

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2012 年 11 月 8 日 (08.11.2012)



(10) 国际公布号
WO 2012/149736 A1

(51) 国际专利分类号:

H04W 56/00 (2009.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2011/079530

(22) 国际申请日:

2011 年 9 月 9 日 (09.09.2011)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): **华为技术有限公司 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。

(72) 发明人: 及

(75) 发明人/申请人 (仅对美国): **申新宇 (SHEN, Xinyu)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 **张建梅 (ZHANG, Jianmei)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 **李从奇 (LI, Congqi)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第 21 条(3))。
- 在修改权利要求的期限届满之前进行, 在收到该修改后将重新公布 (细则 48.2(h))。

[见续页]

(54) Title: TIME SYNCHRONIZATION METHOD AND SYSTEM, AND NODE DEVICE

(54) 发明名称: 一种时间同步的方法和系统及节点设备

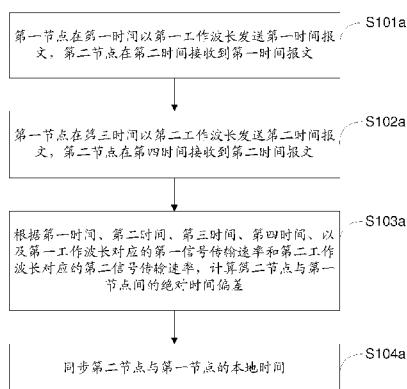


FIG. 1a 图 1a

(57) Abstract: The present invention relates to the field of network communications and disclosed in particular is a time synchronization method, including: a first node sending a first time message with a first operating wavelength at a first time, and a second node receiving the first time message at a second time; the first node sending a second time message with a second operating wavelength at a third time, and the second node receiving the second time message at a fourth time; and calculating the absolute time deviation between the second node and the first node according to the first time, the second time, the third time, the fourth time, and the first signal transmission rate corresponding to the first operating wavelength and the second signal transmission rate corresponding to the second operating wavelength, and synchronizing the local time of the second node and the first node. Also disclosed is a time synchronization system and a node device.

[见续页]

S101a The first node sending a first time message with a first operating wavelength at a first time, and the second node receiving the first time message at a second time
S102a The first node sending a second time message with a second operating wavelength at a third time, and the second node receiving the second time message at a fourth time
S103a Calculating the absolute time deviation between the second node and the first node according to the first time, the second time, the third time, the fourth time, and the first signal transmission rate corresponding to the first operating wavelength and the second signal transmission rate corresponding to the second operating wavelength
S104a Synchronizing the local time of the second node and the first node

WO 2012/149736 A1



-
- 根据申请人的请求，在条约第 21 条(2)(a)所规定的期限届满之前进行。

(57) 摘要:

本发明涉及网络通信领域，具体公开了一种时间同步方法，包括：第一节点在第一时间以第一工作波长发送第一时间报文，第二节点在第二时间接收到第一时间报文；第一节点在第三时间以第二工作波长发送第二时间报文，第二节点在第四时间接收到第二时间报文；根据第一时间、第二时间、第三时间、第四时间、以及第一工作波长对应的第一信号传输速率和第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算第二节点与第一节点间的绝对时间偏差，同步第二节点与第一节点的本地时间。本发明实施例还公开了一种时间同步的系统及节点设备。

一种时间同步的方法和系统及节点设备

技术领域

本发明涉及网络通信技术，尤其涉及一种时间同步的方法和系统及节点设备。

背景技术

目前，随着第三代移动通信技术（3rd Generation，3G）的推广，移动面临运营时分-同步码分多址存取（Time Division - Synchronous Code Division Multiple Access, TD-SCDMA）网络，TD-SCDMA 除了一般无线蜂窝通信所需要的频率同步外，还需要精确的时间同步，精确的时间同步精度要求端到端 $\pm 1\mu\text{s}$ 。同时，未来 3G 的长期演进（Long Term Evolution, LTE）、全球微波互联接入（Worldwide Interoperability for Microwave Access, Wimax）等也会采用和 TD-SCDMA 一样的时分双工（Time Division Duplexing, TDD）模式，同样有相位和时间同步需求。因此，利用现有承载网络实现精确的时间传送成为一种迫切的需求。

承载网络中通用的时间传送方案是 1588 协议，通过 1588 协议可以实现时间的同步和透传功能，被认为是一种通用的时间传递解决方案。1588 协议通过主从设备之间交换时间报文时产生的时间戳，计算主从设备间的路径延时和绝对时间偏差，实现主从设备间的时间同步。

采用 1588 协议实现网络时间同步所基于的前提是收发双向的路径延时一致。但在实际网络中，收发双向的路径延时不一致是常见的情况，双向路径延时不一致导致通过 1588 协议计算出的绝对时间偏差存在误差。对此，还需要准确测量出收发双向的路径延时并进行相应的时间补偿，才能够满足移动网络所要求的时间精度。

目前测量收发双向路径延时的方法是采用光时域反射仪（Optical Time

Domain Reflectometer, OTDR), 通过 OTDR 人工测量出设备之间收发线路的光纤长度, 计算出时间同步误差, 对 1588 协议同步后的时间进行修正。

这种通过 OTDR 测量并计算 1588 时间同步误差, 继而进行人工补偿实现时间同步的方法, 在网络设备工程开局、部署或网络维护导致传送路径变化时, 需要逐点测量双向线路的光纤长度, 方法复杂、测量准确性差。

发明内容

本发明的实施例提供了一种时间同步的方法和系统及节点设备, 能够实现节点间的精确时间同步, 解决现有技术中由于双向路径延时不一致带来的时间同步误差问题。

本发明的实施例采用如下技术方案:

本发明的实施例提供了一种时间同步的方法, 包括:

第一节点在第一时间以第一工作波长发送第一时间报文, 第二节点在第二时间接收到所述第一时间报文;

所述第一节点在第三时间以第二工作波长发送第二时间报文, 所述第二节点在第四时间接收到所述第二时间报文;

根据所述第一时间、所述第二时间、所述第三时间、所述第四时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率, 计算所述第二节点与所述第一节点间的绝对时间偏差, 同步所述第二节点与所述第一节点的本地时间。

本发明的实施例提供了另一种时间同步的方法, 包括:

第一节点在第一时间以第一工作波长发送第一时间报文, 第二节点在第二时间接收到所述第一时间报文;

所述第一节点在第三时间以第二工作波长发送第二时间报文, 所述第二节点在第四时间接收到所述第二时间报文;

根据所述第一时间、所述第二时间、所述第三时间、所述第四时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及通过 1588 协议获得的所述第一节点与所述第二节点间的双向路径延时之和，计算所述第二节点与所述第一节点间的时间同步误差，同步所述第二节点与所述第一节点的本地时间。

本发明实施例提供了再一种时间同步方法，该方法包括：

第一节点在第一时间以第一工作波长发送第一时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间，第二节点在第二时间接收到所述第一时间报文，继而提取所述第一时间；

所述第一节点在第三时间以第二工作波长发送第二时间报文，所述第二时间报文携带所述第三时间，所述第二节点在第四时间接收到所述第二时间报文，继而提取所述第三时间；

所述第二节点在第五时间以第三工作波长发送第三时间报文，所述第一节点在第六时间接收到所述第三时间报文；

所述第二节点在第七时间以第四工作波长发送第四时间报文，所述第一节点在第八时间接收到所述第四时间报文；

所述第二节点根据所述第一时间、所述第二时间、所述第三时间、所述第四时间、所述第五时间、所述第六时间、所述第七时间、所述第八时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、所述第三工作波长对应的第三信号传输速率和所述第四工作波长对应的第四信号传输速率、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算所述第二节点与所述第一节点间的时间同步误差，同步所述第一节点与所述第二节点

点的本地时间。

本发明实施例提供了一种节点设备，包括：

线路处理模块，用于接收第一节点以第一工作波长发送的第一时间报文和所述第一节点以第二工作波长发送的第二时间报文；

报文处理模块，用于记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；还用于解析所述第一时间报文和所述第二时间报文，提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；

时间计算模块，用于根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算自身与所述第一节点间的绝对时间偏差；

本地时间模块，用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；还用于将自身的本地时间减去所述绝对时间偏差，得到与所述第一节点本地时间同步的本地时间。

本发明实施例提供了另一种节点设备，包括：

线路处理模块，用于以第一工作波长向第二节点发送第一时间报文，以第二工作波长向所述第二节点发送第二时间报文；还用于接收所述第二节点发送的第三时间报文；

报文处理模块，用于封装所述第一时间报文和所述第二时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；还用于解析所述第三时间报文，提取所述第三时间报文携带的自身与所述第二节点间的绝对时间偏差；

所述绝对时间偏差由所述第二节点根据所述第一时间报文的发送时间和

所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算获得；

本地时间模块，用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间；还用于将自身的本地时间加上所述绝对时间偏差，得到与所述第二节点本地时间同步的本地时间。

本发明实施例提供了再一种节点设备，包括：

线路处理模块，用于以第一工作波长向第二节点发送第一时间报文，以第二工作波长向第二节点发送第二时间报文；还用于接收所述第二节点发送的第四时间报文；

报文处理模块，用于封装所述第一时间报文和所述第二时间报文，记录所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间；还用于解析所述第四时间报文，提取所述第四时间报文携带的所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；

时间计算模块，用于根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算自身与所述第二节点间的绝对时间偏差；

本地时间模块，用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间；还用于将自身的本地时间加上所述绝对时间偏差，得到与所述第二节点本地时间同步的本地时间。

本发明实施例提供了又一种节点设备，包括：

线路处理模块，用于接收第一节点以第一工作波长发送的第一时间报文和所述第一节点以第二工作波长发送的第二时间报文；

报文处理模块，用于记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；还用于解析所述第一时间报文和所述第二时间报文，提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；

1588 协议模块，用于执行 1588 协议，获得所述第一节点与所述第二节点间的双向路径延时之和；还用于通过 1588 协议将自身的本地时间同步到第一节点的本地时间；

时间计算模块，用于根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及所述双向路径延时之和，计算自身与所述第一节点间的时间同步误差；

本地时间模块，用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；还用于向所述 1588 协议模块提供本地时间；还用于将 1588 协议时间同步后的自身本地时间加上所述时间同步误差。

本发明实施例提供了又一种节点设备，包括：

线路处理模块，用于以第一工作波长向第二节点发送第一时间报文，以第二工作波长向所述第二节点发送第二时间报文；还用于接收所述第二节点发送的第六时间报文；

报文处理模块，用于封装所述第一时间报文和所述第二时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；还用于解析所述第六时间报文，提取所述第六时间报文携带的所述第二节点计算的所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离或者 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向的路径延时；

所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离由所述第二节点根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算获得；

所述 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向的路径延时由所述第二节点根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、以及 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算获得；

1588 协议模块，用于执行 1588 协议，获得所述第一节点与所述第二节点间的双向路径延时之和；还用于通过 1588 协议将自身的本地时间同步到所述第二节点的本地时间；

时间计算模块，或者用于根据所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及所述第一节点与所述第二节点间的双向路径延时之和；或者用于根据所述 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向的路径延时、以及所述第一节点与所述第二节点间的双向路径延时之和，计算所述第二节点与所述第一节点间的时间同步误差；

本地时间模块，用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间；还用于向所述 1588 协议模块提供本地时间；还用于将 1588 协议时间同步后的自身本地时间减去所述时间同步误差。

本发明实施例提供了又一种节点设备，包括：

线路处理模块，用于接收第一节点以第一工作波长发送的第一时间报文

和所述第一节点以第二工作波长发送的第二时间报文；还用于以第三工作波长向所述第一节点发送第三时间报文，以第四工作波长向所述第一节点发送第四时间报文；还用于接收所述第一节点发送的第八时间报文；

