送的Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0236] 所述中央处理单元,用于根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0237] 结合第二十四方面,在第二十四方面的第一种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0238] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

[0239] 结合第二十四方面的第一种可能实现的方式,在第二十四方面的第二种可能实现的方式中,所述收发器,还用于接收所述第一节点发送的Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

[0240] 所述中央处理单元,还用于根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时间。

[0241] 结合第二十四方面的第二种可能实现的方式,在第二十四方面的第三种可能实现的方式中,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0242] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0243] 上述技术方案中,在所述第一节点对所述第二节点进行频率同步或时间同步的过程中,所述第一节点在发生时间调整事件时产生时间调整值,并通过PTP报文携带时间调整值发送至所述第二节点,当所述第二节点在频率同步或时间同步过程中也发生时间调整时,保存该时间调整值,而后所述第二节点根据所述第一节点的时间调整值和自身的时间调整值,以及所述第二节点与所述第一节点进行PTP报文交互时的发送时间和接收时间获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差或时间偏差,当所述第二节点在计算与所述第一节点的频率偏差或时间偏差时,由于考虑了所述第一节点和所述第二节点可能发生的时间调整事件所产生的时间调整值,能够解决PTP报文进行频率同步或时间同步的误差问题,使得所述第二节点计算的频率偏差或时间偏差更精确,有助于提高PTP报文频率同步或者时间同步的精度。

附图说明

[0244] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0245] 图1为本发明实施例提供了一种精确时钟协议同步方法流程示意图;

[0246] 图2为本发明实施例提供了一种网络架构图;

[0247] 图3为本发明实施例提供了一种PTP报文交互图;

[0248] 图4为本发明实施例提供了一种精确时钟协议同步方法流程示意图;

[0249] 图5为本发明实施例提供了一种精确时钟协议同步方法流程示意图;

[0250] 图6为本发明实施例提供了一种PTP报文交互图;

[0251] 图7为本发明实施例提供了一种精确时钟协议同步方法流程示意图;

[0252] 图8为本发明实施例提供了一种精确时钟协议同步方法流程示意图;

[0253] 图9为本发明实施例提供了一种PTP报文交互图;

[0254] 图10为本发明实施例提供了一种精确时钟协议同步方法流程示意图;

[0255] 图11为本发明实施例提供了一种精确时钟协议同步方法流程示意图;

[0256] 图12为本发明实施例提供了一种PTP报文交互图;

[0257] 图13为本发明实施例提供了一种精确时钟协议同步方法流程示意图;

[0258] 图14为本发明实施例提供了一种第一节点结构示意图;

[0259] 图15为本发明实施例提供了一种第二节点结构示意图;

[0260] 图16为本发明实施例提供了一种第一节点结构示意图;

[0261] 图17为本发明实施例提供了一种第二节点结构示意图;

[0262] 图18为本发明实施例提供了一种第一节点结构示意图;

[0263] 图19为本发明实施例提供了一种第二节点结构示意图;

[0264] 图20为本发明实施例提供了一种第一节点结构示意图;

[0265] 图21为本发明实施例提供了一种第二节点结构示意图;

[0266] 图22为本发明实施例提供了一种节点结构示意图;

[0267] 图23为本发明实施例提供了一种物理层芯片结构示意图。

具体实施方式

[0268] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0269] 本专利申请中的“本地时间”是本地时钟设备显示的时间。例如,发送端发送报文时发送端的本地时间。或者,接收端接收报文时接收端的本地时间。

[0270] 本专利申请中的“时间”是与“本地时间”相对独立的(in contrast to)“参考时间”。所述参考时间是位于所述本地时钟设备外部的其他时钟设备显示的时间。举例来说,

所述参考时间可以是格林尼治标准时间(英文:Greenwich MeanTime,缩写:GMT)、协调世界时间(英文:Universal Time Coordinated,缩写:UTC)或者夏日节约时间(英文:Daylight Saving Time,缩写:D.S.T.)。

[0271] 本专利申请中的时间调整事件是指触发节点发生时间调整的事件。例如,主时钟装置通过PTP对从时钟装置的本地时间进行校准是一种时间调整事件。对从时钟装置的本地时间进行校准是所述从时钟装置发生的时间调整事件。

[0272] IEEE提出的IEEE1588-2008标准,该标准定义了使用PTP报文进行频率同步和时间同步的实现方式。其中,支持PTP的节点可以为路由器、网络交换机、分组传送网(英文:packet transport network,缩写:PTN)设备或者波分复用(英文:wavelength-division multiplexing,缩写:WDM)设备。PTP中涉及到同步(Sync)报文。本专利申请中的Sync报文是指PTP中的Sync报文。

[0273] 使用PTP进行频率同步的实现方式中,譬如在节点B与节点A使用PTP进行频率同步的场景中,如果在节点A向节点B发送两个Sync(同步)报文的时间之间节点A发生了时间调整,或者在节点B从节点A接收两个Sync报文的时间之间节点B发生了时间调整,那么节点B计算出的节点B相对于节点A的频率偏差会存在误差。具体来说,在节点A发送两个Sync报文的时间之间,节点A可能发生本地时钟被校准的事件(例如作为从时钟设备的节点A的本地时钟被主时钟设备通过PTP校准)的事件。又例如,在节点B接收两个Sync报文的时间之间,节点B的本地时钟可能发生本地时钟被校准的事件(例如作为从时钟设备的节点B的本地时钟被主时钟设备通过PTP校准)。

[0274] 使用PTP进行时间同步的实现方式中,譬如在节点B与节点A使用PTP保持时间同步的场景中,对于IEEE1588-2008协议中端到端(英文:End to End,缩写:E2E)时间同步方式,如果在节点A向节点B发送Sync报文和接收Delay_Req报文之间节点A发生了时间调整,或者在节点B从节点A接收Sync报文和发送Delay_Req报文之间节点B发生了时间调整,那么节点B计算出的节点B相对于节点A的链路延时会存在误差。同理,对于IEEE1588-2008协议中点到点(英文:Peer to Peer,缩写:P2P)时间同步方式,如果在节点A从节点B接收Pdelay_Req报文和发送Pdelay_Resp报文期间节点A发生了时间调整,或者在节点B在向节点A发送Pdelay_Req报文和接收Pdelay_Resp报文期间节点B发生了时间调整,那么节点B计算出的节点B相对于节点A的链路延时会存在误差。

[0275] 这样,在频率偏差存在误差时,就使得节点B与节点A的频率同步存在误差。在链路延时存在误差时,节点B与节点A的时间同步就会存在误差,从而影响PTP频率同步和PTP时间同步的精度。

[0276] 本发明实施例提供一种精确时钟协议同步方法,如图1所示,包括:

[0277] 101、第一节点向第二节点发送第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$ 。

[0278] 举例来说,所述第一节点和所述第二节点可以是1588同步网中的节点。所述第一节点是网络装置,具体可以为路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第二节点是网络装置,具体可以是路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第一节点和所述第二节点都为支持PTP报文通信的设备。所述第一节点和所述第二节点包括记录时间调整值的装置。

[0279] 举例来说,当在所述第一节点与所述第二节点中间存在不支持1588-2008标准的中间节点时的情况下,所述第一节点与所述第二节点一般配置为1588-2008标准的E2E方式。当所述第一节点与所述第二节点为相邻节点,所述第一节点与所述第二节点可以配置为1588-2008标准的E2E方式或者P2P方式。

[0280] 其中,在所述第一节点和所述第二节点中有记录时间调整的装置的情况下,在所述第二节点与所述第一节点进行频率同步时,所述第一节点向所述第二节点首次发送,即发送第0个Sync报文时,启动记录时间调整的装置,从而使该记录时间调整的装置开始计时。所述第0个Sync报文携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$ 。所述第二节点在接收到所述第0个Sync报文时,启动第二节点中记录时间调整的装置,从而使该记录时间调整的装置开始计时,并记录接收到所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 。

[0281] 102、所述第一节点向所述第二节点发送至少一个Sync报文,以使所述第二节点根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第N个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收所述第N个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并且使所述第二节点根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中,所述至少一个Sync报文包含第i个Sync报文,所述第i个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第i个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第i-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第i个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy_i 是所述第二节点接收所述第i-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第i个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值,N为正整数,i是1至N中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第N个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第N个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0282] 所述至少一个Sync报文不包括所述第0个Sync报文。举例来说,当N等于1时,所述至少一个Sync报文是第1个Sync报文。所述第1个Sync报文与所述第N个Sync报文是同一个报文。当N大于1时,所述至少一个Sync报文包括第1个Sync报文至所述第N个Sync报文。所述第1个Sync报文与所述第N个Sync报文是不同的报文。例如,当N等于3时,所述至少一个Sync报文包括第1个Sync报文、第2个Sync报文以及第3个Sync报文。所述第3个Sync报文是所述第N个Sync报文。

[0283] 所述第一节点向所述第二节点发送所述第0个Sync报文至第N个Sync报文的时间的先后顺序依次为所述第0个Sync报文至所述第N个Sync报文。本领域的技术人员可以理解,由于报文在传输过程中可能发生延迟,所述第二节点接收所述第0个Sync报文至所述第N个Sync报文的时间的先后顺序可以依次为所述第0个Sync报文至所述第N个Sync报文,也可以为其它顺序。

[0284] 举例来说, Δx_i 是由于所述第一节点发生时间调整事件产生的时间调整值。在所述第一节点发送第i-1个Sync报文的时间与所述第一节点发送第i个Sync同步报文的时间之间所述第一节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δx_i 等于所述一个时间调整事件

对应的时间调整值。

[0285] 举例来说,在所述第一节点发送第 $i-1$ 个同步报文的时间与所述第一节点发送第 i 个同步报文的时间之间所述第一节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δx_i 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0286] 举例来说, Δx_i 近似等于所述第一节点的第一时间差减去第二时间差,第一时间差是所述第一节点发送第 i 个同步报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 与所述第一节点发送第 $i-1$ 个同步报文时所述第一节点的本地时间的差,第二时间差是所述第一节点发送所述第 i 个同步报文的时间与所述第一节点发送所述第 $i-1$ 个同步报文的的时间的差。

[0287] 举例来说,所述第一节点根据发包间隔时间向所述第二节点发送第1个报文时,所述第一节点记录该第1个报文携带所述第一节点发送第1个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,1}$,和所述第一节点中记录时间调整值的装置中的时间调整值 Δx_1 ,该 Δx_1 表示所述第一节点向所述第二节点发送第0个Sync报文的时间和第1个Sync的时间之间所述第一节点的时间调整值,如果在此期间所述第一节点没有进行时间调整,那么 Δx_1 等于0。

[0288] 举例来说,在如图2所示的网络架构中,包括所述第一节点、所述第二节点和第三节点。这三个节点都包括用于产生报文接收时间和报文发送时间的物理层芯片、中央处理器、晶振、计数器和存储器。存储器包括数据和指令。其中,第三节点是所述第一节点的主时钟设备,所述第一节点是所述第二节点的主时钟设备。对于第一节点来说,时间调整值 Δx_i 是所述第一节点对所述第二节点进行频率同步或时间同步期间所述第一节点由于发生时间调整事件产生的。其中,第一节点在此期间发生时间调整事件。具体来说,所述第三节点对所述第一节点进行时间同步,所述第一节点与所述第三节点交互PTP报文。所述第一节点要根据PTP报文发送的时间和PTP报文的接收时间计算时间偏差,并根据时间偏差对本地时间进行调整。上述时间偏差等于第一节点的时间调整值 Δx_i 。

[0289] 所述第一节点中记录时间调整值的装置可以为存储器。具体的,所述第一节点的时间调整事件具体可以包括:所述第一节点与所述第三节点交互PTP报文。所述第一节点中的处理器从物理层芯片中获取PTP报文的发送时间和PTP报文的接收时间。所述第一节点中的处理器可以根据PTP报文的发送时间和PTP报文的接收时间计算时间偏差,从而根据时间偏差调整所述第一节点本地时钟的本地时间。而根据时间偏差调整本地时间是处理器根据时间偏差调整计数器的值来实现的。这样,处理器就可以将计数器的调整值写入存储器中。存储器就获取了所述第一节点对所述第二节点进行频率同步时所述第一节点的时间调整值。所述第一节点在对所述第二节点进行频率同步时,便将所述第一节点的存储器中的时间调整值携带在Sync报文中发送至所述第二节点。

[0290] 举例来说,在所述第一节点发送了第1个Sync报文后,所述第一节点将所述第一节点中记录时间调整值的装置清零,以获取第1个Sync报文和第2个Sync报文之间所述第一节点的调整时间。所述第二节点在接收到第1个Sync时,获取接收所述第0个Sync报文和第1个Sync报文之间所述第二节点中记录时间调整值的装置中记录的时间调整值 Δy_1 ,如果在此期间第二节点没有进行时间调整,那么 Δy_1 等于0。

[0291] 举例来说, Δy_i 是由于所述第二节点发生时间调整事件产生的时间调整值。在所述第二节点接收第 $i-1$ 个Sync报文的时间与所述第二节点接收第 i 个Sync同步报文的时间

之间所述第二节点只发生了一个时间调整事件的场景下， Δy_i 等于所述时间调整事件对应的时间调整值；

[0292] 在所述第二节点接收第*i*-1个同步报文的时间与所述第二节点接收第*i*个同步报文的时间之间所述第二节点发生了多个时间调整事件的场景下， Δy_i 等于所述多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0293] 举例来说， Δy_i 近似等于所述第二节点的第一时间差减去第二时间差，第一时间差是所述第二节点接收第*i*个同步报文时所述第二节点的本地时间与所述第二节点接收第*i*-1个同步报文时所述第二节点的本地时间的差，第二时间差是所述第二节点接收所述第*i*个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第*i*-1个同步报文的的时间的差。

[0294] 举例来说，与所述第一节点记录第一节点的时间调整值类似，所述第二节点中记录时间调整值的装置也可以为存储器。具体的，在所述第一节点对所述第二节点进行频率同步的过程中，所述第一节点与所述第二节点交互PTP报文。所述第二节点中的处理器根据PTP报文发送时间和PTP报文的接收时间，计算所述第二节点的时间调整值，从而对所述第二节点中用于记录本地时间的计数器进行调整。所述第二节点中的处理器便将计数器的调整值作为所述第二节点的时间调整值存储在所述第二节点的存储器中。

[0295] 举例来说， Δx 为所述第一节点在 $T_{1,0}$ 时间向第二节点发送第0个Sync报文和 $T_{1,N}$ 时间发送第N个Sync报文之间所述第一节点的时间调整值 Δx_i 的累加值，即为所述*i*取值从1至N时所述 Δx_i 的累加值，所述 Δy 为所述第二节点在 $T_{2,0}$ 时间从第一节点接收第0个Sync报文和 $T_{2,N}$ 时间接收第N个Sync报文之间所述第二节点的时间调整值 Δy_i 的累加值，即为所述*i*取值从1至N时所述 Δy_i 的累加值。其中，N为正整数，*i*的取值范围是1至N中的所有正整数。

[0296] 由此， Δx 可以表示为
$$\Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N$$

[0297] Δy 可以表示为
$$\Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N$$

[0298] 举例来说，当N等于1时，表示第二节点接收到第一节点发送的每一个Sync报文都会进行频率偏差的计算，并进行频率同步调整。

[0299] 因此，假设每个Sync报文的传输延时D相同或者变化很小，所述第二节点根据自身产生的接收时间和收到的发送时间计算所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为：

[0300]
$$R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i}$$

[0301] 其中，R表示所述频率偏差， $T_{1,0}$ 表示所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间， $T_{1,N}$ 表示所述第一节点发送所述第N个Sync报文时所述第一节点的本地时间， $T_{2,0}$ 表示所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间， $T_{2,N}$ 表示所述第二节点接收所述第N个Sync报文时所述第二节点的本地时间。

[0302] 举例来说，对于频率同步的场景，假设所述第一节点和第三节点的频率不同步，第三节点在某一时间段变化了1s，所述第一节点在该时间段内变化了1.1s，那么此时所述第

一节点的频率是第三节点的1.1倍。为了使得所述第一节点与第三节点的频率达到同步,可以通过调整所述第一节点的时间,使得所述第一节点与所述第三节点经过的时间接近。从而达到频率近似同步。

[0303] 具体的,所述第一节点可以在每隔一段时间调整-0.1s,从而使得所述第一节点和第三节点经过的时间接近,这里的-0.1s就为本实施例中的时间调整值 Δx 。该-0.1s可以在两个相邻Sync报文间进行一次时间调整与第三节点保持频率同步,也可以是通过多个Sync交互调整-0.1s与第三节点保持频率同步。时间调整值 Δy 的原理与 Δx 类似,这里不再赘述。

[0304] 可替换的,也可以通过直接调整所述第一节点的频率,使得所述第一节点与第三节点的频率相等或者接近相等。根据上面的举例,所述第一节点可以将自身的频率调整为之前的1/1.1倍,从而与第三节点的频率达到同步。这时,理论上,所述第一节点只需要调整一次频率就可以使得所述第一节点的频率与第三节点同步,在实际当中,做出初次调整后,所述第一节点会根据自身的微小误差进行微小调整,以与第三节点保持频率同步。这种情况下,相邻Sync报文间的时间调整值 Δx 和 Δy 就为0。

[0305] 若所述第二节点计算得到的频率偏差 R 大于1,则说明第二节点的频率比所述第一节点的频率快,需要将所述第二节点的频率值调小;若所述第二节点计算得到的频率偏差 R 小于1,则说明第二节点的频率比所述第一节点的频率慢,需要将第二节点的频率值调大;若所述第二节点计算得到的频率偏差 R 等于1或者接近于1,则说明所述第二节点和所述第一节点的频率已经同步,不需要所述第二节点在 $T_{2,N}$ 接收到所述Sync报文后进行频率调整,或者所述第二节点在 $T_{2,N}$ 接收到所述Sync报文后也进行频率调整,但是时间调整值为0。