报文处理模块，用于记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；还用于解析所述第一时间报文和所述第二时间报文，提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；还用于封装所述第三时间报文和所述第四时间报文，所述第三时间报文携带所述第三时间报文的发送时间，所述第四时间报文携带所述第四时间报文的发送时间；还用于所述解析所述第八时间报文，提取所述第八时间报文携带的所述第一节点计算的 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向的路径延时；

所述 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向的路径延时由所述第一节点根据所述第三时间报文的发送时间和所述第四时间报文的发送时间、所述第三时间报文的接收时间和所述第四时间报文的接收时间、所述第三工作波长对应的第三传送速率和所述第四工作波长对应点第四传输速率、以及 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算获得；

1588 协议模块，用于执行 1588 协议，通过 1588 协议将自身的本地时间同步到所述第一节点的本地时间；

时间计算模块，用于根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、所述 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向的路径延时、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算所述第二节点与所述第一节点间的时间同步误差；

本地时间模块，用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的接收时间、所述第二时间报文的接收时间、所述第三时间报文的发送时间和所述第四时间报文的发送时间；还用于提供所述 1588 协议模块提供本地时间；还用于将 1588 协议时间同步后的自身本地时间加上所述时间同步误差。

本发明实施例提供了一种时间同步系统，所述系统至少包括两个节点设备，其中：

第一节点设备，用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间；以第二工作波长向所述第二节点设备发送第二时间报文，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；

所述第二节点设备，用于接收所述第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点设备以第二工作波长发送的所述第二时间报文；记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算所述第二节点设备与所述第一节点设备间的绝对时间偏差，将自身的本地时间减去所述绝对时间偏差，得到与所述第一节点设备本地时间同步的本地时间。

本发明实施例提供了另一种时间同步系统，所述系统至少包括两个节点设备，其中：

第一节点设备，用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间；以第二工作波长向所

述第二节点设备发送第二时间报文，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；接收所述第二节点设备发送的第三时间报文，提取所述第三时间报文携带的所述第二节点设备与所述第一节点设备间的绝对时间偏差；将自身的本地时间加上所述绝对时间偏差，得到与所述第二节点本地时间同步的本地时间；

所述第二节点设备，用于接收所述第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点设备以第二工作波长发送的所述第二时间报文；记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算所述第二节点设备与所述第一节点设备间的绝对时间偏差；向所述第一节点设备发送携带所述绝对时间偏差的第三时间报文。

本发明实施例提供了再一种时间同步系统，所述系统至少包括两个节点设备，其中：

第一节点设备，用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文；以第二工作波长向所述第二节点设备发送第二时间报文；记录所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间；接收所述第二节点设备发送的第四时间报文，提取所述第四时间报文携带的所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算所述第二节点设备与所述第一

节点设备间的绝对时间偏差；将自身的本地时间加上所述绝对时间偏差，得到与所述第二节点设备本地时间同步的本地时间；

所述第二节点设备，用于接收所述第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点设备以第二工作波长发送的所述第二时间报文；向所述第一节点设备发送第四时间报文，所述第四时间报文携带所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间。

本发明实施例提供了又一种时间同步系统，所述系统至少包括两个节点设备，其中：

第一节点设备，用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间；以第二工作波长向所述第二节点设备发送第二时间报文，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；

所述第二节点设备，用于接收所述第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点设备以第二工作波长发送的所述第二时间报文；记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；通过 1588 协议获得所述第一节点设备与所述第二节点设备间的双向路径延时之和；根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及所述第一节点设备与所述第二节点设备间的双向路径延时之和，计算所述第二节点设备与所述第一节点设备之间的时间同步误差；将 1588 协议时间同步后的自身本地时间加上所述时间同步误差。

本发明实施例提供了又一种时间同步系统，所述系统至少包括两个节点设备，其中：

第一节点设备，用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间；以第二工作波长向所述第二节点设备发送第二时间报文，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；接收所述第二节点设备发送的第六时间报文，提取所述第六时间报文携带的所述第二节点计算的所述第一节点设备至所述第二节点设备方向的线路距离或者 1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向的路径延时；通过 1588 协议获得所述第一节点设备与所述第二节点设备间的双向路径延时之和；或者根据所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及所述双向路径延时之和，或者根据所述 1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向的路径延时、以及所述双向路径延时之和，计算所述第二节点设备与所述第一节点设备间的时间同步误差；将 1588 时间同步后的自身本地时间减去所述时间同步误差。

所述第二节点设备，用于接收所述第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点设备以第二工作波长发送的所述第二时间报文；记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；

或者根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离；或者根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报

文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、以及 1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算所述 1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向的路径延时；

向所述第一节点设备发送第六时间报文，所述第六时间报文携带所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离或者所述 1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向的路径延时。

本发明实施例提供了又一种时间同步系统，所述系统至少包括两个节点设备，其中：

第一节点设备，用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间；以第二工作波长向所述第二节点设备发送第二时间报文，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；接收所述第二节点设备以第三工作波长发送的第三时间报文和所述第二节点设备以第四工作波长发送的第四时间报文；记录所述第三时间报文的接收时间和所述第四时间报文的接收时间；提取所述第三时间报文携带的所述第三时间报文的发送时间和所述第四时间报文携带的所述第四时间报文的发送时间；根据所述第三时间报文的发送时间和所述第四时间报文的发送时间、所述第三时间报文的接收时间和所述第四时间报文的接收时间、所述第三工作波长对应的第三传送速率和所述第四工作波长对应的第四传输速率、以及 1588 协议报文在所述第二节点设备至所述第一节点设备方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算 1588 协议报文在所述第二节点设备至所述第一节点设备方向上的路径延时；向所述第二节点发送第八时间报文，所述第八时间报文携带所述 1588 协议报文在所述第二节点设备至所述第一节点设备方向上的路径延时。

所述第二节点设备，用于接收第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点以所述第二工作波长发送的所述第二时间报文；记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；以所述第三工作波长向所述第一节点设备发送所述第三时间报文，所述第三时间报文携带所述第三时间报文的发送时间；以所述第四工作波长向所述第一节点设备发送所述第四时间报文，所述第四时间报文携带所述第四时间报文的发送时间；接收所述第一节点设备发送的第八时间报文，提取所述第八时间报文携带的所述 1588 协议报文在所述第二节点设备至所述第一节点设备方向上的路径延时；根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、所述 1588 协议报文在所述第二节点设备至所述第一节点设备方向上的路径延时、1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算所述第二节点设备与所述第一节点设备间的时间同步误差；将 1588 时间同步后的自身本地时间加上所述时间同步误差。

本发明实施例提供的一种时间同步方法和系统及节点设备，可以实现节点间的精确时间同步，解决现有技术中由于双向路径延时不一致带来的时间同步误差问题，技术方案实现简单，测量准确性高，具备较好的可实施性。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例，下面将对实施例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性的前提下，还可以根

据这些附图获得其它的附图。

图 1a 为本发明实施例，一种时间同步方法的流程示意图；

图 1b 为本发明又一实施例，一种时间同步方法的流程示意图；

图 1c 为本发明再一实施例，一种时间同步方法的流程示意图；

图 2 为本发明实施例一的时间同步方法流程图；

图 3 为本发明实施例二的时间同步方法流程图；

图 4 为本发明实施例三的时间同步方法流程图；

图 5 为本发明实施例四的时间同步方法流程图；

图 6 为本发明实施例五的时间同步方法流程图；

图 7 为本发明实施例六的时间同步方法流程图；

图 8 为本发明实施例七的时间同步方法流程图；

图 9 为本发明实施例八、九的节点关系示意图；

图 10 为本发明实施例八的时间同步方法流程图；

图 11 为本发明实施例九的时间同步方法流程图；

图 12 为本发明实施例十、十二的节点设备的结构框图；

图 13 为本发明实施例十一的节点设备的结构框图；

图 14 为本发明实施例十三的节点设备的结构框图；

图 15 为本发明实施例十四的节点设备的结构框图；

图 16 为本发明实施例十五的节点设备的结构框图；

图 17 为本发明实施例十六、十七、十八、十九、二十、二十一的时间同步系统示意图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明实施例一种时间同步的方法和系统及节点设备进行进一步详细描述。

应当明确，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它实施例，都属于本发明保护的范围。

承载网络中，初始状态下时间同步主节点与时间同步从节点之间的本地时间并不同步。

本发明实施例，一种时间同步方法的流程如图 1a 所示，该方法包括以下步骤：

步骤 S101a，第一节点在第一时间以第一工作波长发送第一时间报文，第二节点在第二时间接收到第一时间报文；

步骤 S102a，第一节点在第三时间以第二工作波长发送第二时间报文，第二节点在第四时间接收到第二时间报文；

步骤 S103a，根据第一时间、第二时间、第三时间、第四时间、以及第一工作波长对应的第一信号传输速率和第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算第二节点与第一节点间的绝对时间偏差；

步骤 S104a，同步第二节点与第一节点的本地时间。

本发明又一实施例，一种时间同步方法的流程如图 1b 所示，该方法包括以下步骤：

步骤 S101b，第一节点在第一时间以第一工作波长发送第一时间报文，第二节点在第二时间接收到第一时间报文；

步骤 S102b，第一节点在第三时间以第二工作波长发送第二时间报文，第二节点在第四时间接收到第二时间报文；

步骤 S103b，根据第一时间、第二时间、第三时间、第四时间、第一工作波长对应的第一信号传输速率和第二工作波长对应的第二信号传输速率、1588 协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及通过 1588 协议获得的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和，

计算第二节点与第一节点间的时间同步误差;

步骤 S104b, 同步第二节点与第一节点的本地时间。

本发明再一实施例, 一种时间同步方法的流程如图 1c 所示, 该方法包括以下步骤:

步骤 S101c, 第一节点在第一时间以第一工作波长发送第一时间报文, 第一时间报文携带第一时间, 第二节点在第二时间接收到第一时间报文, 继而提取第一时间;

第一节点在第三时间以第二工作波长发送第二时间报文, 第二时间报文携带第三时间, 第二节点在第四时间接收到第二时间报文, 继而提取第三时间;

步骤 S102c, 第二节点在第五时间以第三工作波长发送第三时间报文, 第一节点在第六时间接收到第三时间报文;

第二节点在第七时间以第四工作波长发送第四时间报文, 第一节点在第八时间接收到第四时间报文;

步骤 S103c, 第二节点根据第一时间、第二时间、第三时间、第四时间、第五时间、第六时间、第七时间、第八时间、第一工作波长对应的第一信号传输速率和第二工作波长对应的第二信号传输速率、第三工作波长对应的第三信号传输速率和第四工作波长对应的第四信号传输速率、1588 协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及 1588 协议报文在第二节点至第一节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率, 计算第二节点与第一节点间的时间同步误差;

步骤 S104c, 同步第一节点与第二节点的本地时间。

为便于下述实施例的理解, 下面列出在下述多个实施例中用到的符号含义:

T_1 表示第一节点的本地时间;

T_2 表示第二节点的本地时间;

T_1' 表示第一节点为从节点时, 与第二节点本地时间同步的本地时间;

T_2' 表示第二节点为从节点时, 与第一节点本地时间同步的本地时间;

$T_{1_{1588}}$ 表示第一节点为从节点时, 1588协议时间同步后的本地时间;

$T_{2_{1588}}$ 表示第二节点为从节点时, 1588协议时间同步后的本地时间;

V_{1-2} 表示1588协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率;

V_{2-1} 表示1588协议报文在第二节点至第一节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率;

L_{1-2} 表示第一节点至第二节点方向的线路距离;

L_{2-1} 表示第二节点至第一节点方向的线路距离;

d_{1-2} 表示1588协议报文在第一节点至第二节点方向的路径延时;

d_{2-1} 表示1588协议报文在第二节点至第一节点方向的路径延时;

D 表示第一节点与第二节点间的双向路径延时之和, 即 d_{1-2} 与 d_{2-1} 之和;

Offset表示第二节点与第一节点间的绝对时间偏差;

ΔT 表示第二节点与第一节点间的时间同步误差。

在此需要说明的是, 在运行 1588 协议的节点上, V_{1-2} 和 V_{2-1} 为已知, 以接收或发送 1588 协议报文。

实施例一, 一种时间同步方法, 其方法流程如图2所示, 第一节点为主节点, 第二节点为从节点, 该方法具体包括以下步骤:

步骤S201, 第一节点以 λ_1 为工作波长向第二节点发送第一时间报文。

本实施例中, 第一节点在本地时间为 t_{11} 时, 以 λ_1 为工作波长向第二节点发送第一时间报文, 该第一时间报文携带报文的发送时间 t_{11} , 第二节点在本地时间为 t_{12} 时接收到第一时间报文, 继而在第一时间报文中提取第一时间报文的

发送时间 t_{11} 。

某一工作波长所对应的信号传输速率是确定的，工作波长为 λ_1 的信号在线路上的传输速率为 v_1 ，则可以得到下述公式：

$$t_{12} - t_{11} = \frac{L_{1-2}}{v_1} + \text{Offset} \quad (1)$$

步骤S202，第一节点以 λ_2 为工作波长向第二节点发送第二时间报文。

本实施例中，第一节点在本地时间为 t_{21} 时，以 λ_2 为工作波长向第二节点发送第二时间报文，该第二时间报文携带报文的发送时间 t_{21} ，第二节点在本地时间为 t_{22} 时接收到第二时间报文，继而在第二时间报文中提取第二时间报文的发送时间 t_{21} 。

某一工作波长所对应的信号传输速率是确定的，工作波长为 λ_2 的信号在线路上的传输速率为 v_2 ，则可以得到下述公式：

$$t_{22} - t_{21} = \frac{L_{1-2}}{v_2} + \text{Offset} \quad (2)$$

步骤S203，第二节点计算第二节点与第一节点间的绝对时间偏差。

本实施例中，第二节点根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、第一信号传输速率 v_1 和第二信号传输速率 v_2 ，并根据公式(1)、(2)计算出第二节点与第一节点间的绝对时间偏差Offset：

$$\text{Offset} = \frac{(t_{12} - t_{11}) \times v_1 - (t_{22} - t_{21}) \times v_2}{v_1 - v_2} \quad (3)$$

步骤S204，第二节点根据绝对时间偏差，将自身的本地时间同步到第一节点的本地时间。

本实施例中，第二节点根据计算得到的绝对时间偏差Offset补偿其本地时间，将自身的本地时间同步到第一节点的本地时间。

同步后的第二节点本地时间为： $T2' = T2 - \text{Offset}$ ，即第二节点将自身的本地时间 $T2$ 减去绝对时间偏差Offset，得到与第一节点本地时间同步的本地时间 $T2'$ 。

实施例二，一种时间同步方法，其方法流程如图3所示，第一节点为从节点，第二节点为主节点，该方法具体包括以下步骤：

本实施例中步骤S301、S302、S303与实施例一中步骤S201、S202、S203的实施方案相类似，此处不再赘述。

步骤S304，第二节点向第一节点发送携带绝对时间偏差的第三时间报文。

本实施例中，第二节点向第一节点发送第三时间报文，第三时间报文携带第二节点计算的第二节点与第一节点间的绝对时间偏差Offset。第三时间报文的格式及其承载于何种工作波长上，本实施例不做限制。

步骤S305，第一节点接收第三时间报文，根据绝对时间偏差，将自身的本地时间同步到第二节点的本地时间。

第一节点接收到第二节点发送的第三时间报文，继而提取第三时间报文携带的绝对时间偏差Offset，根据该绝对时间偏差补偿其本地时间，将自身的本地时间同步到第一节点的本地时间。

同步后的第一节点本地时间为： $T1' = T1 + \text{Offset}$ ，即第一节点将自身的本地时间T1加上绝对时间偏差Offset，得到与第二节点本地时间同步的本地时间T1'。

实施例三，一种时间同步方法，其方法流程如图4所示，第一节点为从节点，第二节点为主节点，该方法具体包括以下步骤：

步骤S401，第一节点以 λ_1 为工作波长向第二节点发送第一时间报文。

本实施例中，第一节点在本地时间为 t_{11} 时，以 λ_1 为工作波长向第二节点发送第一时间报文，第二节点在本地时间为 t_{12} 时接收到第一时间报文。

某一工作波长所对应的信号传输速率是确定的，工作波长为 λ_1 的信号在线路上的传输速率为 v_1 ，则可以得出与实施例一步骤S201中相同的公式（1）。

步骤S402，第一节点以 λ_2 为工作波长向第二节点发送第二时间报文。

本实施例中，第一节点在本地时间为 t_{21} 时，以 λ_2 为工作波长向第二节点发送第二时间报文，第二节点在本地时间为 t_{22} 时接收到第二时间报文。

某一工作波长所对应的信号传输速率是确定的，工作波长为 λ_2 的信号在线路上的传输速率为 v_2 ，则可以得出与实施例一步骤S202中相同的公式（2）。

步骤S403，第二节点向第一节点发送携带第一报文接收时间和第二报文接收时间的第四时间报文。

本实施例中，第二节点接收到第一时间报文和第二时间报文之后向第一节点发送第四时间报文，第四时间报文携带第一时间报文在第二节点的接收时间 t_{12} 和第二时间报文在第二节点的接收时间 t_{22} 。第四时间报文的格式及其承载于何种工作波长上，本实施例不做限制。

步骤S404，第一节点接收第四时间报文，计算第二节点与第一节点间的绝对时间偏差。

本实施例中，第一节点接收到第二节点发送的第四时间报文，继而提取第四时间报文携带的第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} ，结合第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一信号传输速率 v_1 和第二信号传输速率 v_2 ，根据公式（1）、（2）计算出第二节点与第一节点间的绝对时间偏差Offset：

$$\text{Offset} = \frac{(t_{12} - t_{11}) \times v_1 - (t_{22} - t_{21}) \times v_2}{v_1 - v_2} \quad (3)$$

步骤S405，第一节点根据绝对时间偏差，将自身的本地时间同步到第二节点的本地时间。

本实施例中，第一节点根据计算得到的绝对时间偏差Offset补偿其本地时间，将自身的本地时间同步到第二节点的本地时间。

同步后的第一节点本地时间为： $T1' = T1 + \text{Offset}$ ，即第一节点将自身的本地时间T1加上绝对时间偏差Offset，得到与第二节点本地时间同步的本地时间T1'。

上述实施例一、二、三提供的技术方案，不依赖于1588协议，通过在单向路径的至少两个波长上发送时间报文的方式，完成主、从节点间绝对时间偏差的自动实时测量，实现节点间的精确时间同步，解决现有技术中由于双向路径延时不一致带来的时间同步误差问题。技术方案实现简单，测量准确性高，具备较好的可实施性。

实施例四，一种时间同步方法，结合1588协议实现节点间时间同步。其方法流程如图5所示，第一节点为主节点，第二节点为从节点。该方法具体包括以下步骤：

步骤 S501，第一节点以 λ_1 为工作波长向第二节点发送第一时间报文。

本实施例中，第一节点在本地时间为 t_{11} 时，以 λ_1 为工作波长向第二节点发送第一时间报文，该第一时间报文携带报文的发送时间 t_{11} ，第二节点在本地时间为 t_{12} 时接收到第一时间报文，继而在第一时间报文中提取第一时间报文的发送时间 t_{11} 。

某一工作波长所对应的信号传输速率是确定的，工作波长为 λ_1 的信号在线路上的传输速率为 v_1 ，则可以得到下述公式：

$$t_{12} - t_{11} = \frac{L_{1-2}}{v_1} + \text{Offset} \quad (1)$$

步骤 S502，第一节点以 λ_2 为工作波长向第二节点发送第二时间报文。

本实施例中，第一节点在本地时间为 t_{21} 时，以 λ_2 为工作波长向第二节点发送第二时间报文，该第二时间报文携带报文的发送时间 t_{21} ，第二节点在本地时间为 t_{22} 时接收到第二时间报文，继而在第二时间报文中提取第二时间报文的发送时间 t_{21} 。

某一工作波长所对应的信号传输速率是确定的，工作波长为 λ_2 的信号在线路上的传输速率为 v_2 ，则可以得到下述公式：

$$t_{22} - t_{21} = \frac{L_{1-2}}{v_2} + \text{Offset} \quad (2)$$

步骤 S503, 第二节点获得双向路径延时之和, 计算第二节点与第一节点间的时间同步误差。

1588协议基于的前提是收发双向的路径延时一致, 因此导致根据1588协议计算的单向路径延时和绝对时间偏差有误差, 但根据1588协议计算能够得到精确的双向路径延时之和。

本实施例中, 第二节点通过1588协议得到精确的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和D。

根据公式 (1)、(2), 得到第一节点至第二节点间方向的线路距离 L_{1-2} 的计算公式 (4):

$$L_{1-2} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{v_2 - v_1} \quad (4)$$

结合1588协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用的信号传输速率 V_{1-2} , 得到1588协议报文在第一节点至第二节点方向的路径延时 d_{1-2} 的计算公式 (5):

$$d_{1-2} = \frac{L_{1-2}}{V_{1-2}} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{(v_2 - v_1) \times V_{1-2}} \quad (5)$$

因此, 得到第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT 的计算公式 (6):

$$\begin{aligned} \Delta T &= T2' - T2_{1588} \\ &= d_{1-2} - \frac{D}{2} = \frac{L_{1-2}}{V_{1-2}} - \frac{D}{2} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{(v_2 - v_1) \times V_{1-2}} - \frac{D}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

第二节点根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、第一信号传输速率 v_1 和第二信号传输速率 v_2 、1588 协议获得的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和 D, 根据公式 (6) 计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT 。

步骤S504, 第二节点根据时间同步误差, 将自身的本地时间同步到第一节点的本地时间。

第二节点通过 1588 协议同步第二节点与第一节点的本地时间, 由于 1588 协议以双向路径延时一致为前提, 因此同步后第二节点的本地时间与第一节点的本地时间可能存在误差。

本实施例中, 第二节点根据计算得到的时间同步误差 ΔT 修正通过 1588 协议同步后的自身本地时间, 将自身的本地时间精确同步到第一节点的本地时间。

修正后的第二节点本地时间为: $T2' = T2_{1588} + \Delta T$, 即第二节点将 1588 协议时间同步后的自身本地时间 $T2_{1588}$ 加上时间同步误差 ΔT , 得到与第一节点本地时间精确同步的本地时间 $T2'$ 。

实施例五, 一种时间同步方法, 结合 1588 协议实现节点间时间同步。其方法流程如图 6 所示, 第一节点为从节点, 第二节点为主节点。该方法具体包括以下步骤:

本实施例中步骤 S601、S602 与实施例四中步骤 S501、S502 的实施方法类似, 此处不再赘述。

步骤 S603, 第二节点获得双向路径延时之和, 计算第二节点与第一节点间的时间同步误差。

本实施例中, 第二节点通过 1588 协议得到精确的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和 D 。

第二节点根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、第一信号传输速率 v_1 和第二信号传输速率 v_2 、1588 协议获得的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和 D , 根据实施例四中的公式 (6) 得到第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT :

$$\Delta T = d_{1-2} - \frac{D}{2} = - \left(d_{2-1} - \frac{D}{2} \right) = - (T1' - T1_{1588})$$

$$= \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{(v_2 - v_1) \times V_{1-2}} - \frac{D}{2} ;$$