[0306] 上述技术方案中,可以在PTP协议的Sync报文中增加字节,用来记录相邻的两个Sync报文发送之间第一节点的时间调整值。根据当前IEEE1588-2008表26定义的Sync报文的格式,增加字节即扩充后的Sync报文格式如表1所示:

[0307] 表1扩充后的Sync报文格式

[0308]

Bits (比特)								Octets	Offset
7	6	5	4	3	2	1	0	八位位组	偏差
header (see 13.3)								34	0
originTimestamp								10	34
timeAdjustvalue								10	44

[0309] 其中,header表示Sync报文的报文头,originTimestamp表示Sync报文的起始时间标识,即所述第一节点发送Sync报文的发送时间,timeAdjustvalue表示所述第一节点发送该Sync报文的本地时间和发送上一个Sync报文的本地时间之间所述第一节点的时间调整值。这里该时间调整值timeAdjustvalue的长度可以为10个字节。

[0310] 上述技术方案是针对PTP协议中的ones-tep方式进行频率同步的,如图3所示,为所述第一节点和所述第二节点的报文交互图,即将发送Sync报文的本地时间信息和时间调整值携带在Sync报文中发送至接收节点的,也可以针对two-step方式进行频率同步,即将Sync报文的本地时间信息和时间调整值携带在Follow_Up报文中,例如在所述第一节点发送Sync报文时,随后向所述第二节点发送Follow_Up报文,那么所述第二节点就根据Follow_Up报文中的本地时间信息和时间调整值以及第二节点自身的接收Sync报文的本地时间和时间调整值计算所述第二节点与所述第一节点的频率偏差。根据当前IEEE1588-2008表27定义的Follow_Up报文的格式,增加字节即扩充后的Follow_Up报文格式如表2所示:

[0311] 表2扩充后的Follow_Up报文格式

[0312]

Bits (比特)								Octets	Offset
7	6	5	4	3	2	1	0	八位位组	偏差
header (see 13.3)								34	0
preciseOriginTimestamp								10	34
preciseTimeAdjustvalue								10	44

[0313] 其中,header表示Follow_Up报文的报文头,preciseOriginTimestamp表示Follow_Up报文的精确起始时间标识,即第一节点发送Sync报文的发送时间,preciseTimeAdjustvalue表示第一节点发送该Sync报文时的本地时间和发送上一个Sync报文的本地时间之间第一节点的时间调整值。这里该时间调整值preciseTimeAdjustvalue的长度可以为10个字节。

[0314] 这样一来,假设通常的PTP Sync报文的发送间隔时间为T,所述第一节点和所述第二节点此时的频率已经同步。在所述第一节点向所述第二节点发送了第N个报文后,

[0315]
$$\begin{cases} T_{1,N} = T_{1,0} + NT + \Delta x \\ T_{2,N} = T_{2,0} + NT + \Delta y \end{cases}$$
 所述第二节点相对于所述第一节点的频率偏差R为:

$$R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0}}{T_{1,N} - T_{1,0}} = \frac{NT + \Delta y}{NT + \Delta x} = 1 + \frac{\Delta y - \Delta x}{NT + \Delta x}$$

[0316] 如果 $\Delta x = \Delta y$,那么频率偏差R等于1,所述第二节点与所述第一节点的频率相同,此时计算结果正确,如果 $\Delta x \neq \Delta y$,那么得到的频率偏差R就会有误差,误差项就为

$$\frac{\Delta y - \Delta x}{NT + \Delta x}$$

此为现有技术中PTP报文频率同步的一个缺陷。

[0317] 本发明实施例提供一种精确时钟协议同步方法,所述第一节点在向所述第二节点发送Sync报文时,通过所述第一节点中记录时间调整值的装置记录相邻的两个Sync报文之间第一节点的时间调整值,所述第二节点在从所述第一节点接收Sync报文时,通过所述第二节点中的记录时间调整值的装置记录相邻的两个Sync报文之间所述第二节点的时间调整值,所述第二节点根据所述第一节点的时间调整值、所述第二节点的时间调整值、所述第

一节点发送Sync报文时的本地时间和所述第二节点发送Sync报文时的本地时间获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,有助于提高PTP报文的频率同步精度。

[0318] 所述第一节点是网络装置,具体可以为路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第二节点是网络装置,具体可以是路由器、网络交换机或者分组传送网设备。以所述第二节点为执行主体,上述技术方案的方法流程如图4所示,包括:

[0319] 201、第二节点从第一节点接收第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$ 。

[0320] 202、所述第二节点接收所述第一节点发送的至少一个Sync报文,所述至少一个Sync报文包含第 i 个Sync报文,所述第 i 个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第 i 个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第 $i-1$ 个同步报文的时间与所述第一节点发送第 i 个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值。

[0321] 203、所述第二节点根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第 N 个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收第 N 个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中, Δy_i 是所述第二节点接收所述第 $i-1$ 个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第 i 个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值, N 为正整数, i 是1至 N 中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第 N 个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0322] 图4所示的方法流程中的实现方式与图1所示的方法流程中的实现方式相同,这里不再赘述。

[0323] 本发明实施例提供一种精确时钟协议同步方法,针对PTP报文E2E时间同步方式,如图5所示,包括:

[0324] 301、第一节点向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 。

[0325] 举例来说,所述第一节点是网络装置,具体可以为路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第二节点是网络装置,具体可以是路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第一节点和所述第二节点为支持PTP报文发送和接收的设备。所述第一节点和所述第二节点包括记录时间调整值的装置。

[0326] 举例来说,针对所述PTP报文E2E时间同步方式,所述第一节点与所述第二节点之间存在多个中间节点,当某一中间节点支持1588-2008标准时,该中间节点需要进行PTP报文转发,还需要与该中间节点的最近的一个支持1588-2008标准的节点进行时间同步,当某一中间节点不支持1588-2008标准时,该中间节点需要进行PTP报文转发,不需要进行时间同步。

[0327] 具体的,针对所述PTP报文E2E时间同步方式,所述第一节点向所述第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文包括所述第一节点发送该第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ,所述第一节点同时启动所述第一节点中记录时间调整值的装置开始计

时,所述第二节点在收到所述第一Sync报文时,提取第一Sync报文中的 T_1 ,并记录所述第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 ,同时启动所述第二节点中记录时间调整值的装置开始计时,所述第二节点得到的信息包括 T_1 和 T_2 。

[0328] 302、所述第一节点接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文,并获取所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值。

[0329] 具体的,所述第二节点向所述第一节点发送Delay_Req报文,并获取所述第二节点在接收到所述第一Sync报文和发送所述Delay_Req报文之间所述第二节点中记录时间调整值的装置中的时间调整值 Δy ,并记录所述第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_3 。所述第一节点在接收到所述Delay_Req报文时,从所述第一节点中记录时间调整值的装置中获取所述第一节点的时间调整值 Δx ,并记录所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 。

[0330] 其中,在所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δx 等于所述一个时间调整事件对应的时间调整值。

[0331] 在所述第一节点发送第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δx 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0332] 在所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δy 等于所述一个时间调整事件对应的时间调整值。

[0333] 在所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δy 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0334] 由此,所述第二节点在向所述第一节点发送所述Delay_Req报文后,所述第二节点得到的信息包括 T_1 、 T_2 、 T_3 以及 Δy 。

[0335] 303、所述第一节点向所述第二节点发送Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp包括所述第一节点的时间调整值 Δx 和 T_4 ,以使所述第二节点根据 T_1 、 T_4 、 Δx 、所述第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 、所述第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_3 ,和所述第二节点的时间调整值 Δy 获取链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0336] 举例来说,所述第一节点在接收到所述Delay_Req报文后,将 T_4 和 Δx 携带在与所述Delay_Req报文对应的Delay_Resp报文中,发送至所述第二节点,所述第二节点此时得到的信息包括 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 Δx 以及 Δy 。

[0337] 其中,以图2所示的网络架构来说,所述第一节点对时间调整值 Δx 的记录,和所述第二节点对时间调整值 Δy 的记录与图1所示的实施例中的实现方式类似,不在赘述。

[0338] 因此,所述第二节点计算所述第二节点与所述第一节点的链路延时可以为:

$$[0339] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0340] 其中,D表示所述链路延时, T_1 表示所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间, T_2 表示所述第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间, T_3 表示所述第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间, T_4 表示所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间, Δx 表示所述第一节点在 T_1 和 T_4 时间所述第一节点的调整时间, Δy 表示所述第二节点在 T_2 和 T_3 之间所述第二节点的调整时间。

[0341] 304、所述第一节点向所述第二节点发送第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,使所述第二节点根据 T'_1 、所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 和D获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时间。

[0342] 举例来说,所述时间偏差Offset可以为:

$$[0343] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0344] 其中,所述Offset表示所述第二节点与所述第一节点的时间偏差, T'_1 表示所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间, T'_2 表示所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间,D表示所述第二节点与所述第一节点的链路延时。

[0345] 举例来说,若Offset小于0,则所述第二节点需要将自身的本地时间值调大,与所述第一节点保持同步;若Offset大于0,则所述第二节点需要将自身的本地时间调小,与所述第一节点保持同步;若得到的Offset等于0或者接近于0,则说明所述第二节点与所述第一节点的时间已同步,不需要作出调整。

[0346] 举例来说,针对时间同步的场景,假设第三节点是所述第一节点的上游节点,所述第一节点和第三节点的频率已经同步,但是所述第一节点与第三节点的时间不同步,比如第三节点的时间为100s,所述第一节点的时间为200s,那么所述第一节点与第三节点的时间相差100s,为了使得所述第一节点与第三节点的时间同步,可以将所述第一节点的时间调整-100s,使得所述第一节点与第三节点的时间达到同步,这里的-100s就为所述第一节点的时间调整值 Δx 。这里的时间调整值 Δx 可以是所述第一节点一次进行调整与第三节点的时间保持同步,也可以是多次Sync报文交互进行报文交互过程中进行调整的时间调整值。

[0347] 可替换的,也可以通过调整所述第一节点的频率来使得所述第一节点与第三节点的时间同步。根据上述举例,可以将所述第一节点的频率调整为第三节点的0.5倍,那么在经过200s之后,第三节点的时间为300s,所述第一节点的时间也为300s,所述第一节点与第三节点的时间保持了同步,再将所述第一节点的频率调整为与第三节点的频率相同。此时,这里的时间调整值 Δx 就为0。针对时间调整值 Δy 与 Δx 类似,不再赘述。

[0348] 通过上述说明,图5所示的实现方式中所述第一节点与所述第二节点的报文交互过程如图6所示。

[0349] 在图5所示的实现方法中,可以在所述Delay_Resp报文中增加字节,用来记录所述第一节点发送所述Sync报文与接收所述Delay_Req报文之间所述第一节点的时间调整值。根据当前IEEE1588-2008表28定义的Delay_Resp报文的格式,增加字节即扩充后的Delay_Resp报文格式如表3所示:

[0350] 表3扩充后的Delay_Resp报文格式

[0351]

Bits								Octets	Offset
7	6	5	4	3	2	1	0		
header (see 13.3)								34	0
receiveTimestamp								10	34
requestingPortIdentity								10	44
timeAdjustvalue								10	54

[0352] 其中,header表示所述Delay_Resp报文的报文头,receiveTimestamp表示所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间,例如为本实施例中的 T_4 ,requestingPortIdentity表示所述第一节点向所述第二节点发送报文的请求端口标识,timeAdjustvalue表示所述第一节点在所述第一节点在收到所述Delay_Req报文之前,所述第一节点最新发送的Sync报文的发送时间和所述Delay_Req报文的接收时间之间,所述第一节点的时间调整值,例如为本实施例中的 Δx 。

[0353] 举例来说,该timeAdjustvalue的长度可以为10个字节。

[0354] 通常情况下,假设所述第一节点到所述第二节点及所述第二节点到所述第一节点的链路延时为 D' ,所述第二节点根据 T_1 、 T_2 、 T_3 以及 T_4 得到所述第一节点与所述第二节点之间的链路延时。

[0355] $D' = \frac{(T_4 - T_1) - (T_3 - T_2)}{2}$, 这样,假设所述第一节点在 T_1 与 T_4 之间发生了时间调整,

时间调整值为 Δx ,所述第二节点在 T_2 与 T_3 之间发生了时间调整,时间调整值为 Δy ,那么所

述第一节点与所述第二节点之间的实际链路延时 $D = \frac{(T_4 - T_1) - (T_3 - T_2)}{2} = D' + \frac{\Delta x - \Delta y}{2}$,

如果 $\Delta x = \Delta y$, 那么所述第二节点得到的链路延时没有误差, 从而使得得到的时间偏差也没有误差。如果 $\Delta x \neq \Delta y$, 那么所述第二节点得到的链路延时有误差, 误差项为 $\frac{\Delta x - \Delta y}{2}$, 从而

使得所述第二节点得到的时间偏差也有误差, 误差也为 $\frac{\Delta x - \Delta y}{2}$ 。

[0356] 本发明实施例提供一种精确时钟协议同步方法, 所述第一节点与所述第二节点进行报文交互时, 利用所述第一节点中记录时间调整值的装置和所述第二节点中记录时间调整值的装置进行计时, 通过所述第一节点在Delay_Resp报文中携带所述第一节点发送第一Sync报文和接收Delay_Req报文之间所述第一节点的调整时间, 和所述第二节点记录所述第二节点接收第一Sync报文和发送Delay_Req报文之间所述第二节点的调整时间, 使得所述第二节点根据报文交互的发送时的本地时间和接收时的本地时间以及调整时间, 获得所述第二节点与所述第一节点的链路延时, 从而获得时间偏差, 使得所述第二节点根据时间偏差校准所述第二节点的本地时钟, 上述技术方案有助于提高PTP报文的时间同步精度。

[0357] 以所述第二节点为执行主体, 图5所示的技术方案的方法流程也可以如图7所示, 包括:

[0358] 401、第二节点接收第一节点发送的第一Sync同步报文, 所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 。

[0359] 举例来说, 所述第一节点是网络装置, 具体可以为路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第二节点是网络装置, 具体可以是路由器、网络交换机或者分组传送网设备。

[0360] 402、所述第二节点向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文, 并获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0361] 403、所述第二节点接收所述第一节点发送的Delay_Resp延迟响应报文, 所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 , 和所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值。

[0362] 404、所述第二节点根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 Δx 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D 。

[0363] 405、所述第二节点接收所述第一节点发送的第二Sync报文, 所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 。

[0364] 406、所述第二节点根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述第二Sync报文的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset, 并根据所述时间偏差Offset校准所述第二节点的本地时钟。

[0365] 图7所示的方法流程中的实现方式与图5所示的方法流程中的实现方式相同, 这里不再赘述。

[0366] 本发明实施例提供一种精确时钟协议同步方法,针对PTP报文E2E时间同步方式,在图5所示的技术方案的基础上,若所述第一节点在向所述第二节点发送第一Sync报文后,又向所述第二节点发送第三Sync文,且所述第三Sync报文是所述第二节点在向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文后接收到的。如图8所示,该方法包括:

[0367] 501、第一节点向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 。

[0368] 举例来说,所述第一节点是网络装置,具体可以为路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第二节点是网络装置,具体可以是路由器、网络交换机或者分组传送网设备。

[0369] 本步骤的具体实现方式与图5所示的实施例中的步骤301相同,这里不再赘述。

[0370] 502、所述第一节点向所述第二节点发送第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值。

[0371] 举例来说, $\Delta x''$ 为 T_1 与 T'_1 之间所述第一节点的时间调整值,所述第三Sync报文是在所述第一节点向所述第二节点发送所述第一Sync报文之后发送给所述第二节点的。

[0372] 举例来说,所述 $\Delta x''$ 是在所述第一节点向所述第二节点发送所述第三Sync报文时,从所述第一节点的记录时间调整值的装置中获取的,记录的是 T_1 与 T'_1 之间所述第一节点的调整时间。所述第一节点并记录了所述第一节点发送所述第三Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 。

[0373] 举例来说,在所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点只发生了一个时间调整事件的场景下, $\Delta x''$ 等于所述一个时间调整事件对应的的时间调整值。

[0374] 在所述第一节点发送第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点发生了多个时间调整事件的场景下, $\Delta x''$ 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0375] 举例来说,所述第一节点在发送所述第三Sync报文时,在获得了 $\Delta x''$ 后,可以将所述第一节点中记录时间调整值的装置清零并重新开始计时。

[0376] 所述第二节点在接收到所述第一节点发送的第三Sync报文后,得到的信息包括 T_1 、 T'_1 、所述第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 、所述第二节点发送Delay_Req延迟请求报文时所述第二节点的本地时间 T_3 以及 $\Delta x''$ 。

[0377] 503、所述第一节点接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文,并获取所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间。

[0378] 举例来说,所述第二节点在接收到所述第一节点发送的第一Sync报文后,便向所述第一节点发送Delay_Req报文,由于所述第一节点在发送所述第一Sync报文后,又向所述第二节点发送了第三Sync报文,所述第三Sync报文是在所述第二节点向所述第一节点发送

Delay_Req报文之后,从所述第一节点接收到的,这样,所述第一节点在接收到所述Delay_Req报文后,记录接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间为 T_4 。

[0379] 当所述第一节点在 T'_1 与 T_4 之间发生了时间调整值时,所述第一节点中记录时间调整的装置获取 T'_1 与 T_4 之间所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$ 。

[0380] 举例来说,在所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点只发生了一个时间调整事件的场景下, $\Delta x'$ 等于所述一个时间调整事件对应的时间调整值。

[0381] 在所述第一节点发送第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点发生了多个时间调整事件的场景下, $\Delta x'$ 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0382] 所述 $\Delta x'$ 可以是所述第一节点在 T'_1 与 T_4 之间进行的一次时间调整产生的,也可以是多次时间调整的累加值。所述 $\Delta x'$ 也可以为0,表示所述第一节点没有进行时间调整。

[0383] 这里相当于 $\Delta x'$ 与 $\Delta x''$ 之和为 Δx ,即表示所述第一节点在 T_1 和 T_4 之间所述第一节点的调整时间。

[0384] 504、所述第一节点向所述第二节点发送Delay_Resp报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和 $\Delta x'$,以使所述第二节点根据所述 T_1 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 、所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0385] 举例来说,所述第一节点向所述第二节点发送所述Delay_Resp报文后,所述第二节点得到的信息包括 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 以及 Δy 。这样,所述第二节点便可以根据这些信息得到所述第二节点与所述第一节点的链路延时。

[0386] 其中,在所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δy 等于所述一个时间调整事件对应的时间调整值。

[0387] 在所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δy 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0388] 以图2所示的网络架构为例,所述第一节点的记录时间调整值的装置对时间调整值 $\Delta x''$ 和时间调整值 $\Delta x'$ 的记录,和所述第二节点中记录时间调整值的装置对时间调整值 Δy 的记录,与图1所示的实现方式类似,不再赘述。

[0389] 因此,所述第二节点计算所述第二节点与所述第一节点的链路延时可以为:

$$[0390] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x'') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0391] 其中, D 表示所述链路延时, T_1 表示所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间, T_2 表示所述第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时

间, T_3 表示所述第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间, T_4 表示所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间, $\Delta x''$ 表示在 T_1 与 T''_1 之间所述第一节点的调整时间, $\Delta x'$ 表示在 T''_1 与 T_4 之间所述第一节点的调整时间, Δy 表示所述第二节点在 T_2 和 T_3 之间所述第二节点的调整时间。

[0392] 505、所述第一节点向所述第二节点发送第二Sync报文, 所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 , 以使所述第二节点根据 T'_1 、D以及所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset, 并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0393] 举例来说, 所述时间偏差Offset可以为:

[0394] $Offset = T'_2 - T'_1 - D$

[0395] 其中, 所述Offset表示所述时间偏差, T'_1 表示所述第一节点发送所述Sync'报文时所述第一节点的本地时间, T'_2 表示所述第二节点接收所述Sync'报文时所述第二节点的本地时间, D表示所述链路延时。

[0396] 举例来说, 若Offset小于0, 则所述第二节点需要将自身的时间调快, 与所述第一节点保持同步; 若Offset大于0, 则所述第二节点需要将自身的时间调慢, 与所述第一节点保持同步; 若得到的Offset等于0或者接近于0, 则说明所述第二节点与所述第一节点的时间已同步, 不需要作出调整。

[0397] 通过上述说明, 图8所示的实现方式中所述第一节点与所述第二节点的报文交互过程如图9所示。

[0398] 图8所示的实现方式中所述Delay_Resp报文的报文格式与表3所示的扩充后的Delay_Resp报文格式类似, 不同的是, 扩充后的Delay_Resp报文格式中, timeAdjustvalue表示的时间调整值为 $\Delta x'$ 。

[0399] 举例来说, 当timeAdjustvalue表示的为 Δx 时, 说明所述第一节点发送所述第一Sync报文时间与接收到所述Delay_Req报文之间, 并没有发送新的Sync报文(例如为本实施例中的第三Sync报文)给所述第二节点;

[0400] 当所述timeAdjustvalue表示的为 $\Delta x'$ 时, 说明所述第一节点在发送所述第一Sync报文时间与接收到所述Delay_Req报文之间, 有发送新的Sync报文(例如为本实施例中的第三Sync报文)给所述第二节点, 即所述第一节点在接收到所述Delay_Req报文之前, 最新发送的Sync报文为所述第三Sync报文。

[0401] 可以理解的是, 当timeAdjustvalue表示的为 $\Delta x'$ 时, 所述第三Sync报文也需要为扩充后的格式来携带所述第一节点在 T_1 时发送所述第一Sync报文与所述第一节点在 T''_1 时发送所述第三Sync报文之间, 所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$ 的。

[0402] 其中, 所述Sync''报文扩充后的格式与表1所示的onestep方式中扩充后的格式相同, 即用表1中的timeAdjustvalue来携带时间调整值 $\Delta x''$ 。当然, 也可以针对twostep方式携带时间调整值 $\Delta x''$, 其中扩充后的Follow_Up报文与表2所示的Follow_Up报文格式相同。

[0403] 本发明实施例提供一种精确时钟协议同步方法, 所述第一节点与所述第二节点进行报文交互时, 利用所述第一节点中记录时间调整值的装置和所述第二节点中记录时间调

整值的装置进行计时,通过所述第一节点向所述第二节点发送第一Sync报文,当所述第二节点在向所述第一节点发送Delay_Req报文后,又接收到所述第一节点发送的第三Sync报文,所述第三Sync报文携带所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$,所述第一节点向所述第二节点发送Delay_Resp报文,在Delay_Resp报文中携带所述第一节点发送第三Sync报文和接收Delay_Req报文之间所述第一节点的调整时间 $\Delta x'$,所述第二节点并获取所述第二节点接收第一Sync报文和发送Delay_Req报文之间所述第二节点的调整时间 Δy ,使得所述第二节点根据报文交互的发送时的本地时间和接收时的本地时间以及调整时间,获得所述第二节点与所述第一节点的链路延时,从而获得时间偏差并根据时间偏差校准所述第二节点的本地时钟,上述技术方案有助于提高PTP报文的时间同步精度,提升同步优化性能。

[0404] 以所述第二节点为执行主体,图8所示的技术方案的方法流程也可以如图10所示,包括:

[0405] 601、第二节点接收所述第一节点发送的第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 。

[0406] 举例来说,所述第一节点是网络装置,具体可以为路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第二节点是网络装置,具体可以是路由器、网络交换机或者分组传送网设备。

[0407] 602、所述第二节点向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文,并获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0408] 603、所述第二节点接收所述第一节点发送的第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时的本地时间 T'_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第三Sync报文是所述第一节点在 T_1 与接收到所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 之间发送至所述第二节点的,且所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间。

[0409] 604、所述第二节点接收所述第一节点发送的Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值。

[0410] 605、所述第二节点根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 以及 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D 。

[0411] 606、所述第二节点接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 。

[0412] 607、所述第二节点根据 D 、 T'_1 以及所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0413] 图10所示的方法流程中的实现方式与图8所示的方法流程中的实现方式相同,这里不再赘述。

[0414] 本发明实施例提供一种精确时钟协议同步,与图5所示的针对PTP报文在E2E场景下时间同步方式不同,本实施例针对PTP报文在P2P场景下的时间同步方式,如图11所示,包括:

[0415] 701、第一节点接收第二节点发送的Pdelay_Req延迟请求报文。

[0416] 举例来说,所述第一节点与所述第二节点可以为1588同步网中的节点。所述第一节点是网络装置,具体可以为路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第二节点是网络装置,具体可以是路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第一节点和所述第二节点都为支持PTP报文通信的设备。所述第一节点和所述第二节点包括记录时间调整值的装置。

[0417] 举例来说,针对所述PTP报文P2P时间同步方式,所述第一节点是所述第二节点的主时钟设备,所述第一节点与所述第二节点相邻。

[0418] 具体的,当所述第一节点在接收到所述第二节点发送的Pdelay_Req报文时,记录接收Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间为 T_2 ,同时启动所述第一节点中记录时间调整值的装置。在所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时,所述第二节点并记录发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间为 T_1 ,同时启动所述第二节点中的记录时间调整值的装置。此时,所述第二节点记录到的信息包括 T_1 。

[0419] 702、所述第一节点向所述第二节点发送Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp延迟响应报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx ,以使所述第二节点根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0420] 举例来说,所述Pdelay_Resp报文是所述第一节点针对接收到的所述Pdelay_Req报文发送至所述第二节点的。在所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时,从所述第一节点的记录时间调整值的装置中获取在接收到Pdelay_Req报文与发送所述Pdelay_Resp报文之间所述第一节点的时间调整值 Δx 。

[0421] 所述Pdelay_Resp报文携带 Δx 、所述第一节点返回所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及 T_2 。

[0422] 举例来说,在所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δx 等于所述一个时间调整事件对应的的时间调整值。

[0423] 在所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δx 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0424] Δx 为所述第一节点在 T_2 与 T_3 之间的时间调整值。 Δx 可能是在 T_2 与 T_3 之间进行了多次时间调整产生的,也可能是所述第一节点在 T_2 与 T_3 之间进行了一次时间调整。 Δx 可以是0,表示所述第一节点没有进行时间调整。

[0425] Δx 可以是由于其他支持1588时间同步协议的设备对所述第一节点进行时间同步或频率同步而产生的。

[0426] 所述第二节点在接收到所述第一节点发送的Pdelay_Resp报文时,并记录接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 ,这时,所述第二节点从记录时间调整值的装置获取所述第二节点在发送Pdelay_Req报文与接收所述Pdelay_Resp报文之间的时间调整值 Δy 。

[0427] 举例来说,在所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δy 等于所述一个时间调整事件对应的的时间调整值。

[0428] 在所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δy 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0429] Δy 可以为所述第二节点在 T_1 与 T_4 之间进行多次时间调整的调整时间之和。也可能是所述第二节点在 T_1 与 T_4 之间只进行了一次时间调整。 Δy 可以是0,表示所述第二节点没有进行时间调整。

[0430] 所述第二节点在记录完 Δy 后将所述第二节点中记录时间调整值的装置清零,等待下一个Pdelay_Req报文发送时重新开始计时。

[0431] 其中,以图2所示的网络架构为例,所述第一节点中记录时间调整值的装置对时间调整值 Δx 的记录,和所述第二节点中记录时间调整值的装置对时间调整值 Δy 的记录,与图1所示的实施例中的实现方式类似,这里不再赘述。

[0432] 此时,所述第二节点得到的信息包括 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 Δx 以及 Δy 。这样,所述第二节点在接收到所述Pdelay_Resp报文后,便可以得到所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D 可以表示为:

$$[0433] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

[0434] 其中, D 表示所述链路延时, T_1 表示所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间, T_2 表示所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间, T_3 表示所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间, T_4 表示所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间, Δx 表示所述第一节点在 T_2 与 T_3 之间的调整时间, Δy 表示所述第二节点在 T_1 与 T_4 之间的调整时间。

[0435] 举例来说,针对时间同步的场景,假设第三节点是所述第一节点的上游节点,所述第一节点和第三节点的频率已经同步,但是所述第一节点与第三节点的时间不同步,比如第三节点的时间为100s,所述第一节点的时间为200s,那么所述第一节点与第三节点的时间相差100s,为了使得所述第一节点与第三节点的时间同步,可以将所述第一节点的时间调整-100s,使得所述第一节点与第三节点的时间达到同步,这里的-100s就为所述第一节

点的时间调整值 Δx 。这里的时间调整值 Δx 可以是所述第一节点一次进行调整与第三节点的时间保持同步,也可以是多次Sync报文交互进行报文交互过程中进行调整的时间调整值。

[0436] 可选的,也可以通过调整所述第一节点的频率来使得所述第一节点与第三节点的时间同步。根据上述举例,可以将所述第一节点的频率调整为第三节点的0.5倍,那么在经过200s之后,第三节点的时间为300s,所述第一节点的时间也为300s,所述第一节点与第三节点的时间保持了同步,再将所述第一节点的频率调整为与第三节点的频率相同。此时,这里的时间调整值 Δx 就为0。针对时间调整值 Δy 与 Δx 类似,不再赘述。

[0437] 703、所述第一节点向所述第二节点发送Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据 T'_1 、D 以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0438] 举例来说,所述时间偏差Offset可以为:

[0439] $Offset = T'_2 - T'_1 - D$

[0440] 其中,所述Offset表示所述第二节点与所述第一节点的时间偏差, T'_1 表示所述第一节点发送所述Sync报文时的本地时间, T'_2 表示所述第二节点接收所述Sync报文时的本地时间, D 表示所述第二节点与所述第一节点的链路延时。

[0441] 举例来说,若Offset小于0,则所述第二节点需要将自身的时间调快,与所述第一节点保持同步;若Offset大于0,则所述第二节点需要将自身的时间调慢,与所述第一节点保持同步;若得到的Offset等于0或者接近于0,则说明所述第二节点与所述第一节点的时间已同步,不需要作出调整。

[0442] 通过上述说明,图11所示的实现方式中所述第一节点与所述第二节点的报文交互过程如图12所示。

[0443] 在图11所示的实现方法中,可以在所述Pdelay_Resp报文中增加字节,用来记录所述第一节点在接收所述Pdelay_Req报文和发送所述Pdelay_Resp报文之间所述第一节点的时间调整值。根据当前IEEE1588-2008表30定义的Pdelay_Resp报文的格式,增加字节即扩充后的Pdelay_Resp报文格式如表4所示:

[0444] 表4扩充后的Pdelay_Resp报文格式

[0445]

Bits								Octets	Offset
7	6	5	4	3	2	1	0		
header (see 13.3)								34	0
requestReceiptTimestamp								10	34
requestingPortIdentity								10	44
timeAdjustvalue								10	54

[0446] 其中,header表示所述Pdelay_Resp报文的报文头,包括所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 与接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 的时间差值,即 T_3-T_2 ,所述requestReceiptTimestamp表示所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 ,requestingPortIdentity表示所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的端口标识,timeAdjustvalue表示所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时的本地时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时的本地时间之间所述第一节点的时间调整值 Δx 。

[0447] 举例来说,该timeAdjustvalue的长度可以为10个字节。

[0448] 可以理解的是,本实施例提供的技术方案是针对onestep方式进行时间同步的,即将发送时的本地时间和时间调整值携带在Pdelay_Resp报文中发送至接收节点的,也可以针对twostep方式进行时间同步,即将发送时的本地时间和时间调整值携带在Pdelay_Resp_Follow_Up报文中,例如在所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时,随后向所述第二节点发送Pdelay_Resp_Follow_Up报文,那么所述第二节点就根据Pdelay_Resp_Follow_Up报文中的时间信息和时间调整值以及所述第二节点自身的接收时的本地时间计算所述第二节点与所述第一节点的时间偏差。根据当前IEEE1588-2008表31定义的Pdelay_Resp_Follow_Up报文的格式,增加字节后即扩充后的Pdelay_Resp_Follow_Up报文如表5所示:

[0449] 表5扩充后的Pdelay_Resp_Follow_Up报文格式

[0450]

Bits								Octets	Offset
7	6	5	4	3	2	1	0		
header (see 13.3)								34	0
responseOriginTimestamp								10	34
timeAdjustvalue								10	44

[0451] 其中,header表示所述Pdelay_Resp_Follow_Up报文的报文头,包括所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的本地时间T₃与接收所述Pdelay_Req报文的本地时间T₂的时间差值,即T₃-T₂,responseOriginTimestamp表示所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间T₃,timeAdjustvalue表示所述第一节点接收Pdelay_Req报文时的本地时间与发送所述Pdelay_Resp报文时的本地时间之间所述第一节点的时间调整值Δx。

[0452] 举例来说,该timeAdjustvalue的长度可以为10个字节。

[0453] 这样一来,在现有技术中,假设所述第一节点到所述第二节点及所述第二节点到所述第一节点的链路延时为D',所述节点根据T₁、T₂、T₃以及T₄得到所述第一节点与所述第二节点之间的链路延时

[0454] $D' = \frac{(T_4 - T_1) - (T_3 - T_2)}{2}$, 假设所述第一节点在T₂与T₃之间发生了时间调整,时间调整值为Δx,所述第二节点在T₁与T₄之间发生了时间调整,时间调整值为Δy,那么所述第一节点与所述第二节点之间的实际链路延时

$D = \frac{(T_4 - T_1) - (T_3 - T_2)}{2} = D' + \frac{\Delta y - \Delta x}{2}$, 如果Δx = Δy,那么所述第二节点得到的链路延时没有误差,从而使得得到的时间偏差也没有误差。

如果Δx ≠ Δy,那么所述第二节点得到的链路延时有误差,误差项为 $\frac{\Delta y - \Delta x}{2}$,从而使得所

述第二节点得到的时间偏差也有误差,误差也为 $\frac{\Delta y - \Delta x}{2}$ 。

[0455] 本发明实施例提供一种精确时钟协议同步方法,所述第一节点与所述第二节点进行报文交互时,利用所述第一节点和所述第二节点中的记录时间调整值的装置进行计时,通过所述第一节点在Pdelay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文和发送所述Pdelay_Resp报文之间所述第一节点的调整时间,和所述第二节点记录所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文和接收所述Pdelay_Resp报文之间所述第二节点的调整时间,使得所述第二节点根据报文交互发送时的本地时间和接收时的本地时间以及调整时间,获得所述第二节点与所述第一节点的链路延时,从而获得时间偏差并根据时间偏差调整所述第二节点的本地时钟,上述技术方案有助于提高PTP报文的时间同步精度,提升同步优化性能。

[0456] 以所述第二节点为执行主体,图11所示的技术方案的方法流程也可以如图13所示,包括:

[0457] 801、第二节点向第一节点发送Pdelay_Req延迟请求报文。

[0458] 802、所述第二节点接收所述第一节点发送的Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值。

[0459] 803、所述第二节点根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0460] 804、所述第二节点接收所述第一节点发送的Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 。

[0461] 805、所述第二节点根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0462] 图13所示的方法流程中的实现方式与图11所示的方法流程中的实现方式相同,这里不再赘述。