步骤S604, 第二节点向第一节点发送携带时间同步误差的第五时间报文。

本实施例中, 第二节点向第一节点发送第五时间报文, 第五时间报文携带第二节点计算的第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT 。第五时间报文的格式及其承载于何种工作波长上, 本实施例不做限制。

步骤S605, 第一节点接收第五时间报文, 根据时间同步误差, 将自身的本地时间同步到第二节点的本地时间。

第一节点通过1588协议同步第二节点与第一节点的本地时间, 由于1588协议以双向路径延时一致为前提, 因此同步后第一节点的本地时间与第二节点的本地时间可能存在误差。

本实施例中, 第一节点接收到第二节点发送的第五时间报文, 继而提取第五时间报文携带的时间同步误差 ΔT , 根据该时间同步误差修正通过1588协议同步后的自身本地时间, 将自身的本地时间精确同步到第二节点的本地时间。

修正后的第一节点本地时间为: $T1' = T1_{1588} - \Delta T$, 即第一节点将1588协议时间同步后的自身本地时间 $T1_{1588}$ 减去时间同步误差 ΔT , 得到与第二节点本地时间精确同步的本地时间 $T1'$ 。

实施例六, 一种时间同步方法, 结合1588协议实现节点间时间同步。其方法流程如图7所示, 第一节点为从节点, 第二节点为主节点。该方法具体包括以下步骤:

本实施例中步骤S701、S702与实施例四中步骤S501、S502的实施方法相类似, 此处不再赘述。

步骤S703, 第二节点向第一节点发送携带第一节点至第二节点方向的线路距离或者1588协议报文在第一节点至第二节点方向的路径延时的第六时间报文。本实施例中, 第二节点向第一节点发送第六时间报文, 该第六时间报

文携带第二节点计算的第一节点至第二节点方向的线路距离 L_{1-2} ；或者该第六时间报文携带第二节点计算的1588协议报文在第一节点至第二节点方向的路径延时 d_{1-2} 。第六时间报文的格式及其承载于何种工作波长上，本实施例不做限制。

第二节点可以根据第一时间报文接收时间 t_{12} 和第二时间报文接收时间 t_{22} 、第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一信号传输速率 v_1 和第二信号传输速率 v_2 ，根据实施例四中的公式(4)计算第一节点至第二节点方向的线路距离 L_{1-2} ：

$$L_{1-2} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{v_2 - v_1} \quad (4)$$

或者，第二节点可以根据第一时间报文接收时间 t_{12} 和第二时间报文接收时间 t_{22} 、第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一信号传输速率 v_1 和第二信号传输速率 v_2 、1588协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用的信号传输速率 V_{1-2} ，根据实施例四中的公式(5)计算第一节点至第二节点方向的路径延时 d_{1-2} ：

$$d_{1-2} = \frac{L_{1-2}}{V_{1-2}} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{(v_2 - v_1) \times V_{1-2}} \quad (5)$$

步骤 S704，第一节点获得双向路径延时之和，计算第二节点与第一节点间的时间同步误差。

本实施例中，第二节点通过1588协议得到精确的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和 D 。

第一节点接收到第二节点发送的第六时间报文，继而：

或者提取第六时间报文携带的第一节点至第二节点方向的线路距离 L_{1-2} ，结合1588协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用的信号传输速率 V_{1-2} 、1588协议获得的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和 D ，根据实施例四中的公式(6)计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT ：

$$\Delta T = d_{1-2} - \frac{D}{2} = - \left(d_{2-1} - \frac{D}{2} \right) = - (T1' - T1_{1588}) = \frac{L_{1-2}}{V_{1-2}} - \frac{D}{2} ;$$

或者提取第六时间报文携带的1588协议报文在第一节点至第二节点方向的路径延时 d_{1-2} ，结合1588协议获得的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和 D ，根据实施例四中的公式（6）计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT ：

$$\Delta T = d_{1-2} - \frac{D}{2} = - \left(d_{2-1} - \frac{D}{2} \right) = - (T1' - T1_{1588}) ;$$

步骤S705，第一节点根据时间同步误差，将自身的本地时间同步到第二节点的本地时间。

本实施例中，第一节点根据时间同步误差修正通过1588协议同步后的自身本地时间，将自身的本地时间精确同步到第二节点的本地时间。

修正后的第一节点本地时间为： $T1' = T1_{1588} - \Delta T$ ，即第一节点将1588协议时间同步后的自身本地时间 $T1_{1588}$ 减去时间同步误差 ΔT ，得到与第二节点本地时间精确同步的本地时间 $T1'$ 。

实施例七，一种时间同步方法，结合1588协议实现节点间时间同步。其方法流程如图8所示，第一节点为从节点，第二节点为主节点。该方法具体包括以下步骤：

步骤 S801，第一节点以 λ_1 为信号波长向第二节点发送第一时间报文。

本实施例中，第一节点在本地时间为 t_{11} 时，以 λ_1 为信号波长向第二节点发送第一时间报文，第二节点在本地时间 t_{12} 时接收到第一时间报文。

某一工作波长所对应的信号传输速率是确定的，工作波长为 λ_1 的信号在线路上的传输速率为 v_1 。

步骤S802，第一节点以 λ_2 为信号波长向第二节点发送第二时间报文。

本实施例中，第一节点在本地时间为 t_{21} 时，以 λ_2 为信号波长向第二节点发送第二时间报文，第二节点在本地时间为 t_{22} 时接收到第二时间报文。

某一工作波长所对应的信号传输速率是确定的，工作波长为 λ_2 的信号在线路上的传输速率为 v_2 。

步骤S803, 第二节点向第一节点发送携带第一报文接收时间和第二报文接收时间的第七时间报文。

本实施例中, 第二节点向第一节点发送第七时间报文, 该第七时间报文携带第一时间报文在第二节点的接收时间 t_{12} 和第二时间报文在第二节点的接收时间 t_{22} 。第七时间报文的格式及其承载于何种工作波长上, 本实施例不做限制。

步骤 S804, 第一节点获得双向路径延时之和, 计算第二节点与第一节点间的时间同步误差。

本实施例中, 第二节点通过1588协议得到精确的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和D。

第一节点接收到第二节点发送第七时间报文, 继而提取第七时间报文携带的第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} , 结合第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一信号传输速率 v_1 和第二信号传输速率 v_2 、1588协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所使用波长的信号传输速率 V_{1-2} 、1588协议获得的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和D, 根据实施例四中的公式(6)计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT :

$$\begin{aligned}\Delta T &= d_{1-2} - \frac{D}{2} = - \left(d_{2-1} - \frac{D}{2} \right) = - (T1' - T1_{1588}) \\ &= \frac{L_{1-2}}{V_{1-2}} - \frac{D}{2} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{(v_2 - v_1) \times V_{1-2}} - \frac{D}{2} ;\end{aligned}$$

步骤S805, 第一节点根据时间同步误差, 将自身的本地时间同步到第二节点的本地时间。

本实施例中步骤S805与实施例六中步骤S705的实施方法相类似, 此处不再赘述。

上述实施例四、五、六、七中提及的1588协议, 其具体实现过程遵循现

有1588协议，实施例中不再赘述。

上述实施例四、五、六、七提供的技术方案，结合1588协议，通过在单向路径的至少两个波长上发送时间报文的方式，完成1588时间同步误差的自动实时测量，修正1588时间同步后的本地时间，实现节点间的精确时间同步，解决现有技术中由于双向路径延时不一致带来的时间同步误差问题，避免时间同步网络部署过程中需要人工测量并设置时间同步误差。技术方案实现简单，测量准确性高，具备较好的可实施性。

除上述实施例四、五、六、七外，还可能有其它实施例，例如：第一节点为主节点，第二节点为从节点，第一节点分别以 λ_1 和 λ_2 为信号波长向第二节点发送第一时间报文和第二时间报文，第一节点将其获得第一节点与第二节点间的双向路径延时之和D通过时间报文发送给第二节点，第二节点计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT ，继而第二节点根据时间同步误差修正通过1588协议同步后的自身本地时间，得到与第一节点本地时间精确同步的本地时间；第一节点为从节点，第二节点为主节点，第一节点分别以 λ_1 和 λ_2 为信号波长向第二节点发送第一时间报文和第二时间报文，第二节点将其获得第一节点与第二节点间的双向路径延时之和D通过时间报文发送给第一节点，第一节点计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT ，继而第一节点根据时间同步误差修正通过1588协议同步后的自身本地时间，得到与第二节点本地时间精确同步的本地时间。

上述例举的两个实施例，以及本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下均可获得的其它未例举的实施例，也都属于本发明保护的范围，此处不再一一赘述。

实施例八，一种时间同步方法，结合1588协议实现节点间时间同步。其方法流程如图10所示，并结合图9所示，第一节点为主节点，第二节点为从节点。该方法具体包括以下步骤：

步骤S1001, 第一节点以 λ_1 为工作波长向第二节点发送第一时间报文, 以 λ_2 为工作波长向第二节点发送第二时间报文; 第二节点以 λ_3 为工作波长向第一节点发送第三时间报文, 以 λ_4 为工作波长向第一节点发送第四时间报文。

本实施例中, 第一节点在本地时间为 t_{11} 时, 以 λ_1 为工作波长向第二节点发送第一时间报文, 该第一时间报文携带报文的发送时间 t_{11} , 第二节点在本地时间为 t_{12} 时接收到第一时间报文, 继而在第一时间报文中提取第一时间报文的发送时间 t_{11} ;

第一节点在本地时间为 t_{21} 时, 以 λ_2 为工作波长向第二节点发送第二时间报文, 该第二时间报文携带报文的发送时间 t_{21} , 第二节点在本地时间为 t_{22} 时接收到第二时间报文, 继而在第二时间报文中提取第二时间报文的发送时间 t_{21} ;

第二节点在本地时间为 t_{31} 时, 以 λ_3 为工作波长向第一节点发送第三时间报文, 该第三时间报文携带报文的发送时间 t_{31} , 第一节点在本地时间为 t_{32} 时接收到第三时间报文, 继而在第三时间报文中提取第三时间报文的发送时间 t_{31} ;

第二节点在本地时间为 t_{41} 时, 以 λ_4 为工作波长向第一节点发送第四时间报文, 该第四时间报文携带报文的发送时间 t_{41} , 第一节点在本地时间为 t_{42} 时接收到第四时间报文, 继而在第四时间报文中提取第四时间报文的发送时间 t_{41} 。

某一工作波长所对应的信号传输速率是确定的, 工作波长为 λ_1 的信号在线路上的传输速率为 v_1 ; 工作波长为 λ_2 的信号在线路上的传输速率为 v_2 ; 工作波长为 λ_3 的信号在线路上的传输速率为 v_3 ; 工作波长为 λ_4 的信号在线路上的传输速率为 v_4 , 则可以得到下述公式:

$$t_{32} - t_{31} = \frac{L_{2-1}}{v_3} - \text{Offset} \quad (7)$$

$$t_{42} - t_{41} = \frac{L_{2-1}}{v_4} - \text{Offset} \quad (8)$$

步骤S1002, 第一节点向第二节点发送携带第二节点至第一节点方向的路径距离或者1588协议报文在第二节点至第一节点方向的路径延时的第八时间报文。

本实施例中，第一节点向第二节点发送第八时间报文，该第八时间报文携带第一节点计算的第二节点至第一节点方向的线路距离 L_{2-1} ，或者携带第一节点计算的1588协议报文在第一节点至第二节点方向的路径延时 d_{2-1} 。第八时间报文的格式及其承载于何种工作波长上，本实施例不做限制。

第二节点至第一节点方向的线路距离 L_{2-1} 可以由第一节点根据第三时间报文的发送时间 t_{31} 和第四时间报文的发送时间 t_{41} 、第三时间报文的接收时间 t_{32} 和第四时间报文的接收时间 t_{42} 、第三信号传输速率 v_3 和第四信号传输速率 v_4 ，并根据公式（7）、（8）计算：

$$L_{2-1} = \frac{((t_{32} - t_{31}) - (t_{42} - t_{41})) \times v_3 \times v_4}{v_4 - v_3} \quad (9)$$

1588协议报文在第一节点至第二节点方向的路径延时 d_{2-1} 可以由第一节点根据第三时间报文的发送时间 t_{31} 和第四时间报文的发送时间 t_{41} 、第三时间报文的接收时间 t_{32} 和第四时间报文的接收时间 t_{42} 、第三信号传输速率 v_3 和第四信号传输速率 v_4 、1588协议报文在第二节点至第一节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{2-1} ，并根据公式（9）计算：

$$d_{2-1} = \frac{L_{2-1}}{V_{2-1}} = \frac{((t_{32} - t_{31}) - (t_{42} - t_{41})) \times v_3 \times v_4}{(v_4 - v_3) \times V_{2-1}} \quad (10)$$

步骤S1003，第二节点接收第八时间报文，计算第二节点与第一节点间的时间同步误差。

本实施例中，第二节点接收到第一节点发送的第八时间报文，继而：

或者提取第八时间报文携带的第二节点至第一节点方向的线路距离 L_{2-1} ，结合第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一信号传输速率 v_1 和第二信号传输速率 v_2 、1588协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{1-2} 、1588协议报文在第二节点至第一节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{2-1} ，以及实施例四中的公式（4）计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT ：

$$\begin{aligned}
\Delta T &= T2' - T2_{1588} = d_{1-2} - \frac{D}{2} = \frac{d_{1-2} - d_{2-1}}{2} \\
&= \frac{L_{1-2}}{2 \times V_{1-2}} - \frac{L_{2-1}}{2 \times V_{2-1}} \\
&= \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{2 \times (v_2 - v_1) \times V_{1-2}} - \frac{L_{2-1}}{2 \times V_{2-1}} \quad (11)
\end{aligned}$$

或者提取第八时间报文携带的1588协议报文在第二节点至第一节点方向的路径延时 d_{2-1} ，结合第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第一时间报文的接收时间 t_{22} 、第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第一时间报文的发送时间 t_{21} 、第一信号传输速率 v_1 和第二信号传输速率 v_2 、1588协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{1-2} ，以及实施例四中的公式(4)计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT ：

$$\begin{aligned}
\Delta T &= T2' - T2_{1588} = d_{1-2} - \frac{D}{2} = \frac{d_{1-2} - d_{2-1}}{2} \\
&= \frac{L_{1-2}}{2 \times V_{1-2}} - \frac{d_{2-1}}{2} \\
&= \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{2 \times (v_2 - v_1) \times V_{1-2}} - \frac{d_{2-1}}{2} \quad (12)
\end{aligned}$$

步骤 S1004，第二节点根据时间同步误差，将自身的本地时间同步到第一节点的本地时间。

本实施例中，第二节点根据时间同步误差修正通过1588协议同步后的自身本地时间，将自身的本地时间精确同步到第一节点的本地时间。

修正后的第二节点本地时间为： $T2' = T2_{1588} + \Delta T$ ，即第二节点将1588协议时间同步后的自身本地时间 $T2_{1588}$ 加上时间同步误差 ΔT ，得到与第一节点本地时间精确同步的本地时间 $T2'$ 。

实施例九，一种时间同步方法，结合1588协议实现节点间时间同步。其方法流程如图11所示，并结合图9所示，第一节点为主节点，第二节点为从节点。该方法具体包括以下步骤：

步骤 S1101，第一节点以 λ_1 为工作波长向第二节点发送第一时间报文，

以 λ_2 为工作波长向第二节点发送第二时间报文；第二节点以 λ_3 为工作波长向第一节点发送第三时间报文，以 λ_4 为工作波长向第一节点发送第四时间报文。

本实施例中，第一节点在本地时间为 t_{11} 时，以 λ_1 为工作波长向第二节点发送第一时间报文，该第一时间报文携带报文的发送时间 t_{11} ，第二节点在本地时间为 t_{12} 时接收到第一时间报文，继而在第一时间报文中提取第一时间报文的发送时间 t_{11} ；

第一节点在本地时间为 t_{21} 时，以 λ_2 为工作波长向第二节点发送第二时间报文，该第二时间报文携带报文的发送时间 t_{21} ，第二节点在本地时间为 t_{22} 时接收到第二时间报文，继而在第二时间报文中提取第二时间报文的发送时间 t_{21} ；

第二节点在本地时间为 t_{31} 时，以 λ_3 为工作波长向第一节点发送第三时间报文，第一节点在本地时间为 t_{32} 时接收到第三时间报文；

第二节点在本地时间为 t_{41} 时，以 λ_4 为工作波长向第一节点发送第四时间报文，第一节点在本地时间为 t_{42} 时接收到第四时间报文。

某一工作波长所对应的信号传输速率是确定的，工作波长为 λ_1 的信号在线路上的传输速率为 v_1 ；工作波长为 λ_2 的信号在线路上的传输速率为 v_2 ；工作波长为 λ_3 的信号在线路上的传输速率为 v_3 ；工作波长为 λ_4 的信号在线路上的传输速率为 v_4 。

步骤S1102，第一节点向第二节点发送携带第三时间报文的接收时间和第四时间报文的接收时间的第九时间报文。

本实施例中，第一节点向第二节点发送第九时间报文，该第九时间报文携带第三时间报文在第一节点的接收时间 t_{32} 和第四时间报文在第一节点的接收时间 t_{42} 。

步骤S1103，第二节点接收第九时间报文，计算第二节点与第一节点间的时间同步误差。

本实施例中，第二节点接收到第一节点发送的第九时间报文，提取第九时间报文携带的第三时间报文的接收时间 t_{32} 和第四时间报文的接收时间 t_{42} ，结

合第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第一时间报文的接收时间 t_{22} 、第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第一时间报文的发送时间 t_{21} 、第三时间报文的发送时间 t_{31} 和第四时间报文的发送时间 t_{41} 、第一信号传输速率 v_1 和第二信号传输速率 v_2 、第三信号传输速率 v_3 和第四信号传输速率 v_4 、1588协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{1-2} 、1588协议报文在第二节点至第一节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{2-1} ，根据实施例四中的公式(4)和实施例八中的公式(9)计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT ：

$$\begin{aligned}\Delta T &= T2' - T2_{1588} = d_{1-2} - \frac{D}{2} = \frac{d_{1-2} - d_{2-1}}{2} \\ &= \frac{L_{1-2}}{2 \times V_{1-2}} - \frac{L_{2-1}}{2 \times V_{2-1}} \\ &= \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{2 \times (v_2 - v_1) \times V_{1-2}} - \frac{((t_{32} - t_{31}) - (t_{42} - t_{41})) \times v_3 \times v_4}{2 \times (v_4 - v_3) \times V_{2-1}} \quad (13)\end{aligned}$$

步骤 S1104，第二节点根据时间同步误差，将自身的本地时间同步到第一节点的本地时间。

本实施例中步骤S1104与实施例八中步骤S1004的实施方法相类似，此处不再赘述。

上述实施例八、九中提及的1588协议，其具体实现过程遵循现有1588协议，实施例中不再赘述。

上述实施例八、九提供的技术方案，结合1588协议，通过在双向路径每个方向的至少两个波长上发送时间报文的方式，完成1588时间同步误差的自动实时测量，修正1588时间同步后的本地时间，实现节点间的精确时间同步，解决现有技术中由于双向路径延时不一致带来的时间同步误差问题，避免时间同步网络部署过程中需要人工测量并设置时间同步误差。本发明的技术方案实现简单，测量准确性高，具备较好的可实施性。

除上述实施例八、九外，还可能有其它实施例，例如：第一节点为主节点，第二节点为从节点，第一节点以 λ_1 和 λ_2 为工作波长分别向第二节点发送第

一时间报文和第二时间报文，第二节点以 λ_3 和 λ_4 为工作波长分别向第二节点发送第三时间报文和第四时间报文。可选地，第一节点将其计算的第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT 通过时间报文发送给第二节点，第二节点根据时间同步误差修正通过1588协议同步后的自身本地时间，得到与第一节点本地时间精确同步的本地时间；还可选地，第二节点将其计算第二节点至第一节点方向的线路距离 L_{2-1} 或者1588协议报文在第二节点至第一节点方向的路径延时 d_{2-1} 通过时间报文发送给第一节点，第一节点计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT ，通过时间报文将时间同步误差 ΔT 发送给第二节点，第二节点根据时间同步误差修正通过1588协议同步后的自身本地时间，得到与第一节点本地时间精确同步的本地时间。

上述例举的两个实施例，以及本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下均可获得的其它未例举的实施例，都属于本发明保护的范围，此处不再一一赘述。

上述实施例一至九中，可采用波长可调谐光模块实现工作波长的动态调节，实现在线路上以不同波长发送报文。

某波长信号在单位长度光纤引入的延时系数 K ，为相应波长信号在光纤中的传输速率 v 的倒数，即 $K = \frac{1}{v}$ 。因此上述实施例一至九中出现的传输速率 v （包括：波长为 λ_1 的信号在线路上的传输速率 v_1 ，波长为 λ_2 的信号在线路上的传输速率 v_2 ，波长为 λ_3 的信号在线路上的传输速率 v_3 ，波长为 λ_4 的信号在线路上的传输速率 v_4 ；1588 协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{1-2} ，1588 协议报文在第二节点至第一节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{2-1} ），可以由相应的单位长度光纤引入的延时系数 K 的倒数代替，用以计算绝对时间偏差或时间同步误差，以完成节点间的精确时间同步。

为了更精确的获取主从节点之间的绝对时间偏差或时间同步误差，减少

测量误差，在上述实施例一至九中可以设定线路工作在多个波长模式下进行测量，从而得到多个测量结果： Offset_1 、 Offset_2 、 $\text{Offset}_3 \dots \text{Offset}_n$ 或 ΔT_1 、 ΔT_2 、 $\Delta T_3 \dots \Delta T_n$ ，并对 n ($n > 1$) 个结果取平均值，根据其平均值同步节点间的本地时间。

实施例十，一种节点设备，如图12所示，包括：

线路处理模块 1201，用于接收第一节点以第一工作波长 λ_1 发送的第一时间报文和第一节点以第二工作波长 λ_2 发送的第二时间报文；

报文处理模块 1202，用于记录第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} ；

还用于解析第一时间报文和第二时间报文，提取第一时间报文携带的第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文携带的第二时间报文的发送时间 t_{21} ；

时间计算模块 1203，用于根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、以及第一工作波长对应的第一信号传输速率 v_1 和第二工作波长对应的第二信号传输速率 v_2 ，采用下述公式 (3)，计算自身与第一节点间的绝对时间偏差 Offset：

$$\text{Offset} = \frac{(t_{12} - t_{11}) \times v_1 - (t_{22} - t_{21}) \times v_2}{v_1 - v_2} \quad (3)$$

本地时间模块 1204，用于向报文处理模块 1202 提供第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} ；还用于将自身的本地时间减去时间计算模块 1203 计算的绝对时间偏差，得到与第一节点本地时间同步的本地时间。