[0463] 可选的,以所述第一节点为执行主体,针对频率同步的场景,如图14所示为所述第一节点的结构示意图。所述第一节点可以用于执行图1所示的方法。参见图14,所述第一节点01,包括:

[0464] 发送单元011,用于向第二节点发送第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$ 。

[0465] 所述发送单元011还用于向所述第二节点发送至少一个Sync报文,以使所述第二节点根据所述 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第 N 个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收所述第 N 个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并且使所述第二节点根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其

中,所述至少一个Sync报文包含第*i*个Sync报文,所述第*i*个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第*i*个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第*i*-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第*i*个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy_i 是所述第二节点接收所述第*i*-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第*i*个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值,*N*为正整数,*i*是1至*N*中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第*N*个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第*N*个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0466] 举例来说,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$[0467] \quad R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i}$$

$$[0468] \quad \text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N$$

[0469] 举例来说,所述第一节点和所述第二节点可以是1588同步网中的节点。所述第一节点是网络装置,具体可以为路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第二节点是网络装置,具体可以是路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第一节点和所述第二节点都为支持PTP报文通信的设备。所述第一节点和所述第二节点包括记录时间调整值的装置。

[0470] 举例来说,所述第一节点为所述第二节点的主时钟设备,这里当所述第一节点与所述第二节点中间存在不支持1588-2008标准的中间节点时,所述第一节点与所述第二节点一般配置为1588-2008标准的E2E方式。当所述第一节点与所述第二节点为相邻节点,所述第一节点与所述第二节点可以配置为1588-2008标准的E2E方式或者P2P方式。

[0471] 举例来说, Δx_i 可以是由于所述第一节点发生时间调整事件产生的时间调整值。例如,在所述第一节点发送第*i*-1个Sync报文的时间与所述第一节点发送第*i*个Sync同步报文的时间之间所述第一节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δx_i 等于所述一个时间调整事件对应的的时间调整值。

[0472] 在所述第一节点发送第*i*-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第*i*个同步报文的时间之间所述第一节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δx_i 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0473] 举例来说, Δy_i 可以是由于所述第二节点发生时间调整事件产生的时间调整值。例如,在所述第二节点接收第*i*-1个Sync报文的时间与所述第二节点接收第*i*个Sync同步报文的时间之间所述第二节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δy_i 等于所述一个时间调整事件对应的的时间调整值。

[0474] 在所述第二节点接收第*i*-1个同步报文的时间与所述第二节点接收第*i*个同步报文的时间之间所述第二节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δy_i 等于多个时间调整事

件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0475] 本发明实施例提供一种精确时钟协议同步方法,所述第一节点在向所述第二节点发送Sync报文时,通过所述第一节点中记录时间调整值的装置记录相邻的两个Sync报文之间第一节点的时间调整值,所述第二节点在从所述第一节点接收Sync报文时,通过所述第二节点中的记录时间调整值的装置记录相邻的两个Sync报文之间所述第二节点的时间调整值,所述第二节点根据所述第一节点的时间调整值、所述第二节点的时间调整值、所述第一节点发送Sync报文时的本地时间和所述第二节点发送Sync报文时的本地时间获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,上述技术方案有助于提高PTP报文的频率同步精度,提升同步优化性能。

[0476] 以所述第二节点为执行主体,如图15所示为所述第二节点的结构示意图。所述第二节点可以用于执行图4所示的方法。参见图15,所述第二节点02,包括:

[0477] 接收单元021,用于从第一节点接收第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$ 。

[0478] 所述接收单元021还用于接收所述第一节点发送的至少一个Sync报文,所述至少一个Sync报文包括第N个Sync报文,所述至少一个Sync报文包含第i个Sync报文,所述第i个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第i个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第i-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第i个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值。

[0479] 处理单元022,用于根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送所述第N个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收第N个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中, Δy_i 是所述第二节点接收所述第i-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第i个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值,N为正整数,i是1至N中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第N个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第N个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0480] 举例来说,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$[0481] \quad R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i}$$

$$[0482] \quad \text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N$$

[0483] 可选的,以所述第一节点为执行主体,针对时间同步的场景,如图16所示为所述第一节点的结构示意图。所述第一节点可以用于执行图5所示的方法。参见图16,所述第一节点03,包括:

[0484] 发送单元031,用于向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 。

[0485] 举例来说,所述第一节点和所述第二节点可以为路由器、交换机、PTN或者波分设备,所述第一节点和所述第二节点为支持PTP报文发送和接收的设备。所述第一节点和所述第二节点包括记录时间调整值的装置。

[0486] 举例来说,针对所述PTP报文E2E时间同步方式,所述第一节点与所述第二节点之间存在多个中间节点,当某一中间节点支持1588-2008标准时,该中间节点需要进行PTP报文转发,还需要与该中间节点的最近的一个支持1588-2008标准的节点进行时间同步,当某一中间节点不支持1588-2008标准时,该中间节点需要进行PTP报文转发,不需要进行时间同步。

[0487] 接收单元032,用于接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文。

[0488] 获取单元033,用于获取所述第一节点的时间调整值 Δx ,是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值。

[0489] 举例来说,在所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δx 等于所述一个时间调整事件对应的的时间调整值。

[0490] 在所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δx 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0491] 所述发送单元031还用于向所述第二节点发送Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报文包括所述第一节点的时间调整值 Δx 和 T_4 ,以使所述第二节点根据 T_1 、 T_4 、 Δx 、所述第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 、所述第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_3 ,和所述第二节点的时间调整值 Δy 获取链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0492] 举例来说,在所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δy 等于所述一个时间调整事件对应的的时间调整值。

[0493] 在所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δy 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0494] 所述第一节点在接收到所述Delay_Req报文后,将 T_4 和 Δx 携带在与所述Delay_Req报文对应的Delay_Resp报文中,发送至所述第二节点,所述第二节点此时得到的信息包括 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 Δx 以及 Δy 。

[0495] 因此,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0496] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0497] 所述发送单元031还用于：向所述第二节点发送第二Sync报文，所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ，使所述第二节点根据 T'_1 、所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 和D获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset，并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0498] 举例来说，所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为：

$$[0499] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0500] 举例来说，若Offset小于0，则所述第二节点需要将自身的时间调快，与所述第一节点保持同步；若Offset大于0，则所述第二节点需要将自身的时间调慢，与所述第一节点保持同步；若得到的Offset等于0或者接近于0，则说明所述第二节点与所述第一节点的时间已同步，不需要作出调整。

[0501] 本发明实施例提供一种第一节点，所述第一节点与所述第二节点进行报文交互时，利用所述第一节点中记录时间调整值的装置和所述第二节点中记录时间调整值的装置进行计时，通过所述第一节点在Delay_Resp报文中携带所述第一节点发送Sync报文和接收Delay_Req报文之间所述第一节点的调整时间，和所述第二节点记录所述第二节点接收Sync报文和发送Delay_Req报文之间所述第二节点的调整时间，使得所述第二节点根据报文交互的发送时的本地时间和接收时的本地时间以及调整时间，获得所述第二节点与所述第一节点的链路延时，从而获得时间偏差，使得所述第二节点根据时间偏差校准所述第二节点的本地时钟，上述技术方案有助于提高PTP报文的时间同步精度，提升同步优化性能。

[0502] 可选的，以所述第二节点为执行主体，针对时间同步的场景，如图17所示为所述第二节点的结构示意图，所述第二节点04，包括：

[0503] 接收单元041，用于接收第一节点发送的第一Sync同步报文，所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 。

[0504] 发送单元042，用于向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文。

[0505] 获取单元043，用于获取所述第二节点的时间调整值 Δy ， Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0506] 所述接收单元041还用于接收所述第一节点发送的Delay_Resp延迟响应报文，所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 ，和所述第一节点的时间调整值 Δx ， Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值。

[0507] 处理单元044，用于根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 Δx 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时D。

[0508] 举例来说，所述第二节点与所述第一节点的链路延时为：

$$[0509] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0510] 所述接收单元041，还用于接收所述第一节点发送的第二Sync报文，所述第二Sync

报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 。

[0511] 所述处理单元044,还用于根据 D 、 T'_1 以及所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0512] 举例来说,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

[0513] $Offset = T'_2 - T'_1 - D$

[0514] 可选的,以所述第一节点为执行主体,针对时间同步的场景,如图18所示为所述第一节点的结构示意图。所述第一节点可以用于执行图8所示的方法。参见图18,所述第一节点05,包括:

[0515] 发送单元051,用于向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 。

[0516] 所述发送单元051,还用于向所述第二节点发送第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时所述第一节点的本地时间 T''_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值。

[0517] 举例来说, $\Delta x''$ 为 T_1 与 T''_1 之间所述第一节点的时间调整值,所述第三Sync报文是在所述第一节点向所述第二节点发送所述第一Sync报文之后发送给所述第二节点的。

[0518] 举例来说,所述 $\Delta x''$ 是在所述第一节点向所述第二节点发送所述第三Sync报文时,从所述第一节点的记录时间调整值的装置中获取的,记录的是 T_1 与 T''_1 之间所述第一节点的调整时间。所述第一节点并记录了所述第一节点发送所述第三Sync报文时所述第一节点的本地时间 T''_1 。

[0519] 举例来说,在所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点只发生了一个时间调整事件的场景下, $\Delta x''$ 等于所述一个时间调整事件对应的时间调整值。

[0520] 在所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点发生了多个时间调整事件的场景下, $\Delta x''$ 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0521] 举例来说,所述第一节点在发送所述第三Sync报文时,在获得了 $\Delta x''$ 后,可以将所述第一节点中记录时间调整值的装置清零并重新开始计时。

[0522] 举例来说,所述第二节点在接收到所述第一节点发送的第三Sync报文后,得到的信息包括 T_1 、 T''_1 、所述第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 、所述第二节点发送Delay_Req延迟请求报文时所述第二节点的本地时间 T_3 以及 $\Delta x''$ 。

[0523] 接收单元052,用于接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文。

[0524] 获取单元053,用于获取所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间。

[0525] 举例来说,所述第二节点在接收到所述第一节点发送的第一Sync报文后,便向所

述第一节点发送Delay_Req报文,由于所述第一节点在发送所述第一Sync报文后,又向所述第二节点发送了第三Sync报文,所述第三Sync报文是在所述第二节点向所述第一节点发送Delay_Req报文之后,从所述第一节点接收到的,这样,所述第一节点在接收到所述Delay_Req报文后,记录接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间为 T_4 。

[0526] 当所述第一节点在 T'_1 与 T_4 之间发生了时间调整值时,所述第一节点中记录时间调整的装置获取 T'_1 与 T_4 之间所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$ 。

[0527] 举例来说,在所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点只发生了一个时间调整事件的场景下, $\Delta x'$ 等于所述一个时间调整事件对应的时间调整值。

[0528] 在所述第一节点发送第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点发生了多个时间调整事件的场景下, $\Delta x'$ 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0529] 即所述 $\Delta x'$ 也可以是所述第一节点在 T'_1 与 T_4 之间进行的一次时间调整产生的,也可以是多次时间调整的累加值,也可以为0。所述 $\Delta x'$ 等于0表示所述第一节点没有进行时间调整。

[0530] 这里相当于 $\Delta x'$ 与 $\Delta x''$ 之和为 Δx ,即所述第一节点在 T_1 和 T_4 之间所述第一节点的调整时间。

[0531] 所述发送单元051,还用于向所述第二节点发送Delay_Resp报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和 $\Delta x'$,以使所述第二节点根据所述 T_1 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 、所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0532] 在所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δy 等于所述一个时间调整事件对应的时间调整值。

[0533] 在所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δy 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0534] 举例来说,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0535] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x'') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0536] 所述发送单元051还用于:向所述第二节点发送第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据所述 T'_1 、所述链路延时 D 以及所述第二节点接收所述Sync'报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset。

[0537] 举例来说,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

[0538] $Offset=T'_2-T'_1-D$

[0539] 本发明实施例提供一种第一节点,所述第一节点与所述第二节点进行报文交互时,利用所述第一节点中记录时间调整值的装置和所述第二节点中记录时间调整值的装置进行计时,通过所述第一节点向所述第二节点发送第一Sync报文,当所述第二节点在向所述第一节点发送Delay_Req报文后,又接收到所述第一节点发送的第三Sync报文,所述第三Sync报文携带所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$,所述第一节点向所述第二节点发送Delay_Resp报文,在Delay_Resp报文中携带所述第一节点发送Sync报文和接收Delay_Req报文之间所述第一节点的调整时间 $\Delta x'$,所述第二节点并获取所述第二节点接收Sync报文和发送Delay_Req报文之间所述第二节点的调整时间 Δy ,使得所述第二节点根据报文交互的发送时的本地时间和接收时的本地时间以及调整时间,获得所述第二节点与所述第一节点的链路延时,从而获得时间偏差并根据时间偏差校准所述第二节点的本地时钟,上述技术方案有助于提高PTP报文的时间同步精度,提升同步优化性能。

[0540] 可选的,以所述第二节点为执行主体,针对时间同步的场景,如图19所示为所述第二节点的结构示意图。所述第二节点可以用于执行图10所示的方法。参见图19,所述第二节点06,包括:

[0541] 接收单元061,用于接收所述第一节点发送的第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 。

[0542] 发送单元062,用于向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文。

[0543] 获取单元063,用于获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0544] 所述接收单元061,还用于接收所述第一节点发送的第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时的本地时间 T'_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第三Sync报文是所述第一节点在 T_1 与接收到所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 之间发送至所述第二节点的,且所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间。

[0545] 所述接收单元061,还用于接收所述第一节点发送的Delay_Req延迟请求报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;

[0546] 处理单元064,用于根据所述 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 以及 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D 。

[0547] 举例来说,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0548] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x'' - \Delta x') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0549] 所述接收单元061,还用于接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 。

[0550] 所述处理单元064,还用于根据D、 T'_1 以及所述第二节点接收所述Sync'报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0551] 举例来说,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

[0552] $Offset=T'_2-T'_1-D$

[0553] 可选的,以所述第一节点为执行主体,针对时间同步的场景,如图20所示为所述第一节点的结构示意图。所述第一节点可以用于执行图11所示的方法。参见图20,所述第一节点07,包括:

[0554] 接收单元071,用于接收第二节点发送的Pdelay_Req延迟请求报文。

[0555] 举例来说,所述第一节点与所述第二节点可以为1588同步网中的节点。所述第一节点是网络装置,具体可以为路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第二节点是网络装置,具体可以是路由器、网络交换机或者分组传送网设备。所述第一节点和所述第二节点都为支持PTP报文通信的设备。所述第一节点和所述第二节点包括记录时间调整值的装置。

[0556] 举例来说,针对所述PTP报文P2P时间同步方式,所述第一节点是所述第二节点的上游节点,所述第一节点与所述第二节点相邻。

[0557] 具体的,当所述第一节点在接收到所述第二节点发送的Pdelay_Req报文时,记录接收Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间为 T_2 ,同时启动所述第一节点中记录时间调整值的装置。在所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时,所述第二节点并记录发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间为 T_1 ,同时启动所述第二节点中的记录时间调整值的装置。此时,所述第二节点记录到的信息包括 T_1 。

[0558] 发送单元072,用于向所述第二节点发送Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp延迟响应报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx ,以使所述第二节点根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时D,其中, Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0559] 举例来说,所述Pdelay_Resp报文是所述第一节点针对接收到的所述Pdelay_Req报文发送至所述第二节点的。在所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时,从所述第一节点的记录时间调整值的装置中获取在接收到Pdelay_Req报文与发送所述Pdelay_Resp报文之间所述第一节点的时间调整值 Δx 。

[0560] 所述Pdelay_Resp报文携带 Δx 、所述第一节点返回所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及 T_2 。

[0561] 举例来说,在所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δx

等于所述一个时间调整事件对应的时间调整值。

[0562] 在所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点发生了多个时间调整事件的场景下， Δx 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0563] 所述第二节点在接收到所述第一节点发送的Pdelay_Resp报文时，并记录接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 ，这时，所述第二节点从记录时间调整值的装置获取所述第二节点在发送Pdelay_Req报文与接收所述Pdelay_Resp报文之间的时间调整值 Δy 。

[0564] 举例来说，在所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点只发生了一个时间调整事件的场景下， Δy 等于所述一个时间调整事件对应的时间调整值。

[0565] 在所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点发生了多个时间调整事件的场景下， Δy 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0566] 所述第二节点在记录完 Δy 后将所述第二节点中记录时间调整值的装置清零，等待下一个Pdelay_Req报文发送时重新开始计时。

[0567] 举例来说，所述第二节点与所述第一节点的链路延时为：

$$[0568] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

[0569] 所述发送单元072，还用于向所述第二节点发送Sync同步报文，所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ，以使所述第二节点根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0570] 举例来说，所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为：

$$[0571] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0572] 本发明实施例提供一种第二节点，所述第一节点与所述第二节点进行报文交互时，利用所述第一节点和所述第二节点中的记录时间调整值的装置进行计时，通过所述第一节点在Pdelay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文和发送所述Pdelay_Resp报文之间所述第一节点的调整时间，和所述第二节点记录所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文和接收所述Pdelay_Resp报文之间所述第二节点的调整时间，使得所述第二节点根据报文交互发送时的本地时间和接收时的本地时间以及调整时间，获得所述第二节点与所述第一节点的链路延时，从而获得时间偏差并根据时间偏差调整所述第二节点的本地时钟，上述技术方案有助于提高PTP报文的时间同步精度，提升同步优化性能。

[0573] 可选的，以所述第二节点为执行主体，针对时间同步的场景，如图21所示为所述第二节点的结构示意图，所述第一节点08，包括：

[0574] 发送单元081，用于向第一节点发送Pdelay_Req延迟请求报文。

[0575] 接收单元082,用于接收所述第一节点发送的Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值。