实施例十一，一种节点设备，如图13所示，包括：

线路处理模块 1301，用于以第一工作波长 λ_1 向第二节点发送第一时间报文；以第二工作波长 λ_2 向第二节点发送第二时间报文；

还用于接收第二节点发送的第三时间报文；

报文处理模块 1302, 用于封装第一时间报文和第二时间报文, 第一时间报文携带第一时间报文的发送时间 t_{11} , 第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间 t_{21} ;

还用于解析第三时间报文, 提取第三时间报文携带的自身与第二节点间的绝对时间偏差 Offset;

绝对时间偏差 Offset 由第二节点根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、以及第一工作波长对应的第一信号传输速率 v_1 和第二工作波长对应的第二信号传输速率 v_2 , 采用下述公式 (3) 计算获得:

$$\text{Offset} = \frac{(t_{12} - t_{11}) \times v_1 - (t_{22} - t_{21}) \times v_2}{v_1 - v_2} \quad (3)$$

本地时间模块 1303, 用于向报文处理模块 1302 提供第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} ; 还用于将自身的本地时间加上报文处理模块 1302 提取的绝对时间偏差 Offset, 得到与所述第二节点本地时间同步的本地时间。

实施例十二, 一种节点设备, 如图12所示, 包括:

线路处理模块 1201, 用于以第一工作波长 λ_1 向第二节点发送第一时间报文, 以第二工作波长 λ_2 向第二节点发送第二时间报文;

还用于接收第二节点发送的第四时间报文;

报文处理模块 1202, 用于封装第一时间报文和第二时间报文, 记录第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} ;

还用于解析第四时间报文, 提取第四时间报文携带的第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} ;

时间计算模块 1203, 用于根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、以及第一工作波长对应的第一信号传输速率 v_1 和第二工作波长对应的第二信

号传输速率 v_2 ，采用下述公式 (3)，计算自身与第二节点间的绝对时间偏差 Offset:

$$\text{Offset} = \frac{(t_{12} - t_{11}) \times v_1 - (t_{22} - t_{21}) \times v_2}{v_1 - v_2} \quad (3)$$

本地时间模块 1204，用于向报文处理模块 1202 提供所述第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} ；

还用于将自身的本地时间加上时间计算模块 1203 计算的绝对时间偏差 Offset，得到与第二节点本地时间同步的本地时间。

实施例十三，一种节点设备，如图14所示，包括：

线路处理模块 1401，用于接收第一节点以第一工作波长 λ_1 发送的第一时间报文和第一节点以第二工作波长 λ_2 发送的第二时间报文；

报文处理模块 1402，用于记录第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} ；

还用于解析第一时间报文和第二时间报文，提取第一时间报文携带的第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文携带的第二时间报文的发送时间 t_{21} ；

1588 协议模块 1405，用于执行 1588 协议，获得第一节点与第二节点间的双向路径延时之和 D；还用于通过 1588 协议将自身的本地时间同步到第一节点的本地时间；

时间计算模块 1403，用于根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、以及第一工作波长对应的第一信号传输速率 v_1 和第二工作波长对应的第二信号传输速率 v_2 、1588 协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用的信号传输速率 V_{1-2} 、以及 1588 协议模块 1405 获得的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和 D，根据实施例四中的公式 (6) 计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT ：

$$\Delta T = d_{1-2} - \frac{D}{2} = \frac{L_{1-2}}{V_{1-2}} - \frac{D}{2} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{(v_2 - v_1) \times V_{1-2}} - \frac{D}{2} ;$$

本地时间模块 1404, 用于向报文处理模块 1402 提供第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} ;

还用于向 1588 协议模块 1405 提供本地时间;

还用于将 1588 协议时间同步后的自身本地时间加上时间计算模块 1403 计算的时间同步误差 ΔT , 修正通过 1588 协议同步后的本地时间。

实施例十四, 一种节点设备, 如图15所示, 包括:

线路处理模块 1501, 用于以第一工作波长 λ_1 向第二节点发送第一时间报文, 以第二工作波长 λ_2 向第二节点发送第二时间报文;

还用于接收第二节点发送的第六时间报文;

报文处理模块 1502, 用于封装第一时间报文和第二时间报文, 第一时间报文携带第一时间报文的发送时间 t_{11} , 第二时间报文携带第二时间报文的发送时间 t_{21} ;

还用于解析第六时间报文, 提取第六时间报文携带的第二节点计算的第一节点至第二节点方向的线路距离 L_{1-2} 或者 1588 协议报文在第一节点至第二节点方向的路径延时 d_{1-2} ;

第一节点至第二节点方向的线路距离 L_{1-2} 由第二节点根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、以及第一工作波长对应的第一信号传输速率 v_1 和第二工作波长对应的第二信号传输速率 v_2 , 采用下述公式(4)计算获得:

$$L_{1-2} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{v_2 - v_1} \quad (4)$$

1588协议报文在第一节点至第二节点方向的路径延时 d_{1-2} 由第二节点根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、第一工作波长对应的第一信号传输速

率 v_1 和第二工作波长对应的第二信号传输速率 v_2 、以及1588协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用的信号传输速率 V_{1-2} ，采用下述公式（5）计算获得：

$$d_{1-2} = \frac{L_{1-2}}{V_{1-2}} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{(v_2 - v_1) \times V_{1-2}} \quad (5)$$

1588协议模块1505，用于执行1588协议，获得第一节点与第二节点间的双向路径延时之和D；

还用于通过1588协议将自身的本地时间同步到所述第二节点的本地时间；
时间计算模块1503，

或者用于根据第一节点至第二节点方向的线路距离 L_{1-2} 、1588协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{1-2} 、以及1588协议模块获得的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和D，根据实施例四中的公式（6）计算第二节点与第一节点间的时间同步误差 ΔT ：

$$\Delta T = d_{1-2} - \frac{D}{2} = \frac{L_{1-2}}{V_{1-2}} - \frac{D}{2} ;$$

或者用于根据1588协议报文在第一节点至第二节点方向的路径延时 d_{1-2} 、以及1588协议模块1505获得的第一节点与第二节点间的双向路径延时之和D，根据实施例四中的公式（6）计算第二节点与所述第一节点间的时间同步误差 ΔT ：

$$\Delta T = d_{1-2} - \frac{D}{2} ;$$

本地时间模块1504，用于向报文处理模块1502提供第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} ；

还用于向1588协议模块1505提供本地时间；

还用于将1588协议时间同步后的自身本地时间减去时间计算模块计算的时间同步误差 ΔT ，修正通过1588协议同步后的本地时间。

实施例十五，一种节点设备，如图16所示，包括：

线路处理模块 1601: 用于接收第一节点以第一工作波长 λ_1 发送的第一时间报文和第一节点以第二工作波长 λ_2 发送的第二时间报文;

还用于以第三工作波长 λ_3 向第一节点发送第三时间报文, 以第四工作波长 λ_4 向第一节点发送第四时间报文;

还用于接收第一节点发送的第八时间报文;

报文处理模块 1602: 用于记录第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} ; 还用于解析第一时间报文和第二时间报文, 提取第一时间报文携带的第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文携带的第二时间报文的发送时间 t_{21} ;

还用于封装第三时间报文和第四时间报文, 第三时间报文携带第三时间报文的发送时间 t_{31} , 第四时间报文携带第四时间报文的发送时间 t_{41} ;

还用于解析第八时间报文, 提取第八时间报文携带的第一节点计算的 1588 协议报文在第二节点至第一节点方向的路径延时 d_{2-1} 。

1588 协议报文在第二节点至第一节点方向的路径延时 d_{2-1} 由第一节点根据第三时间报文的发送时间 t_{31} 和第四时间报文的发送时间 t_{41} 、第三时间报文的接收时间 t_{32} 和第四时间报文的接收时间 t_{42} 、第三工作波长对应的第三信号传输速率 v_3 和第四工作波长对应的第四信号传输速率 v_4 、以及 1588 协议报文在第二节点至第一节点方向上传送时所采用的信号传输速率 V_{2-1} , 采用实施例八中的公式 (10) 计算获得:

$$d_{2-1} = \frac{L_{2-1}}{V_{2-1}} = \frac{((t_{32} - t_{31}) - (t_{42} - t_{41})) \times v_3 \times v_4}{(v_4 - v_3) \times V_{2-1}} \quad (10)$$

1588 协议模块 1605: 用于执行 1588 协议, 通过 1588 协议将自身的本地时间同步到第一节点的本地时间。

时间计算模块 1603: 用于根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、第一工作波长对应的第一信号传输速率 v_1 和第二工作波长对应的第二信号传

输速率 v_2 、第一节点计算的 1588 协议报文在第二节点至第一节点方向上的路径延时 d_{2-1} 、1588 协议报文在第一节点至第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{1-2} ，根据实施例八中的公式 (12) 计算自身与第一节点间的时间同步误差 ΔT ：

$$\begin{aligned}\Delta T &= T2' - T2_{1588} = d_{1-2} - \frac{D}{2} = \frac{d_{1-2} - d_{2-1}}{2} \\ &= \frac{L_{1-2}}{2 \times V_{1-2}} - \frac{d_{2-1}}{2} \\ &= \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{2 \times (v_2 - v_1) \times V_{1-2}} - \frac{d_{2-1}}{2} \quad (12)\end{aligned}$$

本地时间模块 1604：用于向报文处理模块 1602 提供第一时间报文的接收时间 t_{12} 、第二时间报文的接收时间 t_{22} 、第三时间报文的发送时间 t_{31} 和第四时间报文的发送时间 t_{41} ；

还用于提供所述 1588 协议模块 1605 提供本地时间；

还用于将 1588 协议时间同步后的自身本地时间加上时间计算模块 1603 计算的时间同步误差 ΔT ，修正通过 1588 协议同步后的本地时间。

下面结合图 17，对本发明用于时间同步系统进行说明，为简化描述，下述实施例中将第一节点设备 1701 简称为第一节点 1701，将第二节点设备 1702 简称为第二节点 1702。

实施例十六，一种时间同步系统，至少包括两个节点设备，其中：

第一节点 1701，包括：

线路处理模块，用于以第一工作波长 λ_1 向第二节点 1702 发送第一时间报文和以第二工作波长 λ_2 向第二节点 1702 发送第二时间报文；

报文处理模块，用于封装第一时间报文和第二时间报文，第一时间报文携带第一时间报文的发送时间 t_{11} ，第二时间报文携带第二时间报文的发送时间 t_{21} ；

本地时间模块，用于向报文处理模块提供第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第一时间报文的发送时间 t_{21} 。

第二节点 1702，包括：线路处理模块、报文处理模块、时间计算模块、本地时间模块，具体内容参见实施例十的线路处理模块 1201、报文处理模块 1202、时间计算模块 1203、本地时间模块 1204，此处不再赘述。

实施例十七，一种时间同步系统，至少包括两个节点设备，其中：

第一节点1701，包括：线路处理模块、报文处理模块、本地时间模块，具体内容参见实施例十一的线路处理模块1301、报文处理模块1302、本地时间模块1303，此处不再赘述。

第二节点1702，包括：

线路处理模块，用于接收第一节点1701以第一工作波长 λ_1 发送的第一时间报文和第一节点1701以第二工作波长 λ_2 发送的第二时间报文；还用于向第一节点1701发送第三时间报文；

报文处理模块，用于记录第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第一时间报文的接收时间 t_{22} ；还用于解析第一时间报文和第一时间报文，提取第一时间报文携带的第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第一时间报文携带的第二时间报文的发送时间 t_{21} ；还用于封装第三时间报文，第三时间报文携带绝对时间偏差Offset；

时间计算模块，用于根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第一时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第一时间报文的接收时间 t_{22} 、以及第一工作波长对应的第一信号传输速率 v_1 和第二工作波长对应的第二信号传输速率 v_2 ，采用下述公式（3）计算第二节点1702与第一节点1701间的绝对时间偏差Offset：

$$\text{Offset} = \frac{(t_{12} - t_{11}) \times v_1 - (t_{22} - t_{21}) \times v_2}{v_1 - v_2} \quad (3)$$