[0576] 处理单元083,用于根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0577] 举例来说,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0578] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

[0579] 所述接收单元082,还用于接收所述第一节点发送的Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 。

[0580] 所述处理单元083,还用于根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时钟。

[0581] 举例来说,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0582] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0583] 本发明实施例提供一种节点09,如图22所示,该节点包括中央处理单元091(英文:central processing unit,缩写:CPU),晶振092,物理层(英文:physical layer,缩写:PHY)芯片093,计数器094,存储器095以及总线096,其中存储器095可以包括数据和指令,如图23所示,PHY可以包括接收时间生成电路0931,发送时间生成电路0932,收发器0933,晶振0934,计数器0935、寄存器0936以及总线0937。

[0584] 在本发明实施例中,晶振092与计数器094耦合,计数器094与存储器095耦合,晶振092以一定的频率输出方波,计数器094对方波的数量进行统计,具体来说,计数器094在每个方波的作用沿执行累加操作,累加操作的结果保存在存储器095中,存储器095中保存的值就对应节点的本地时钟的本地时间。其中,晶振092的工作电压与晶振092的频率相关,晶振092的工作电压越高,晶振092的频率越高。

[0585] 其中,在物理层芯片093中,计数器0935的值对应物理层芯片093的本地时间,这里计数器0935不同于本地节点中的计数器094。物理层芯片093在接收PTP报文时,其中的接收时间生成电路读取计数器0935中的值,并将物理层芯片中计数器0935的值写入寄存器0936,中央处理单元091可以访问物理层芯片093中的寄存器0936,从而获取PTP报文的接收时间;物理层芯片093在发送PTP报文时,物理层芯片中的发送时间生成电路读取计数器0935的值,将计数器0935的值写入寄存器0936,中央处理单元可以访问寄存器0936,从而获取PTP报文的发送时间。

[0586] 针对本发明实施例中的时间调整事件可以是主时钟节点对从时钟节点进行时间同步,具体来说,从时钟节点中的中央处理单元091在获得了与主时钟节点的PTP报文的发

送时间以及PTP报文的接收时间后,中央处理单元091可以根据PTP报文的发送时间和PTP报文的接收时间来计算时间调整值,也即时间偏差,中央处理单元091根据时间偏差调整本地时钟的本地时间,具体可以根据时间偏差调整本地时钟的计数器094的值,中央处理单元091再将调整后的本地时间写入存储器095,并将时间调整值写入存储器095。

[0587] 而频率调整事件可以是主时钟节点对从时钟节点进行频率同步,具体来说,从时钟节点中的中央处理器091在获得了与主时钟节点的PTP报文的发送时间以及PTP报文的接收时间后,可以根据PTP报文的发送时间和PTP报文的接收时间计算频率调整值,并将频率调整值保存至存储器095,中央处理单元091再根据晶振092的频率与晶振092的工作电压的对应关系,以及频率调整值,计算出工作电压调整值,频率调整电路将工作电压调整值发送至晶振092以对晶振092的工作电压进行调整。

[0588] 以前述实施例中的第一节点和第二节点中第一节点为执行主体,针对所述第一节点对所述第二节点进行频率同步的场景,收发器用于向所述第二节点发送第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文包括所述收发器发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;收发器执行指令还用于向所述第二节点发送至少一个Sync报文,以使所述第二节点根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第N个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收所述第N个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并且使所述第二节点根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中,所述至少一个Sync报文包含第i个Sync报文,所述第i个Sync报文中携带所述第一节点向所述第二节点发送所述第i个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第i-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第i个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy_i 是所述第二节点接收所述第i-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第i个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值,N为正整数,i是1至N中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第N个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第N个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0589] 举例来说, Δx_i 是由于所述第一节点发生时间调整事件产生的时间调整值。例如,在所述第一节点发送第i-1个Sync报文的时间与所述第一节点发送第i个Sync同步报文的时间之间所述第一节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δx_i 等于所述一个时间调整事件对应的时间调整值。

[0590] 在所述第一节点发送第i-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第i个同步报文的时间之间所述第一节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δx_i 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0591] Δy_i 是由于所述第二节点发生时间调整事件产生的时间调整值。例如,在所述第二节点接收第i-1个Sync报文的时间与所述第二节点接收第i个Sync同步报文的时间之间所述第二节点只发生了一个时间调整事件的场景下, Δy_i 等于所述一个时间调整事件对应的时间调整值。

[0592] 在所述第二节点接收第*i*-1个同步报文的时间与所述第二节点接收第*i*个同步报文的时间之间所述第二节点发生了多个时间调整事件的场景下, Δy_i 等于多个时间调整事件分别对应的多个时间调整值的累加值。所述多个时间调整事件与所述多个时间调整值一一对应。

[0593] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$[0594] \quad R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i}$$

[0595] 对应的,以所述第二节点为执行主体,针对所述第一节点对所述第二节点进行频率同步的场景,收发器用于从第一节点接收第0个Sync同步报文,所述第0个Sync报文中携带所述第一节点发送所述第0个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,0}$;收发器还用于执行该指令还用于接收所述第一节点发送的至少一个Sync报文,所述至少一个Sync报文包含第*i*个Sync报文,所述第*i*个Sync报文包括所述第一节点向所述第二节点发送所述第*i*个报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,i}$ 和时间调整值 Δx_i , Δx_i 是所述第一节点发送第*i*-1个同步报文的时间与所述第一节点发送第*i*个同步报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;中央处理单元用于根据 $T_{1,0}$ 、所述第一节点发送第*N*个Sync报文时所述第一节点的本地时间 $T_{1,N}$ 、 Δx 、所述第二节点接收所述第0个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,0}$ 、所述第二节点接收第*N*个Sync报文时所述第二节点的本地时间 $T_{2,N}$ 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的频率偏差,并根据所述频率偏差校准所述第二节点的本地时钟,其中, Δy_i 是所述第二节点接收所述第*i*-1个同步报文的时间与所述第二节点接收所述第*i*个同步报文的时间之间所述第二节点的时间调整值,*N*为正整数,*i*是1至*N*中的所有正整数, Δx 是所述第一节点发送所述第0个Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第*N*个Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点接收所述第0个Sync报文的时间与所述第二节点接收所述第*N*个Sync报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0596] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的频率偏差为:

$$[0597] \quad R = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \Delta y}{T_{1,N} - T_{1,0} - \Delta x} = \frac{T_{2,N} - T_{2,0} - \sum_{i=1}^N \Delta y_i}{T_{1,N} - T_{1,0} - \sum_{i=1}^N \Delta x_i}$$

$$[0598] \quad \text{其中, } \Delta x = \sum_{i=1}^N \Delta x_i = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N, \quad \Delta y = \sum_{i=1}^N \Delta y_i = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \dots + \Delta y_N \text{。}$$

[0599] 针对所述第一节点对所述第二节点在E2E时间同步的场景,以所述第一节点为执行主体,第一节点中的收发器向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述发射器发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;收发器还用于接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文,中央处理单元用于获取所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;收发器还用于向所述第二节点发

送Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报文包括所述第一节点的时间调整值 Δx 和 T_4 ,以使所述第二节点根据 T_1 、 T_4 、 Δx 、所述第二节点接收所述第一Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 、所述第二节点发送所述Delay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_3 ,和所述第二节点的时间调整值 Δy 获取链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0600] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0601] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0602] 在本发明实施例中,可选的,收发器还用于向所述第二节点发送第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,使所述第二节点根据 T'_1 、所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 和 D 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时间。

[0603] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0604] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0605] 对应的,针对所述第一节点对所述第二节点在E2E时间同步的场景下,以所述第二节点为执行主体,收发器用于接收第一节点发送的第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;收发器还用于向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文,中央处理单元用于获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;所述收发器还用于接收所述第一节点发送的Delay_Resp延迟响应报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 ,和所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;中央处理单元用于根据 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 Δx 和 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D 。

[0606] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0607] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x) - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0608] 在本发明实施例中,可选的,收发器还用于接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;

[0609] 处理器122执行该指令用于根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述第二Sync报文的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差Offset校准所述第二节点的本地时钟。

[0610] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0611] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0612] 在本发明实施例中,针对所述第一节点对所述第二节点进行E2E时间同步的场景,

若所述第一节点在向所述第二节点发送第一Sync报文后,又向所述第二节点发送第三Sync文,且所述第三Sync报文是所述第二节点在向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文后接收到的,时间同步的实现方式可以是:以所述第一节点为执行主体,收发器用于向第二节点发送第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带发射器133发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;收发器还用于向所述第二节点发送第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带发射器发送第三Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;收发器还用于接收所述第二节点发送的Delay_Req延迟请求报文,中央处理单元获取所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;收发器还用于向所述第二节点发送Delay_Resp报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和 $\Delta x'$,以使所述第二节点根据所述 T_1 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 、所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T_2 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时D,其中, Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0613] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0614] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x'') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0615] 所述收发器还用于向所述第二节点发送第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据所述 T'_1 、所述链路延时D以及所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset。

[0616] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0617] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0618] 对应的,以所述第二节点为执行主体,针对所述第一节点对所述第二节点在E2E时间同步的场景,收发器用于接收所述第一节点发送的第一Sync同步报文,所述第一Sync报文中携带所述第一节点发送所述第一Sync报文时所述第一节点的本地时间 T_1 ;收发器还用于向所述第一节点发送Delay_Req延迟请求报文,中央处理器用于获取所述第二节点的时间调整值 Δy , Δy 是所述第二节点接收所述第一Sync报文的时间与所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间之间所述第二节点的时间调整值;收发器还用于接收所述第一节点发送的第三Sync报文,所述第三Sync报文中携带所述第一节点发送所述第三Sync报文时的本地时间 T'_1 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x''$, $\Delta x''$ 是所述第一节点发送所述第一Sync报文的时间与所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间之间所述第一节点的时间调整值,其中,所述第三Sync报文是所述第一节点在 T_1 与接收到所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 之间发送至所述第二节点的,且所述第二节点接收到所述第三Sync报文的时间晚于所述第二节点发送所述Delay_Req报文的时间;收发器还用于接收所述第

一节点发送的Delay_Req延迟请求报文,所述Delay_Resp报文中携带所述第一节点接收所述Delay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_4 和所述第一节点的时间调整值 $\Delta x'$, $\Delta x'$ 是所述第一节点发送所述第三Sync报文的时间与所述第一节点接收所述Delay_Req报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;处理器142执行该指令还用于根据所述 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 $\Delta x''$ 、 $\Delta x'$ 以及 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D 。

[0619] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0620] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta x' - \Delta x'') - (T_3 - T_2 - \Delta y)}{2}$$

[0621] 在本发明实施例中,可选的,收发器还用于接收所述第一节点发送的第二Sync报文,所述第二Sync报文中携带所述第一节点发送所述第二Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;中央处理单元还用于根据 D 、 T'_1 以及所述第二节点接收所述第二Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并且根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时间。

[0622] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0623] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0624] 针对所述第一节点对所述第二节点在P2P时间同步的场景下,以所述第一节点为执行主体,收发器用于接收第二节点发送的Pdelay_Req延迟请求报文;收发器还用于向所述第二节点发送Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp延迟响应报文中携带所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx ,以使所述第二节点根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0625] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0626] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

[0627] 在本发明实施例中,可选的,收发器还用于向所述第二节点发送Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ,以使所述第二节点根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset并且使所述第二节点根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时间。

[0628] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0629] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0630] 对应的,以所述第二节点为执行主体,针对所述第一节点对所述第二节点的P2P时间同步的场景,收发器用于向第一节点发送Pdelay_Req延迟请求报文;收发器还用于接收所述第一节点发送的Pdelay_Resp延迟响应报文,所述Pdelay_Resp报文中携带所述第一节

点接收所述Pdelay_Req报文时所述第一节点的本地时间 T_2 、所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文时所述第一节点的本地时间 T_3 以及所述第一节点的时间调整值 Δx , Δx 是所述第一节点接收所述Pdelay_Req报文的时间与所述第一节点发送所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第一节点的时间调整值;中央处理单元根据 T_2 、 T_3 、 Δx 、所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文时所述第二节点的本地时间 T_1 、所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文时所述第二节点的本地时间 T_4 以及所述第二节点的时间调整值 Δy 获取所述第二节点与所述第一节点的链路延时 D ,其中, Δy 是所述第二节点发送所述Pdelay_Req报文的时间与所述第二节点接收所述Pdelay_Resp报文的时间之间所述第二节点的时间调整值。

[0631] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的链路延时为:

$$[0632] \quad D = \frac{(T_4 - T_1 - \Delta y) - (T_3 - T_2 - \Delta x)}{2}$$

[0633] 在本发明实施例中,可选的,所述收发器还用于接收所述第一节点发送的Sync同步报文,所述Sync报文中携带所述第一节点发送所述Sync报文时所述第一节点的本地时间 T'_1 ;所述中央处理单元还用于根据 T'_1 、 D 以及所述第二节点接收所述Sync报文时所述第二节点的本地时间 T'_2 获取所述第二节点与所述第一节点的时间偏差Offset,并根据所述时间偏差校准所述第二节点的本地时间。

[0634] 在本发明实施例中,可选的,所述第二节点与所述第一节点的时间偏差为:

$$[0635] \quad \text{Offset} = T'_2 - T'_1 - D$$

[0636] 在本申请所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的节点和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的节点实施例仅是示意性的,例如,所述单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通信连接,可以是电性或其它的形式。

[0637] 另外,在本发明各个实施例中的节点和系统中,各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理包括,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。且上述的各单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用硬件加软件功能单元的形式实现。

[0638] 实现上述方法实施例的全部或部分步骤可以通过程序指令相关的硬件来完成,前述的程序可以存储于一计算机可读取存储介质(英文:computer readable storage medium)中,该程序在执行时,执行包括上述方法实施例的步骤;而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(英文:read-only memory,缩写:ROM)、随机存取存储器(英文:random-access memory,缩写:RAM)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0639] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应所述以权利要求的保护范围为准。

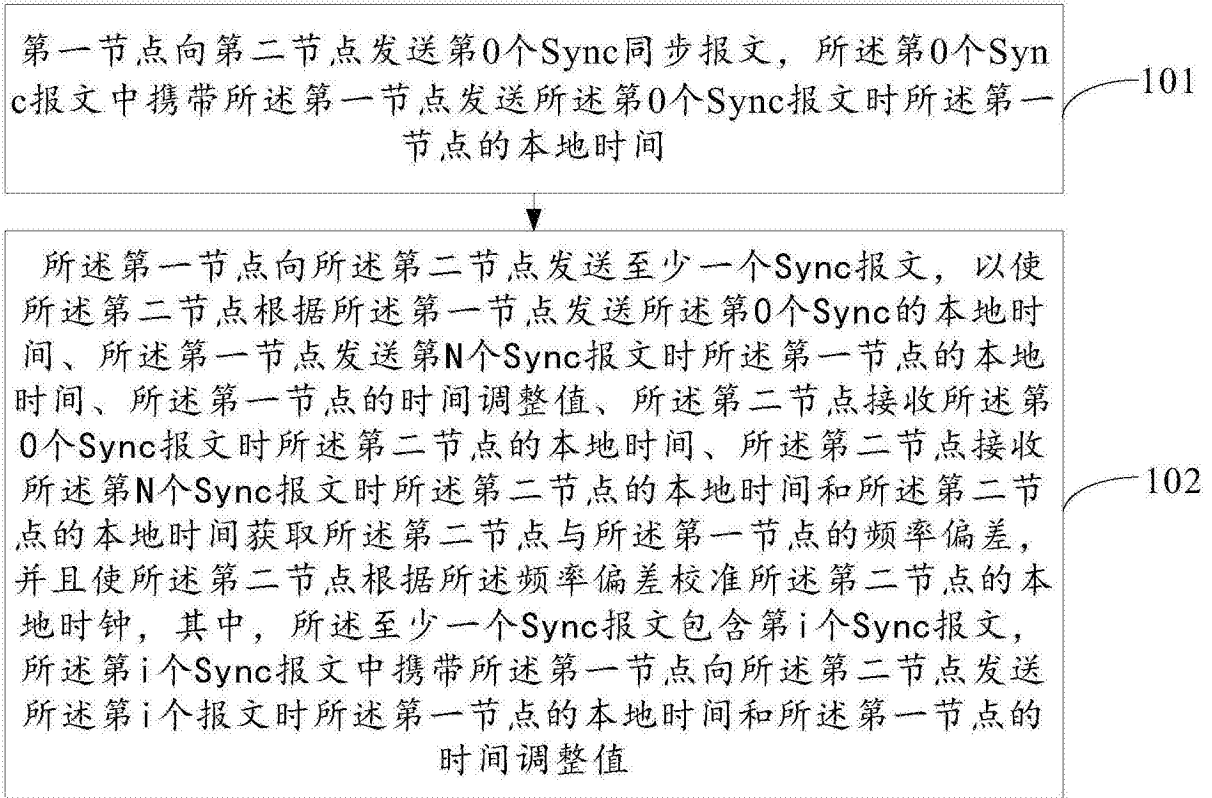


图1

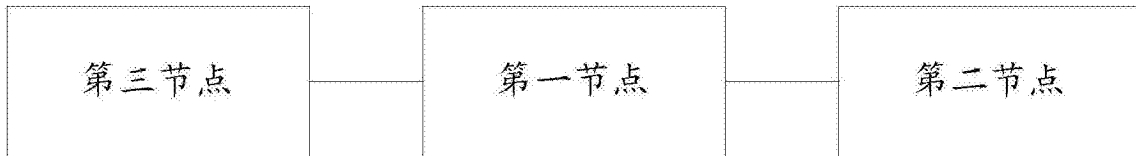


图2

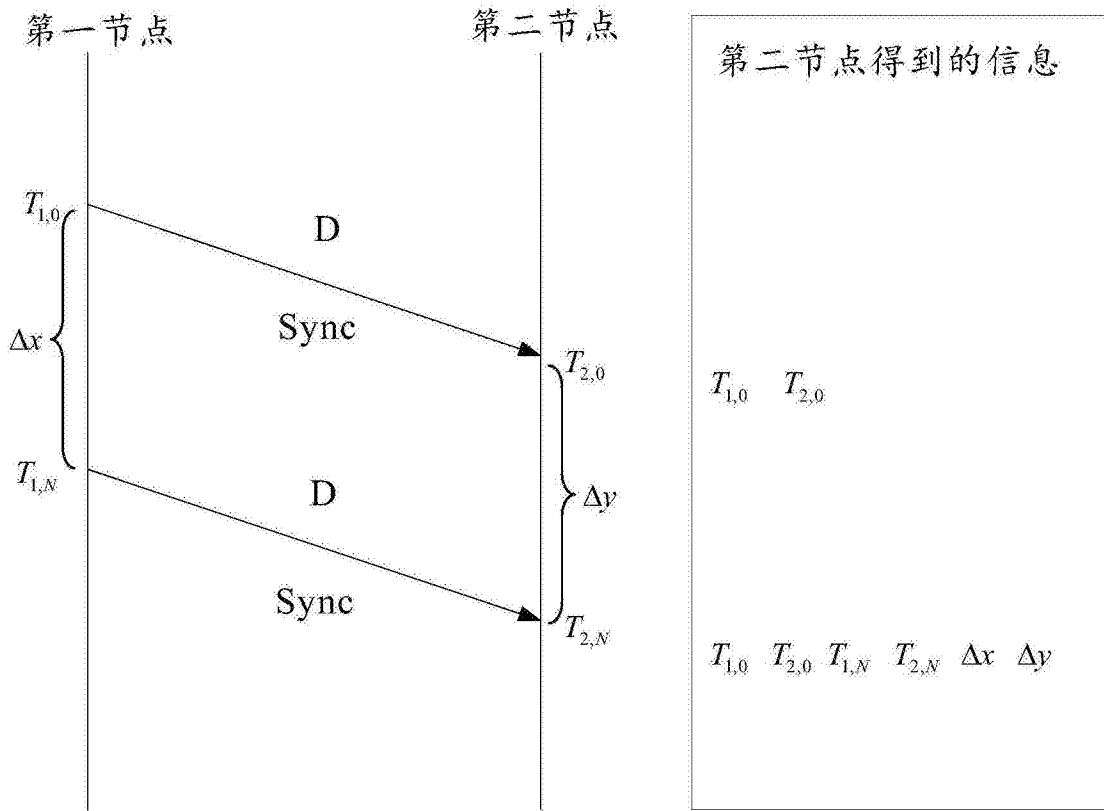


图3

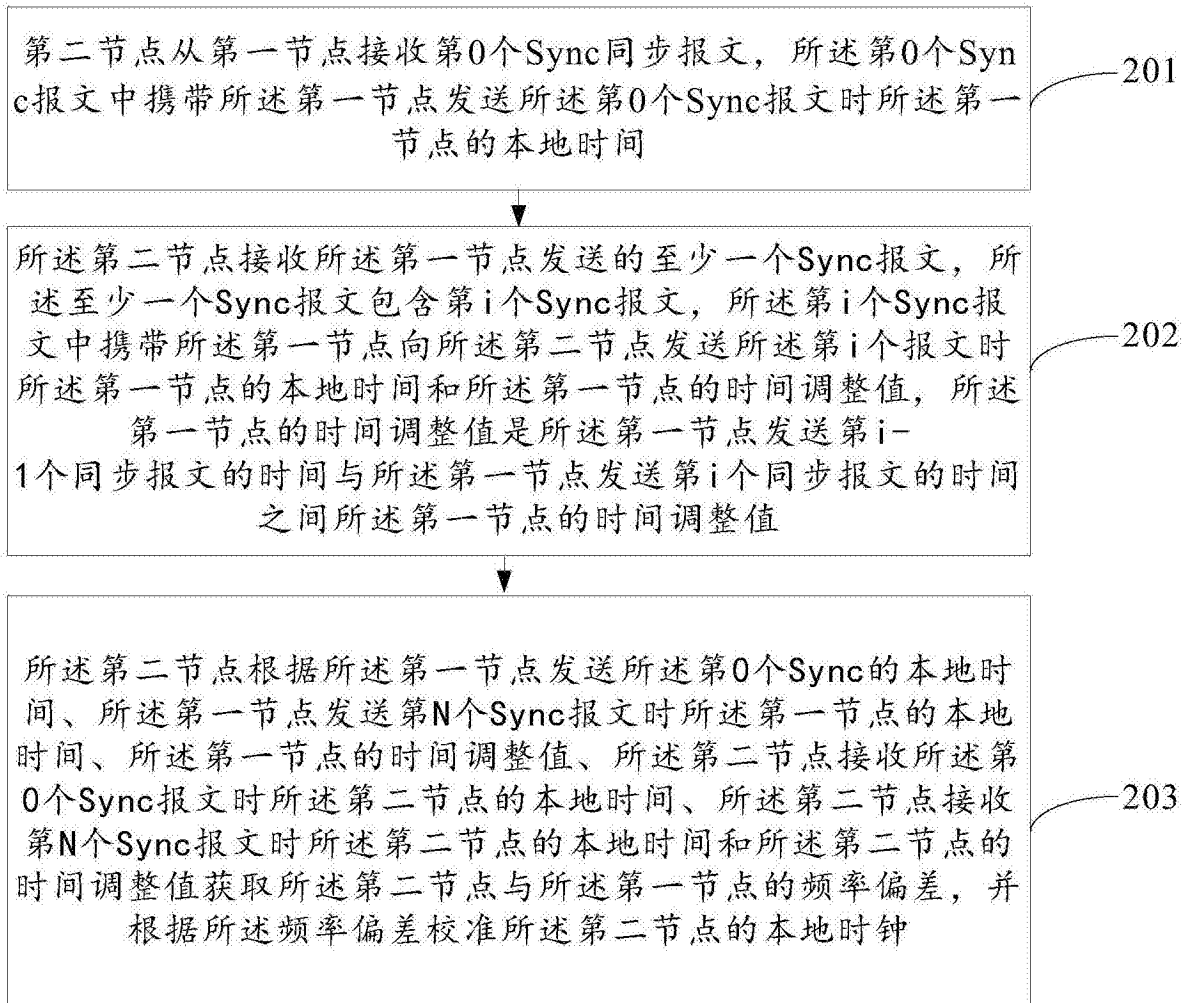


图4

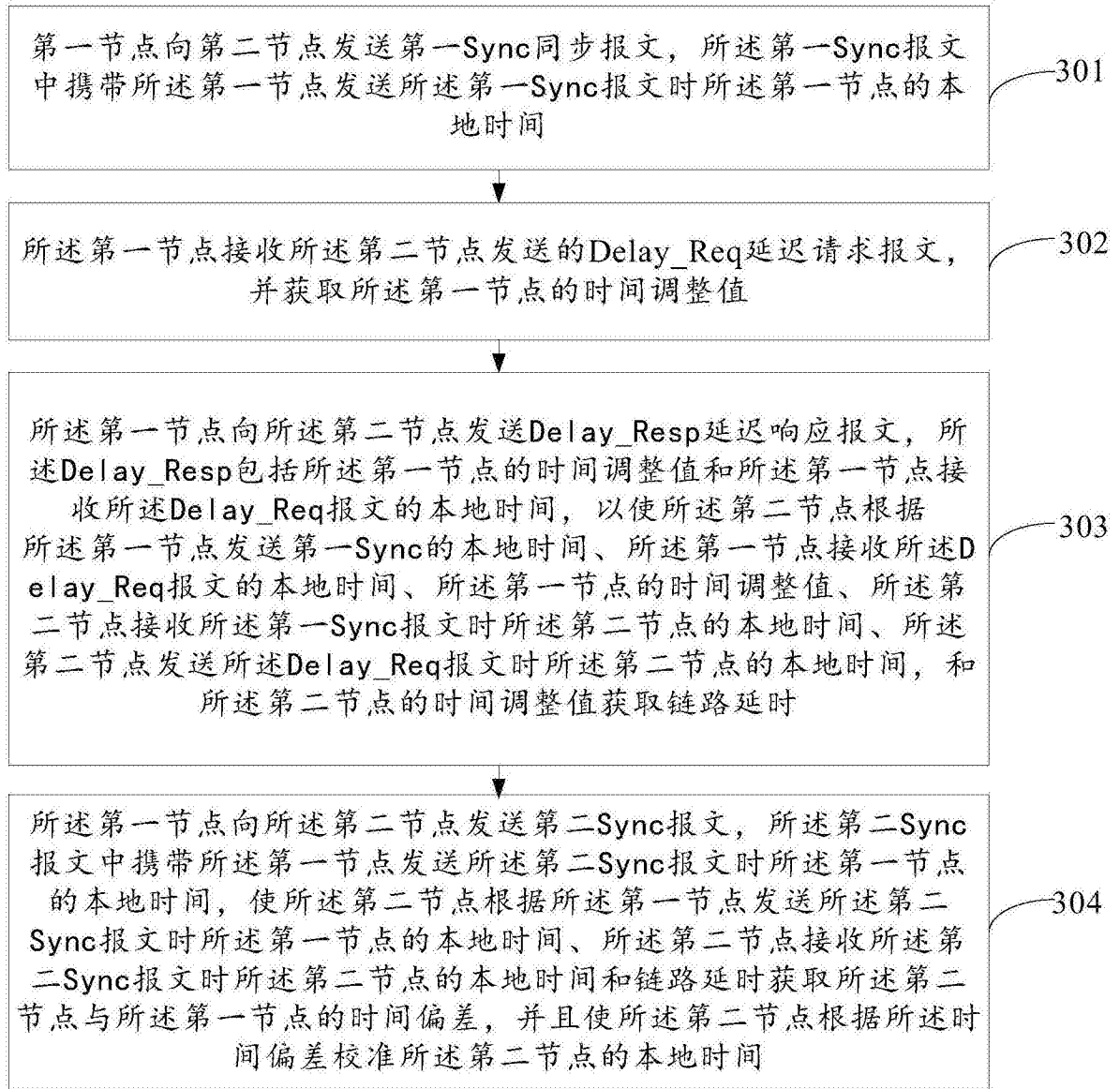


图5

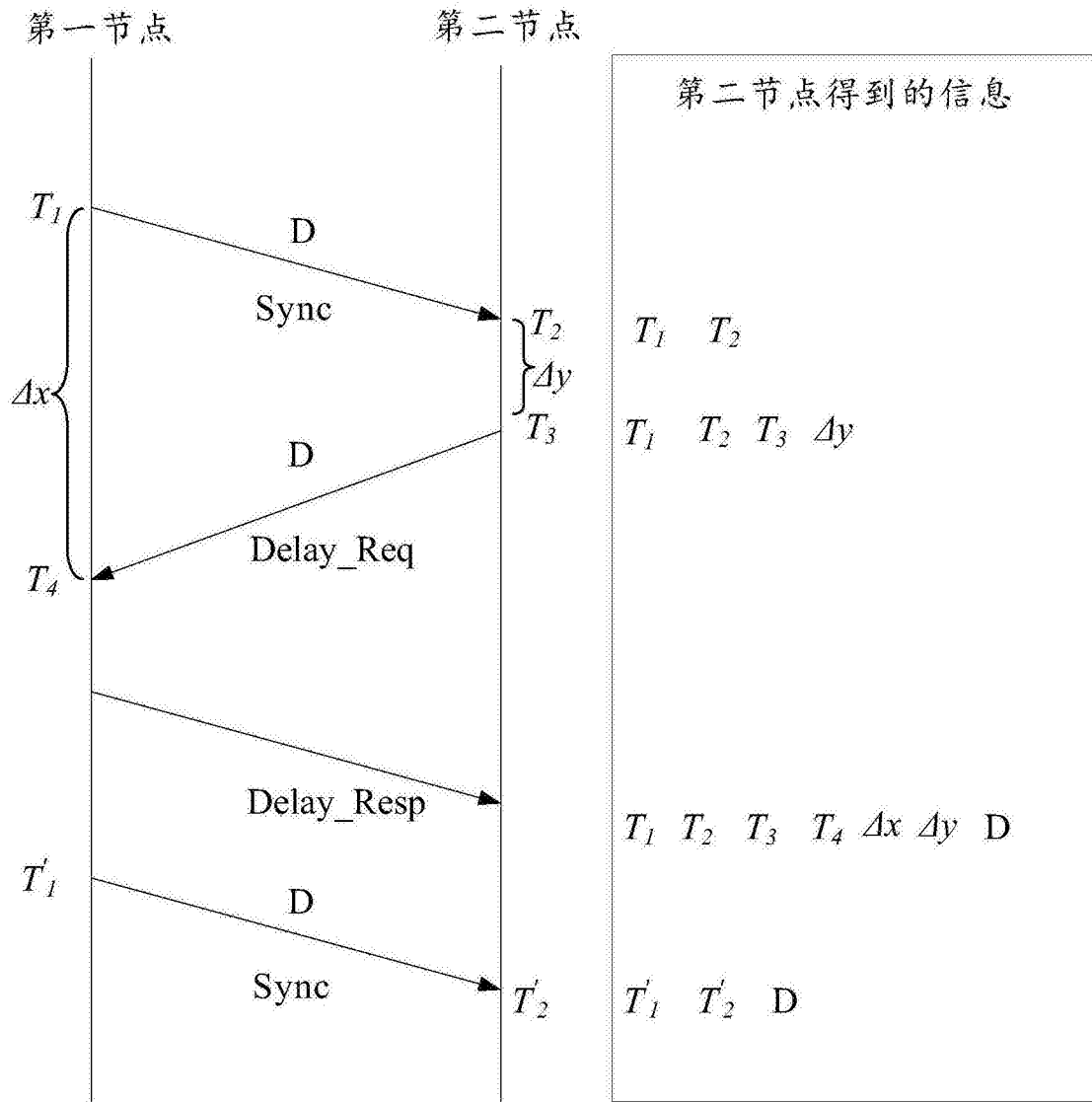


图6

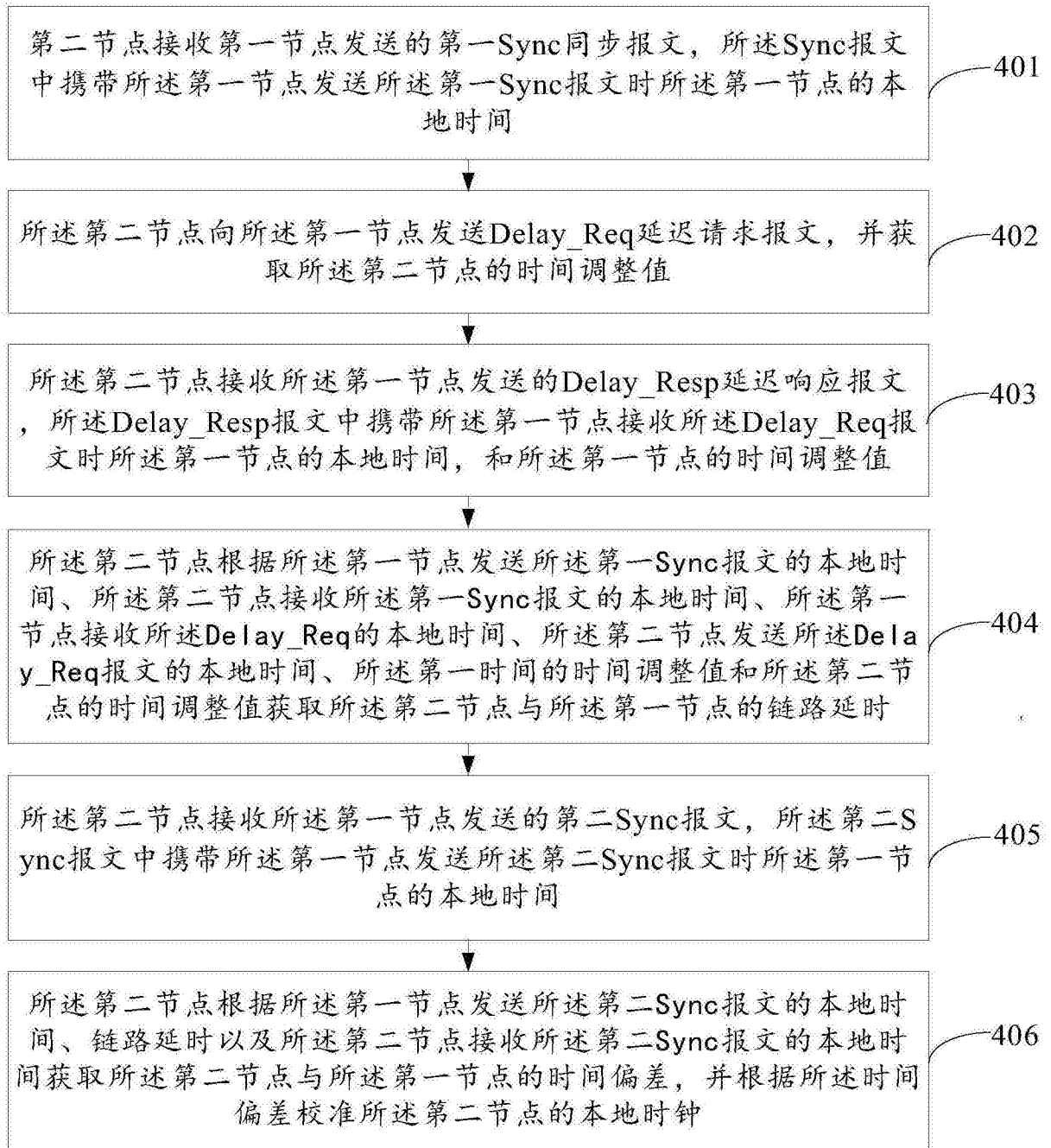


图7

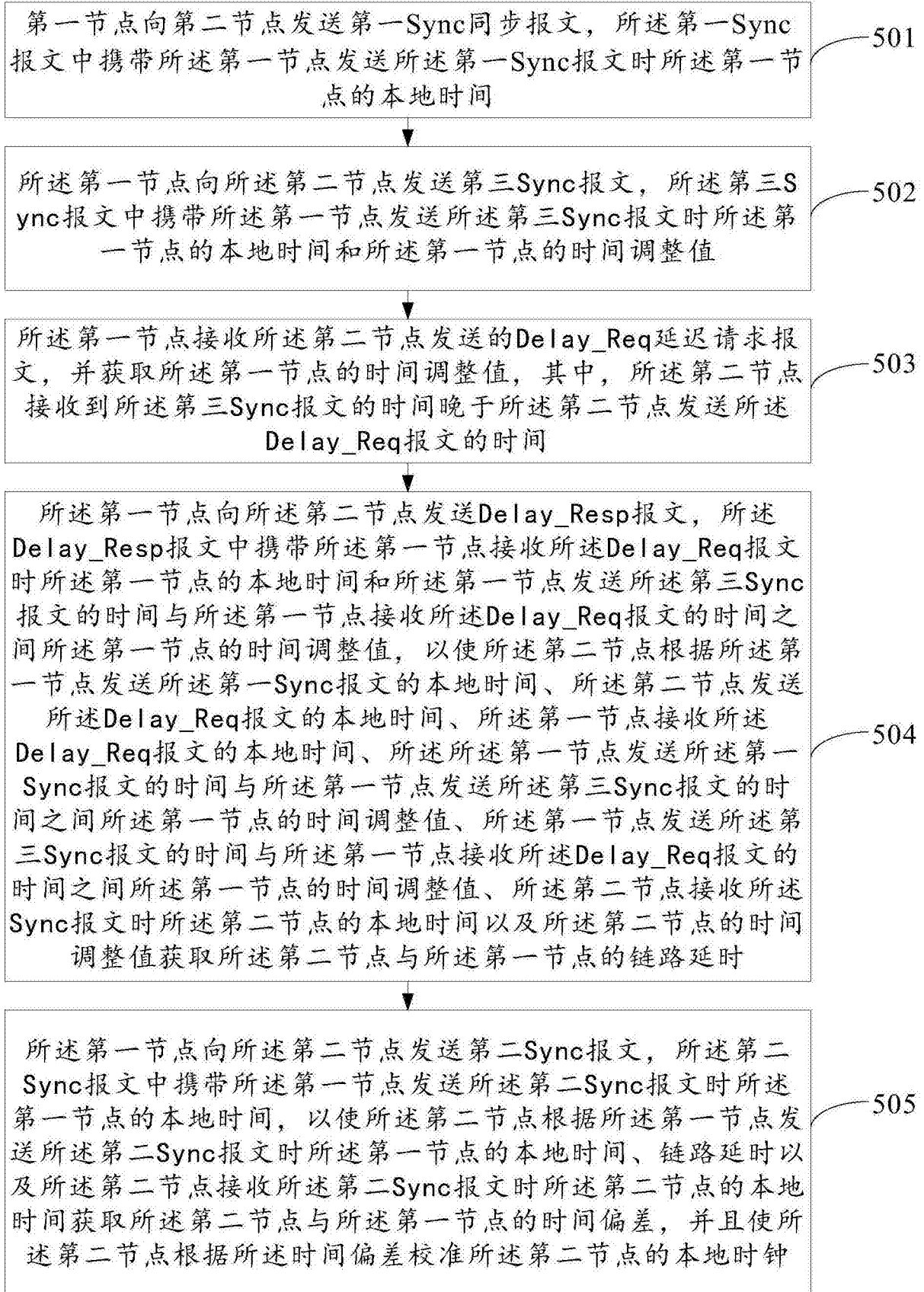