本地时间模块，用于向报文处理模块提供第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第一时间报文的接收时间 t_{22} 。

实施例十八，一种时间同步系统，至少包括两个节点设备，其中：

第一节点1701，包括：线路处理模块、报文处理模块、时间计算模块、本地时间模块，具体内容参见实施例十二的线路处理模块1201、报文处理模块1202、时间计算模块1203、本地时间模块1204，此处不再赘述。

第二节点1702，包括：

线路处理模块，用于接收第一节点1701以第一工作波长 λ_1 发送的第一时间报文和第一节点1701以第二工作波长 λ_2 发送的第二时间报文；还用于向第一节点1701发送第四时间报文；

报文处理模块，用于封装第四时间报文，第四时间报文携带第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} ；

本地时间模块，用于向报文处理模块提供第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 。

实施例十九，一种时间同步系统，至少包括两个节点设备，其中：

第一节点1701，包括：

线路处理模块，用于以第一工作波长 λ_1 向第二节点1702发送第一时间报文，以第二工作波长 λ_2 向第二节点1702发送第二时间报文；

报文处理模块，用于封装第一时间报文和第二时间报文，第一时间报文携带第一时间报文的发送时间 t_{11} ，第二时间报文携带第二时间报文的发送时间 t_{21} ；

1588协议模块，用于执行1588协议，通过1588协议将第二节点1702的本地时间同步到第一节点1701的本地时间；

本地时间模块，用于向报文处理模块提供第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} ；还用于向1588协议模块提供本地时间。

第二节点1702，包括：线路处理模块、报文处理模块、1588协议模块、

时间计算模块、本地时间模块,具体内容参见实施例十三的线路处理模块 1401、报文处理模块 1402、1588 协议模块 1405、时间计算模块 1403、本地时间模块 1404,此处不再赘述。

实施例二十,一种时间同步系统,至少包括两个节点设备,其中:

第一节点1701,包括:线路处理模块、报文处理模块、1588协议模块、时间计算模块、本地时间模块,具体内容参见实施例十四的线路处理模块1501、报文处理模块1502、1588协议模块1505、时间计算模块1503、本地时间模块 1504,此处不再赘述。

第二节点1702,包括:

线路处理模块,用于接收第一节点1701以第一工作波长 λ_1 发送的第一时间报文和第一节点1701以第二工作波长 λ_2 发送的第二时间报文;

还用于向第一节点1701发送第六时间报文;

报文处理模块,用于记录所述第一时间报文的接收时间 t_{12} 和所述第二时间报文的接收时间 t_{22} ;还用于解析第一时间报文和第二时间报文,提取第一时间报文携带的第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文携带的第二时间报文的发送时间 t_{21} ;

还用于封装第六时间报文,第六时间报文携带第一节点至第二节点方向的线路距离 L_{1-2} 或者1588协议报文在第一节点1701至第二节点1702方向的路径延时 d_{1-2} ;

时间计算模块,或者用于根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第二时间报文的接收时间 t_{22} 、以及第一工作波长对应的第一信号传输速率 v_1 和第二工作波长对应的第二信号传输速率 v_2 ,采用下述公式(4)计算第一节点至第二节点方向的线路距离 L_{1-2} :

$$L_{1-2} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{v_2 - v_1} \quad (4)$$

或者用于根据第一时间报文的发送时间 t_{11} 和第一时间报文的接收时间 t_{12} 、第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第一时间报文的接收时间 t_{22} 、第一工作波长对应的第一信号传输速率 v_1 和第二工作波长对应的第二信号传输速率 v_2 、以及 1588 协议报文在第一节点 1701 至第二节点 1702 方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{1-2} ，采用下述公式 (5) 计算 1588 协议报文在第一节点 1701 至第二节点 1702 方向的路径延时 d_{1-2} ：

$$d_{1-2} = \frac{L_{1-2}}{V_{1-2}} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{(v_2 - v_1) \times V_{1-2}} \quad (5)$$

1588 协议模块，用于执行 1588 协议，通过 1588 协议将第一节点 1701 的本地时间同步到第二节点 1702 的本地时间；

本地时间模块，用于向报文处理模块提供第一时间报文的接收时间 t_{12} 和第一时间报文的接收时间 t_{22} ；还用于向 1588 协议模块提供本地时间。

实施例二十一，一种时间同步系统，至少包括两个节点设备，其中：

第一节点1701，包括：

线路处理模块，用于以第一工作波长 λ_1 向第二节点1702发送第一时间报文，以第二工作波长 λ_2 向第二节点1702发送第二时间报文；

还用于接收第二节点1702以第三工作波长 λ_3 发送的第三时间报文和第二节点1702以第四工作波长 λ_4 发送的第四时间报文；

还用于向第二节点1702发送第八时间报文；

报文处理模块，用于封装第一时间报文和第一时间报文，第一时间报文携带第一时间报文的发送时间 t_{11} ，第一时间报文携带第一时间报文的发送时间 t_{21} ；

还用于记录所述第三时间报文的接收时间 t_{32} 和所述第四时间报文的接收时间 t_{42} ；还用于解析第三时间报文和第四时间报文，提取第三时间报文携带的第三时间报文的发送时间 t_{31} 和第四时间报文携带的第四时间报文的发送时间 t_{41} ；

还用于封装第八时间报文，第八时间报文携带1588协议报文在第二节点1702至第一节点1701方向上的路径延时 d_{2-1} ；

时间计算模块，用于根据第三时间报文的发送时间 t_{31} 和第四时间报文的发送时间 t_{41} 、第三时间报文的接收时间 t_{32} 和第四时间报文的接收时间 t_{42} 、第三工作波长对应的第三传送速率 v_3 和第四工作波长对应的第四传输速率 v_4 、以及1588协议报文在第二节点1702至第一节点1701方向上传送时所采用波长的信号传输速率 V_{2-1} ，采用下述公式（10）计算1588协议报文在第二节点1702至第一节点1701方向上的路径延时 d_{2-1} ：

$$d_{2-1} = \frac{L_{2-1}}{V_{2-1}} = \frac{((t_{32} - t_{31}) - (t_{42} - t_{41})) \times v_3 \times v_4}{(v_4 - v_3) \times V_{2-1}} \quad (10)$$

1588 协议模块，用于执行 1588 协议，通过 1588 协议将第二节点 1702 的本地时间同步到第一节点 1701 的本地时间；

本地时间模块，用于向报文处理模块提供第一时间报文的发送时间 t_{11} 、第二时间报文的发送时间 t_{21} 、第三时间报文的接收时间 t_{32} 和第四时间报文的接收时间 t_{42} ；还用于向 1588 协议模块提供本地时间。

第二节点 1702，包括：线路处理模块、报文处理模块、1588 协议模块、时间计算模块、本地时间模块，具体内容参见实施例十五的线路处理模块 1601、报文处理模块 1602、1588 协议模块 1605、时间计算模块 1603、本地时间模块 1604，此处不再赘述。

采用本发明实施例提供的技术方案，可以完成主、从节点间的绝对时间偏差或 1588 时间同步误差的自动实时测量，实现节点间的精确时间同步。解决现有技术中由于双向路径延时不一致带来的时间同步误差问题，避免时间同步网络部署过程中需要人工测量并设置双向线路距离和时间同步误差。本发明的技术方案实现简单、测量准确性高，具备较好的可实施性。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分步骤，是可以通过程序来指令相关的硬件完成，所述的程序可以存储于计算机可读

取存储介质中，该程序在执行时，可包括如上述各方法的实施例的流程。所述存储介质可以是ROM/RAM，磁盘或光盘等。

以上所述，仅为本发明较佳的具体实施方式，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，可轻易想到的变化或替换，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以权利要求的保护范围为准。

权利要求书

1、一种时间同步方法，其特征在于，该方法包括：

第一节点在第一时间以第一工作波长发送第一时间报文，第二节点在第二时间接收到所述第一时间报文；

所述第一节点在第三时间以第二工作波长发送第二时间报文，所述第二节点在第四时间接收到所述第二时间报文；

根据所述第一时间、所述第二时间、所述第三时间、所述第四时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算所述第二节点与所述第一节点间的绝对时间偏差，同步所述第二节点与所述第一节点的本地时间。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述绝对时间偏差通过下述公式获得：

$$\text{Offset} = \frac{(t_{12} - t_{11}) \times v_1 - (t_{22} - t_{21}) \times v_2}{v_1 - v_2}, \text{ 其中,}$$

Offset 表示所述绝对时间偏差；

t_{11} 表示所述第一时间；

t_{12} 表示所述第二时间；

t_{21} 表示所述第三时间；

t_{22} 表示所述第四时间；

v_1 表示所述第一信号传输速率；

v_2 表示所述第二信号传输速率。

3、根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

所述第二节点提取所述第一时间报文携带的所述第一时间和所述第二时间报文携带的所述第三时间；

所述计算所述第二节点与所述第一节点间的绝对时间偏差，同步所述第二节点与所述第一节点的本地时间，具体包括：所述第二节点计算所述绝对时间偏差，将自身的本地时间减去所述绝对时间偏差，得到与所述第一节点本地时

间同步的本地时间。

4、根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

所述第二节点提取所述第一时间报文携带的所述第一时间和所述第二时间报文携带的所述第三时间；

所述计算所述第二节点与所述第一节点间的绝对时间偏差，同步所述第二节点与所述第一节点的本地时间，具体包括：

所述第二节点计算所述绝对时间偏差，向所述第一节点发送携带所述绝对时间偏差的第三时间报文；

所述第一节点接收所述第三时间报文，继而提取所述绝对时间偏差，将自身的本地时间加上所述绝对时间偏差，得到与所述第二节点本地时间同步的本地时间。

5、根据权利要求 1 或 2 所述方法，其特征在于，所述第二节点在接收到所述第一时间报文和所述第二时间报文之后，所述方法还包括：

所述第一节点接收所述第二节点发送的第四时间报文，继而提取所述第四时间报文携带的所述第二时间和所述第四时间；

所述计算所述第二节点与所述第一节点间的绝对时间偏差，同步所述第二节点与所述第一节点的本地时间，具体包括：所述第一节点计算所述绝对时间偏差，将自身的本地时间加上所述绝对时间偏差，得到与所述第二节点本地时间同步的本地时间。

6、一种时间同步方法，其特征在于，该方法包括：

第一节点在第一时间以第一工作波长发送第一时间报文，第二节点在第二时间接收到所述第一时间报文；

所述第一节点在第三时间以第二工作波长发送第二时间报文，所述第二节点在第四时间接收到所述第二时间报文；

根据所述第一时间、所述第二时间、所述第三时间、所述第四时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传

输速率、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及通过 1588 协议获得的所述第一节点与所述第二节点间的双向路径延时之和，计算所述第二节点与所述第一节点间的时间同步误差，同步所述第二节点与所述第一节点的本地时间。

7、根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，所述时间同步误差通过下述公式获得：

$$\Delta T = d_{1-2} - \frac{D}{2}, \text{ 其中,}$$

ΔT 表示所述时间同步误差；

D 表示所述双向路径延时之和；

d_{1-2} 表示所述 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向的路径延时，通过下述公式获得：

$$d_{1-2} = \frac{L_{1-2}}{V_{1-2}} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{(v_2 - v_1) \times V_{1-2}}, \text{ 其中,}$$

t_{11} 表示所述第一时间；

t_{12} 表示所述第二时间；

t_{21} 表示所述第三时间；

t_{22} 表示所述第四时间；

v_1 表示所述第一信号传输速率；

v_2 表示所述第二信号传输速率；

L_{1-2} 表示所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离；

V_{1-2} 表示所述 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率。

8、根据权利要求 6 或 7 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

所述第二节点提取所述第一时间报文携带的所述第一时间和所述第二时间报文携带的所述第三时间；

所述计算所述第二节点与所述第一节点间的时间同步误差，同步所述第二

节点与所述第一节点的本地时间，具体包括：所述第二节点获得所述双向路径延时之和，计算所述时间同步误差，将 1588 协议时间同步后的自身本地时间加上所述时间同步误差。