图8

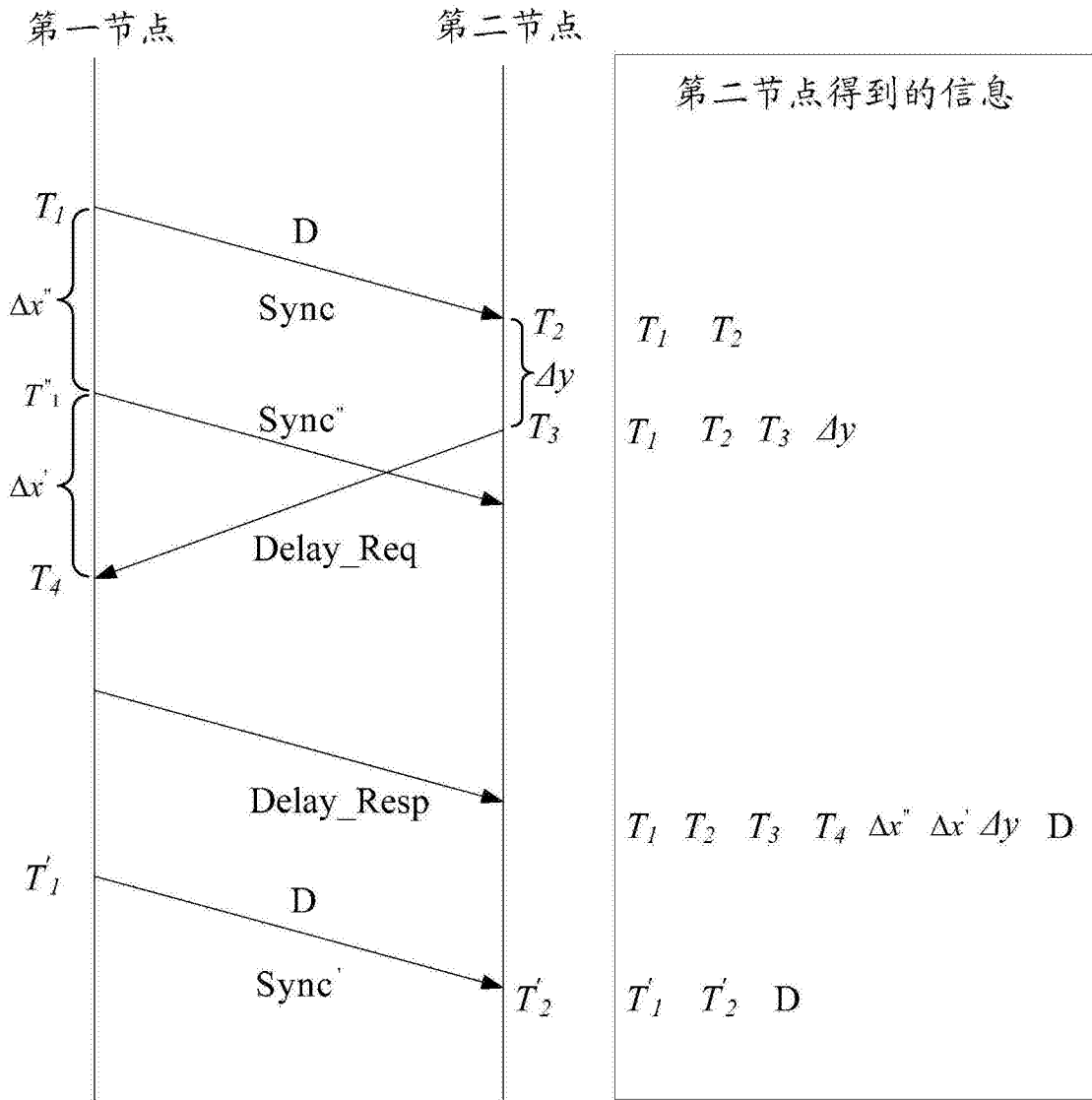


图9

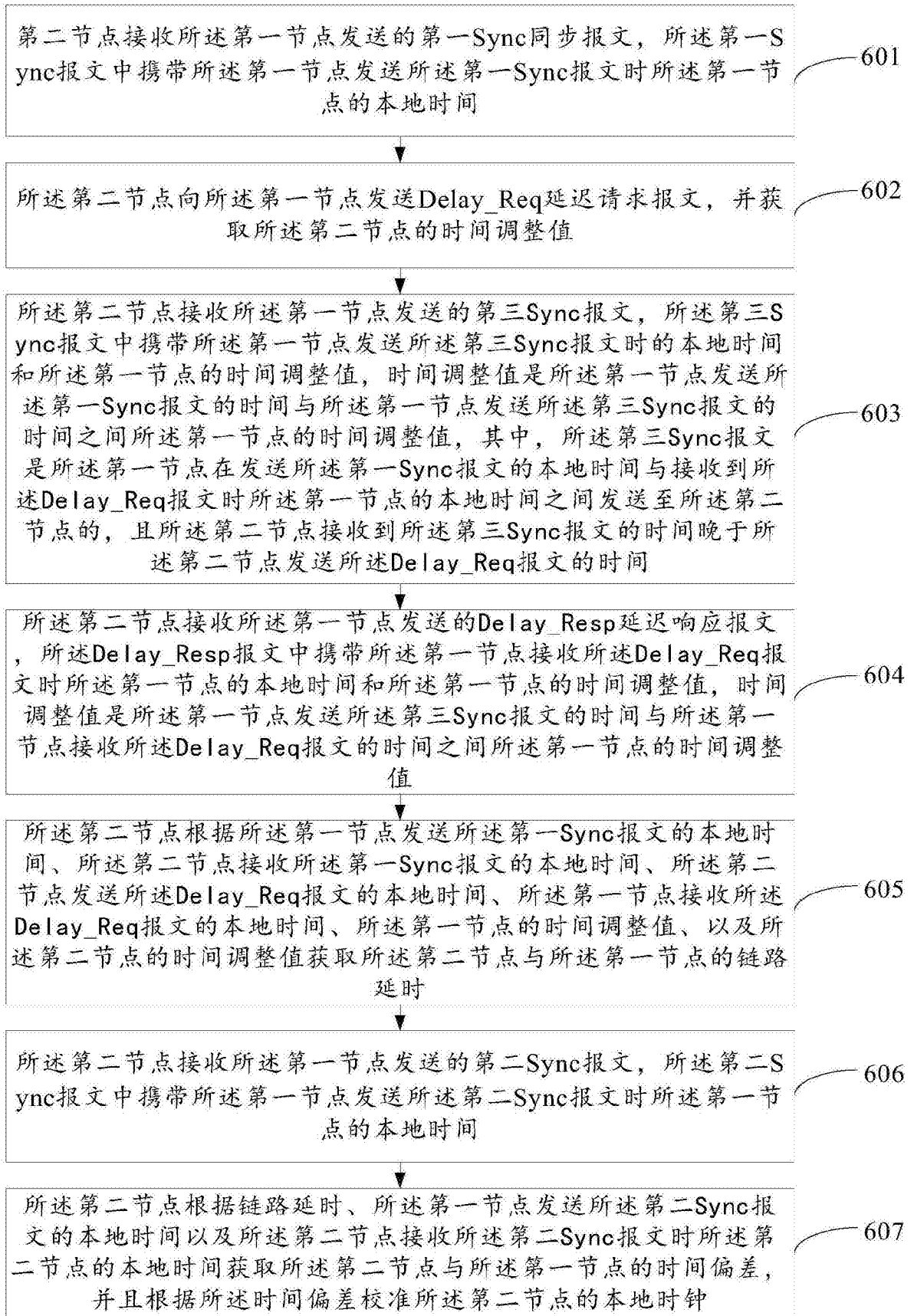


图10

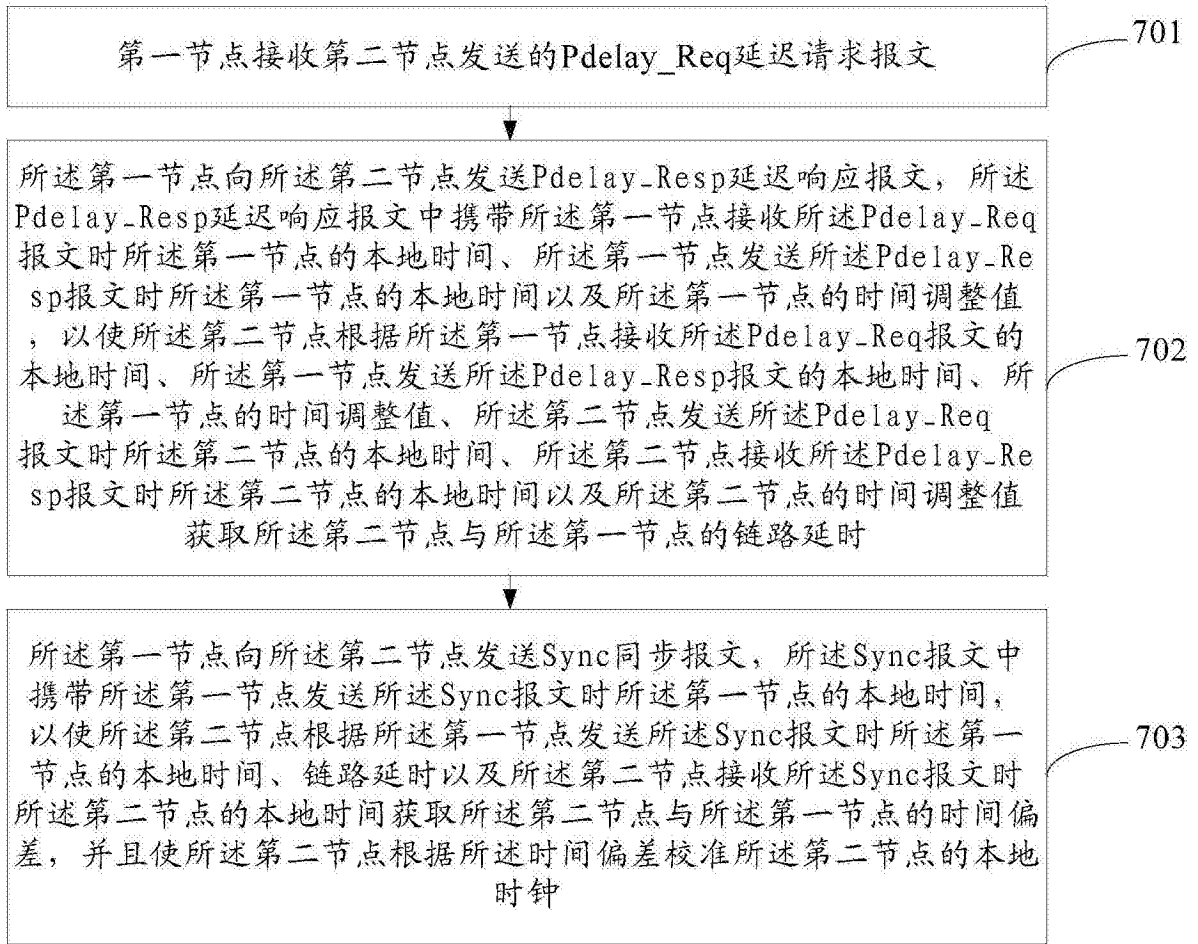


图11

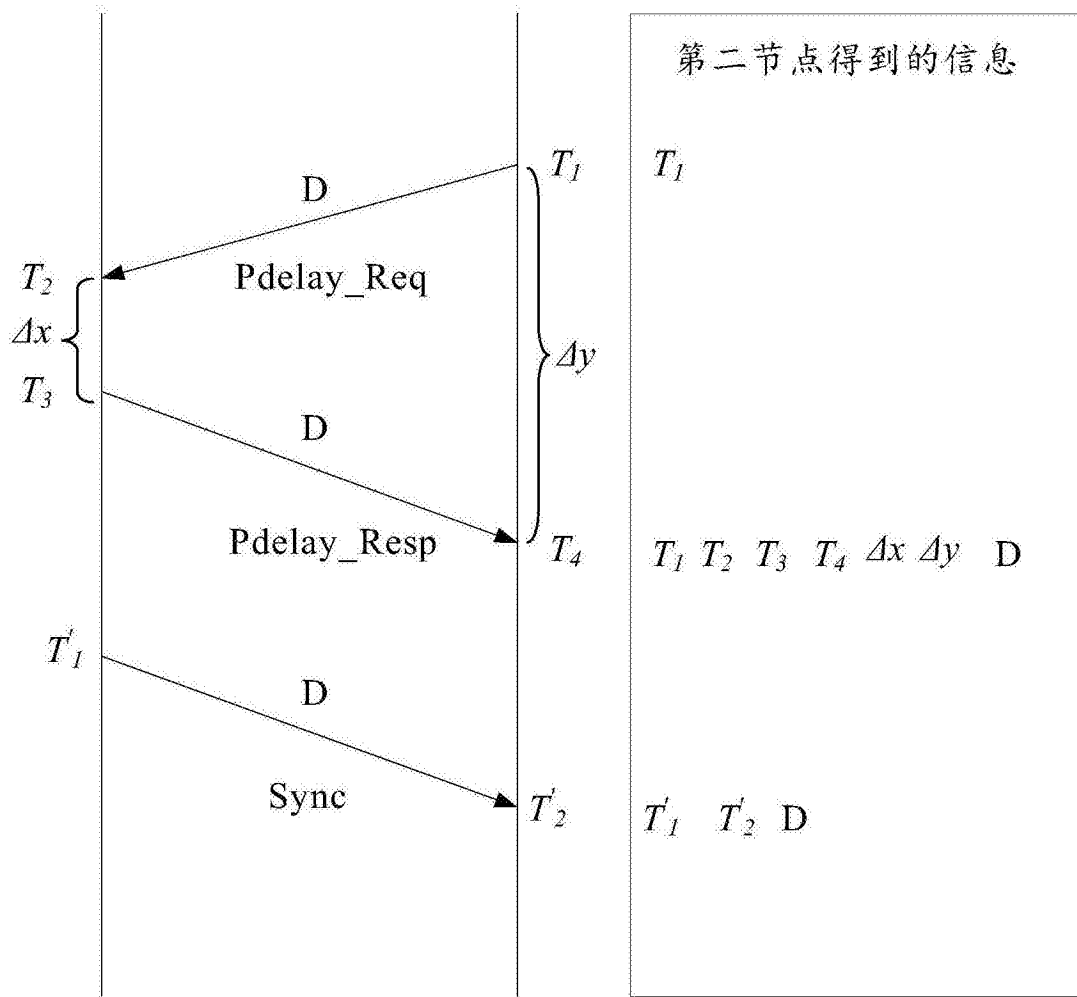


图12

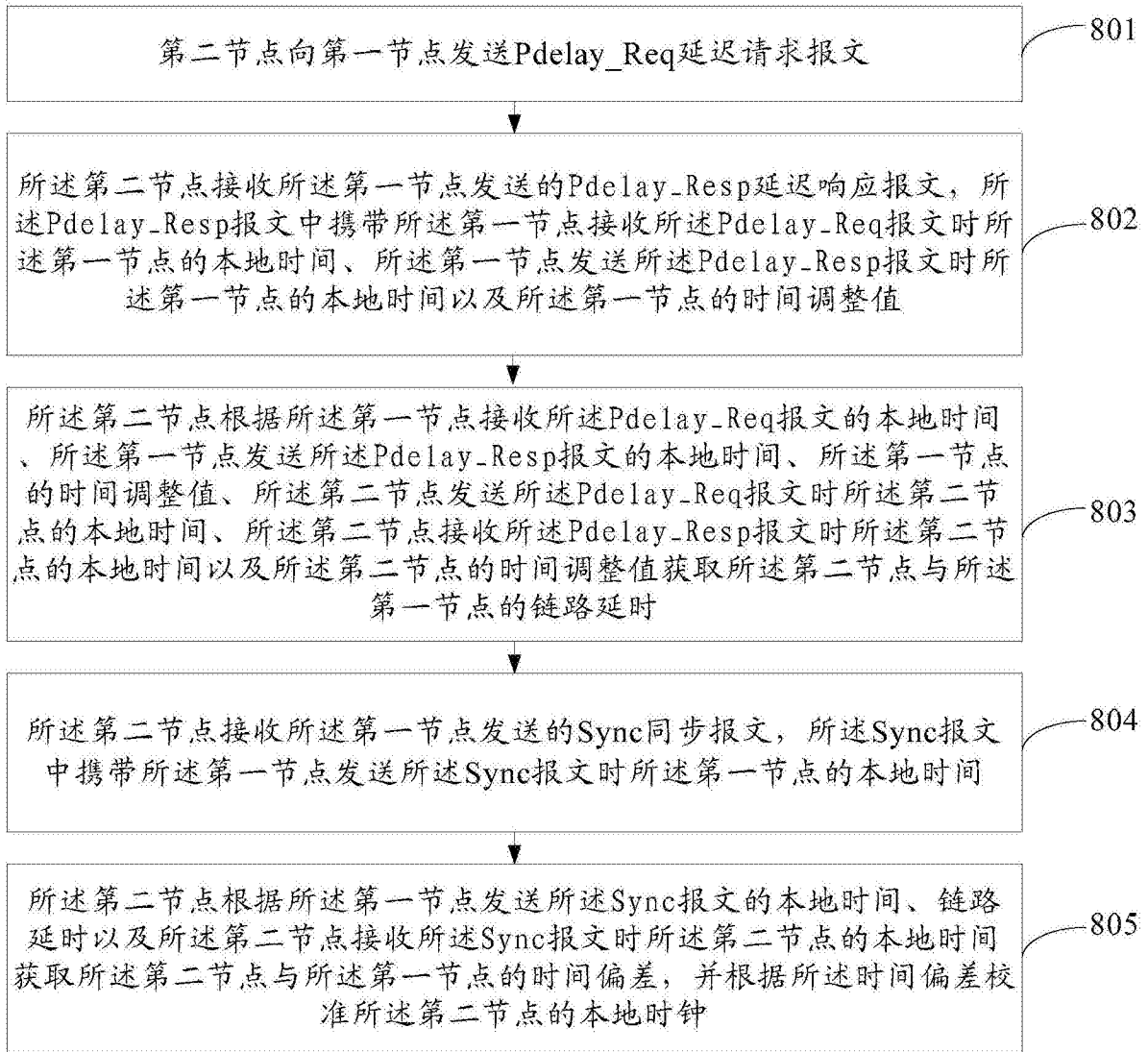


图13

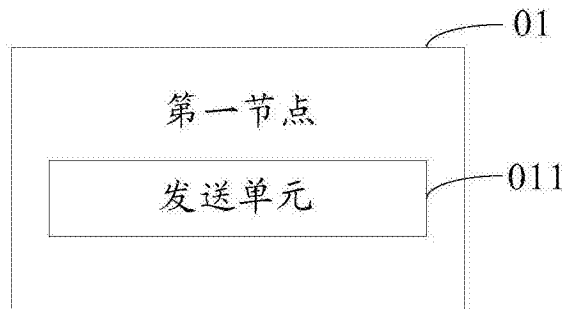


图14

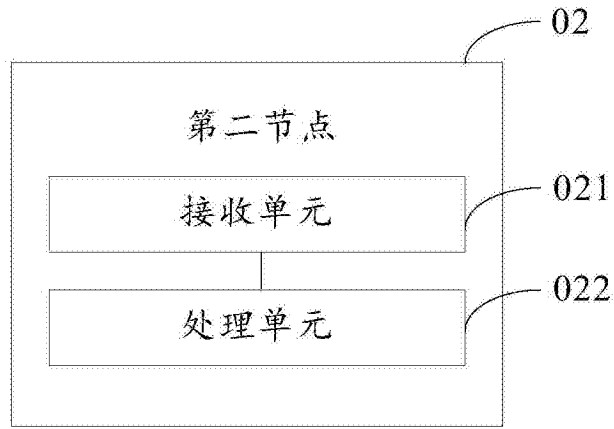


图15

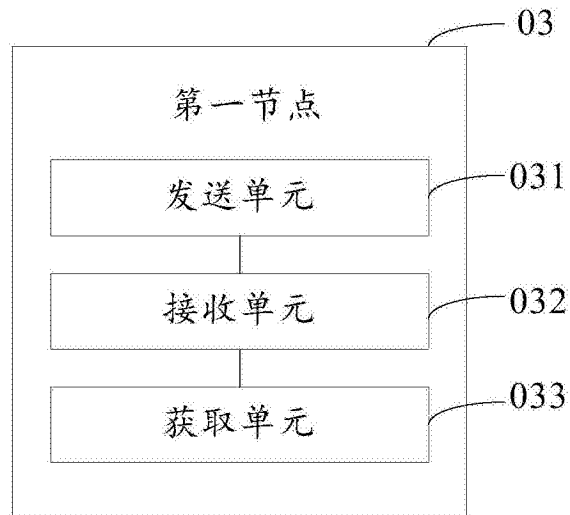


图16

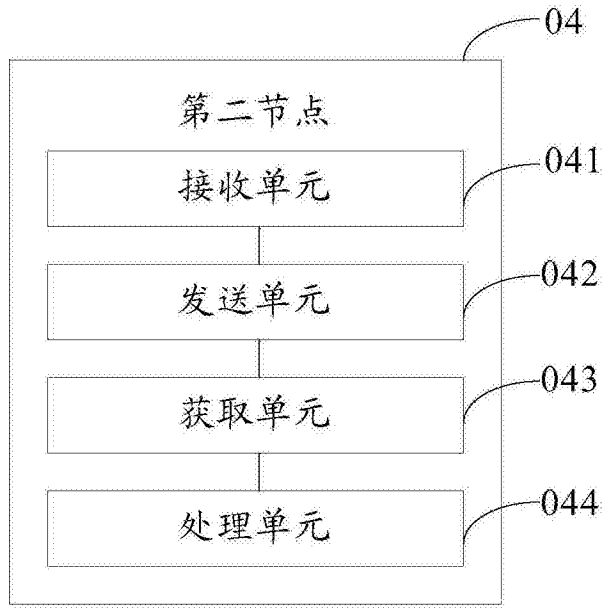


图17

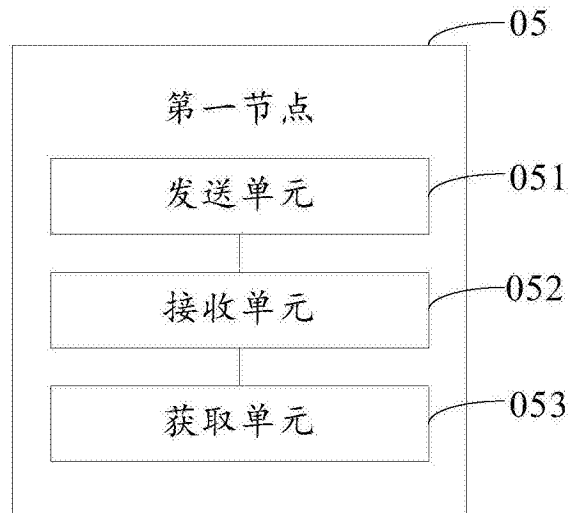


图18

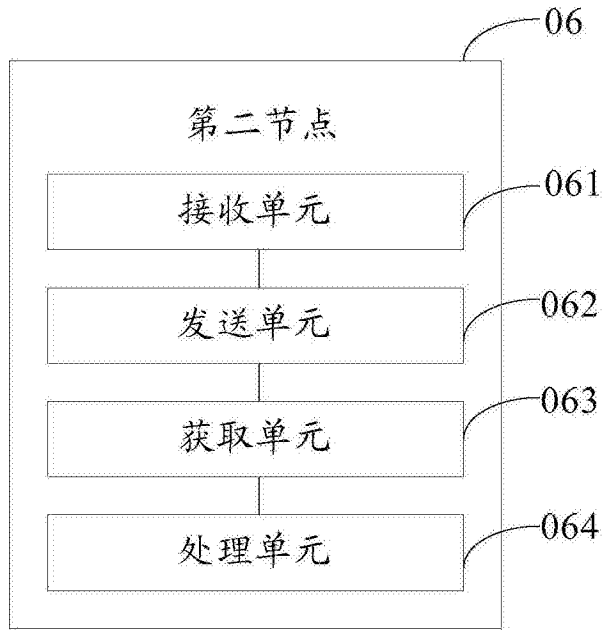


图19

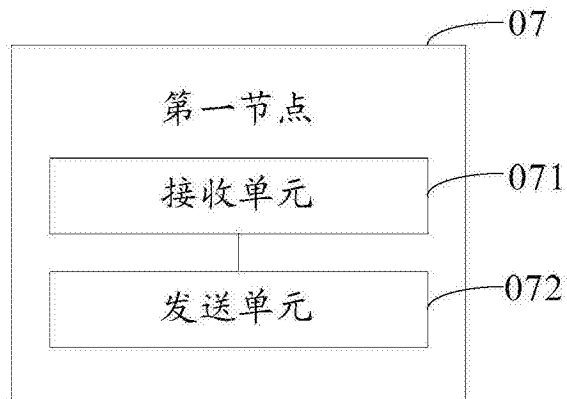


图20

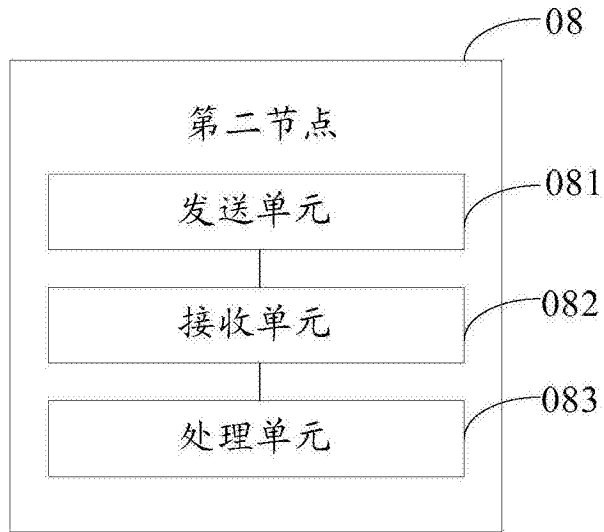


图21

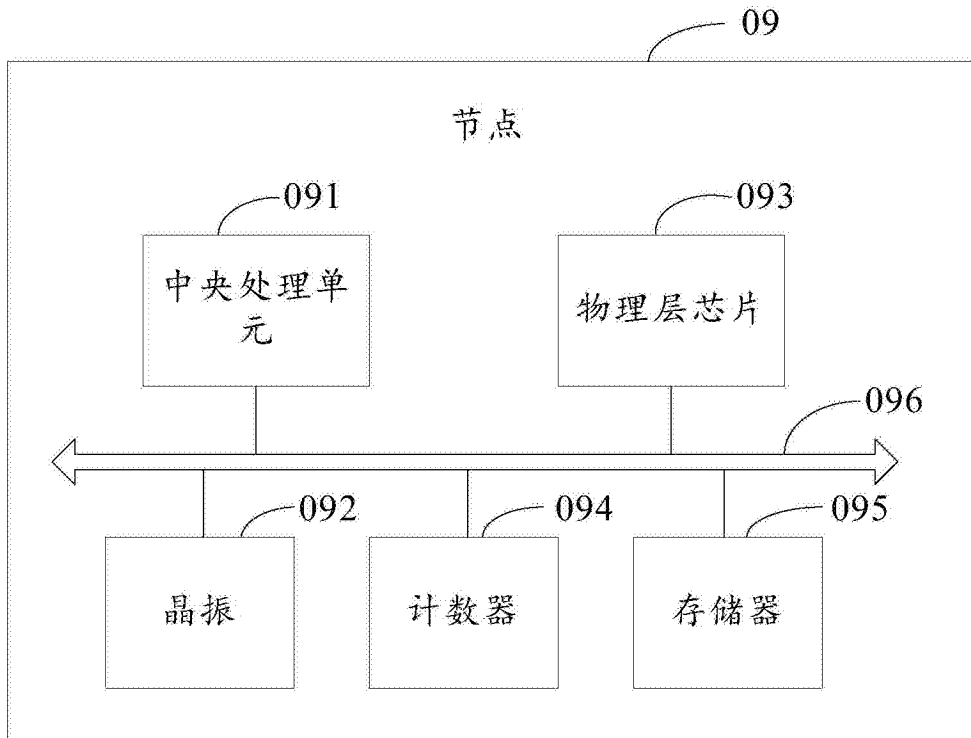


图22

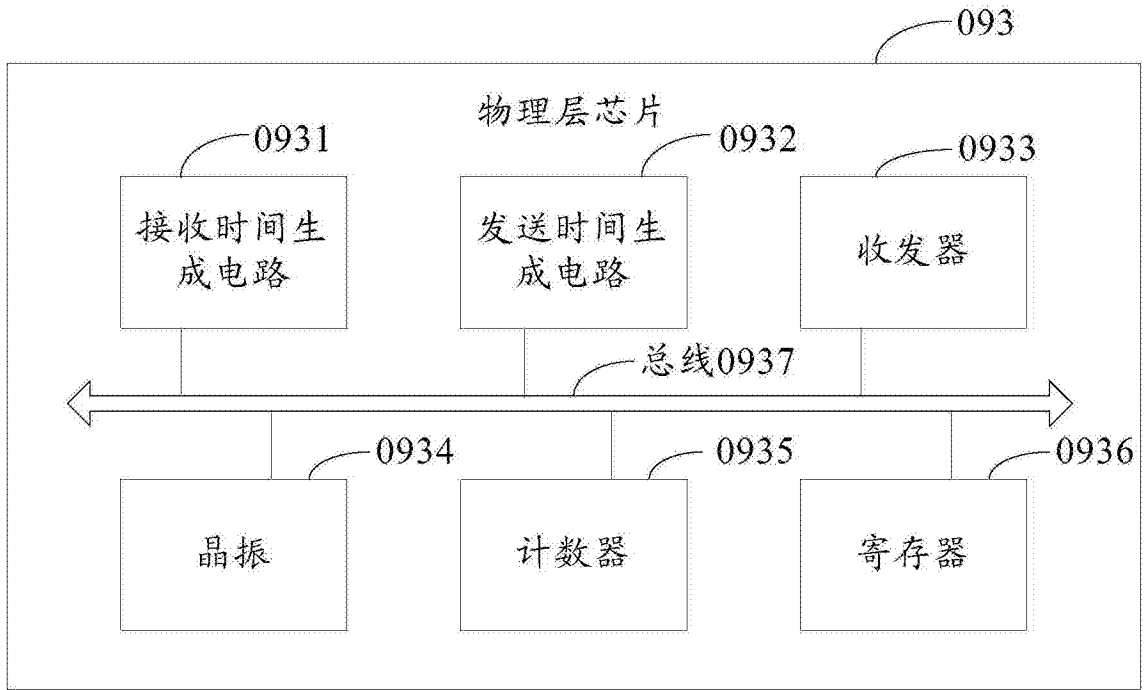


图23