9、根据权利要求 6 或 7 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

所述第二节点提取所述第一时间报文携带的所述第一时间和所述第二时间报文携带的所述第三时间；

所述第一节点接收所述第二节点发送的第六时间报文，继而提取所述第六时间报文携带的所述第二节点计算的所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离或者所述 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向的路径延时；

所述计算所述第二节点与所述第一节点间的时间同步误差，同步所述第二节点与所述第一节点的本地时间，具体包括：所述第一节点获得所述双向路径延时之和，计算所述时间同步误差，将 1588 时间同步后的自身本地时间减去所述时间同步误差。

10、一种时间同步方法，其特征在于，该方法包括：

第一节点在第一时间以第一工作波长发送第一时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间，第二节点在第二时间接收到所述第一时间报文，继而提取所述第一时间；

所述第一节点在第三时间以第二工作波长发送第二时间报文，所述第二时间报文携带所述第三时间，所述第二节点在第四时间接收到所述第二时间报文，继而提取所述第三时间；

所述第二节点在第五时间以第三工作波长发送第三时间报文，所述第一节点在第六时间接收到所述第三时间报文；

所述第二节点在第七时间以第四工作波长发送第四时间报文，所述第一节点在第八时间接收到所述第四时间报文；

所述第二节点根据所述第一时间、所述第二时间、所述第三时间、所述第四时间、所述第五时间、所述第六时间、所述第七时间、所述第八时间、所述

第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、所述第三工作波长对应的第三信号传输速率和所述第四工作波长对应的第四信号传输速率、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算所述第二节点与所述第一节点间的时间同步误差，同步所述第一节点与所述第二节点的本地时间。

11、根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述时间同步误差通过下述公式获得：

$$\Delta T = \frac{d_{1-2} - d_{2-1}}{2} = \frac{((t_{12} - t_{11}) - (t_{22} - t_{21})) \times v_1 \times v_2}{2 \times (v_2 - v_1) \times V_{1-2}} - \frac{d_{2-1}}{2}, \text{ 其中,}$$

ΔT 表示所述时间同步误差；

t_{11} 表示所述第一时间；

t_{12} 表示所述第二时间；

t_{21} 表示所述第三时间；

t_{22} 表示所述第四时间；

v_1 表示所述第一信号传输速率；

v_2 表示所述第二信号传输速率；

V_{1-2} 表示所述 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率；

d_{2-1} 表示所述 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向的路径延时，通过下述公式获得：

$$d_{2-1} = \frac{((t_{32} - t_{31}) - (t_{42} - t_{41})) \times v_3 \times v_4}{(v_4 - v_3) \times V_{2-1}}, \text{ 其中,}$$

t_{31} 表示所述第五时间；

t_{32} 表示所述第六时间；

t_{41} 表示所述第七时间；

t_{42} 表示所述第八时间；

v_3 表示所述第三信号传输速率;

v_4 表示所述第四信号传输速率;

V_{2-1} 表示所述 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率。

12、根据权利要求 10 或 11 所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

所述第一节点提取所述第三时间报文携带的所述第五时间和所述第四时间报文携带的所述第七时间;

所述第二节点接收所述第一节点发送的第八时间报文, 提取所述第八时间报文携带的所述第一节点计算的 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向的路径延时;

所述计算所述第二节点与所述第一节点间的时间同步误差, 同步第一节点与第二节点的本地时间, 具体包括: 所述第二节点计算所述时间同步误差, 将 1588 时间同步后的自身本地时间加上所述时间同步误差。

13、一种节点设备, 其特征在于, 包括:

线路处理模块, 用于接收第一节点以第一工作波长发送的第一时间报文和所述第一节点以第二工作波长发送的第二时间报文;

报文处理模块, 用于记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间; 还用于解析所述第一时间报文和所述第二时间报文, 提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间;

时间计算模块, 用于根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率, 计算自身与所述第一节点间的绝对时间偏差;

本地时间模块, 用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间; 还用于将自身的本地时间减去所述绝对时

间偏差,得到与所述第一节点本地时间同步的本地时间。

14、一种节点设备,其特征在于,包括:

线路处理模块,用于以第一工作波长向第二节点发送第一时间报文,以第二工作波长向所述第二节点发送第二时间报文;还用于接收所述第二节点发送的第三时间报文;

报文处理模块,用于封装所述第一时间报文和所述第二时间报文,所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间,所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间;还用于解析所述第三时间报文,提取所述第三时间报文携带的自身与所述第二节点间的绝对时间偏差;

所述绝对时间偏差由所述第二节点根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率,计算获得;

本地时间模块,用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间;还用于将自身的本地时间加上所述绝对时间偏差,得到与所述第二节点本地时间同步的本地时间。

15、一种节点设备,其特征在于,包括:

线路处理模块,用于以第一工作波长向第二节点发送第一时间报文,以第二工作波长向第二节点发送第二时间报文;还用于接收所述第二节点发送的第四时间报文;

报文处理模块,用于封装所述第一时间报文和所述第二时间报文,记录所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间;还用于解析所述第四时间报文,提取所述第四时间报文携带的所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间;时间计算模块,用于根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率

和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算自身与所述第二节点间的绝对时间偏差；

本地时间模块，用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间；还用于将自身的本地时间加上所述绝对时间偏差，得到与所述第二节点本地时间同步的本地时间。

16、一种节点设备，其特征在于，包括：

线路处理模块，用于接收第一节点以第一工作波长发送的第一时间报文和所述第一节点以第二工作波长发送的第二时间报文；

报文处理模块，用于记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；还用于解析所述第一时间报文和所述第二时间报文，提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；

1588 协议模块，用于执行 1588 协议，获得所述第一节点与所述第二节点间的双向路径延时之和；还用于通过 1588 协议将自身的本地时间同步到第一节点的本地时间；

时间计算模块，用于根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及所述双向路径延时之和，计算自身与所述第一节点间的时间同步误差；

本地时间模块，用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；还用于向所述 1588 协议模块提供本地时间；还用于将 1588 协议时间同步后的自身本地时间加上所述时间同步误差。

17、一种节点设备，其特征在于，包括：

线路处理模块，用于以第一工作波长向第二节点发送第一时间报文，以第

二工作波长向所述第二节点发送第二时间报文；还用于接收所述第二节点发送的第六时间报文；

报文处理模块，用于封装所述第一时间报文和所述第二时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；还用于解析所述第六时间报文，提取所述第六时间报文携带的所述第二节点计算的所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离或者 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向的路径延时；

所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离由所述第二节点根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算获得；

所述 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向的路径延时由所述第二节点根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、以及 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算获得；

1588 协议模块，用于执行 1588 协议，获得所述第一节点与所述第二节点间的双向路径延时之和；还用于通过 1588 协议将自身的本地时间同步到所述第二节点的本地时间；

时间计算模块，或者用于根据所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及所述第一节点与所述第二节点间的双向路径延时之和；或者用于根据所述 1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向的路径延时、以及所述第一节点与所述第二节点间的双向路径延时之和，计算所述第二节点与所述第一节点间的时间同步误差；

本地时间模块，用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间；还用于向所述 1588 协议模块提供本地时间；还用于将 1588 协议时间同步后的自身本地时间减去所述时间同步误差。

18、一种节点设备，其特征在于，包括：

线路处理模块，用于接收第一节点以第一工作波长发送的第一时间报文和所述第一节点以第二工作波长发送的第二时间报文；还用于以第三工作波长向所述第一节点发送第三时间报文，以第四工作波长向所述第一节点发送第四时间报文；还用于接收所述第一节点发送的第八时间报文；

报文处理模块，用于记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；还用于解析所述第一时间报文和所述第二时间报文，提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；还用于封装所述第三时间报文和所述第四时间报文，所述第三时间报文携带所述第三时间报文的发送时间，所述第四时间报文携带所述第四时间报文的发送时间；还用于所述解析所述第八时间报文，提取所述第八时间报文携带的所述第一节点计算的 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向的路径延时；

所述 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向的路径延时由所述第一节点根据所述第三时间报文的发送时间和所述第四时间报文的发送时间、所述第三时间报文的接收时间和所述第四时间报文的接收时间、所述第三工作波长对应的第三传送速率和所述第四工作波长对应点第四传输速率、以及 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算获得；

1588 协议模块，用于执行 1588 协议，通过 1588 协议将自身的本地时间同步到所述第一节点的本地时间；

时间计算模块，用于根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、

所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、所述 1588 协议报文在所述第二节点至所述第一节点方向的路径延时、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算所述第二节点与所述第一节点间的时间同步误差；

本地时间模块，用于向所述报文处理模块提供所述第一时间报文的接收时间、所述第二时间报文的接收时间、所述第三时间报文的发送时间和所述第四时间报文的发送时间；还用于提供所述 1588 协议模块提供本地时间；还用于将 1588 协议时间同步后的自身本地时间加上所述时间同步误差。

19、一种时间同步系统，其特征在于，所述系统至少包括两个节点设备，其中：

第一节点设备，用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间；以第二工作波长向所述第二节点设备发送第二时间报文，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；

所述第二节点设备，用于接收所述第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点设备以第二工作波长发送的所述第二时间报文；记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算所述第二节点设备与所述第一节点设备间的绝对时间偏差，将自身的本地时间减去所述绝对时间偏差，得到与所述第一节点设备本地时间同步的本地时间。

20、一种时间同步系统，其特征在于，所述系统至少包括两个节点设备，其中：

第一节点设备, 用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文, 所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间; 以第二工作波长向所述第二节点设备发送第二时间报文, 所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间; 接收所述第二节点设备发送的第三时间报文, 提取所述第三时间报文携带的所述第二节点设备与所述第一节点设备间的绝对时间偏差; 将自身的本地时间加上所述绝对时间偏差, 得到与所述第二节点本地时间同步的本地时间;

所述第二节点设备, 用于接收所述第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点设备以第二工作波长发送的所述第二时间报文; 记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间; 提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间; 根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率, 计算所述第二节点设备与所述第一节点设备间的绝对时间偏差; 向所述第一节点设备发送携带所述绝对时间偏差的第三时间报文。

21、一种时间同步系统, 其特征在于, 所述系统至少包括两个节点设备, 其中:

第一节点设备, 用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文; 以第二工作波长向所述第二节点设备发送第二时间报文; 记录所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间; 接收所述第二节点设备发送的第四时间报文, 提取所述第四时间报文携带的所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间; 根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长

对应的第二信号传输速率，计算所述第二节点设备与所述第一节点设备间的绝对时间偏差；将自身的本地时间加上所述绝对时间偏差，得到与所述第二节点设备本地时间同步的本地时间；

所述第二节点设备，用于接收所述第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点设备以第二工作波长发送的所述第二时间报文；向所述第一节点设备发送第四时间报文，所述第四时间报文携带所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间。

22、一种时间同步系统，其特征在于，所述系统至少包括两个节点设备，其中：

第一节点设备，用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间；以第二工作波长向所述第二节点设备发送第二时间报文，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；

所述第二节点设备，用于接收所述第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点设备以第二工作波长发送的所述第二时间报文；记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；通过 1588 协议获得所述第一节点设备与所述第二节点设备间的双向路径延时之和；根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及所述第一节点设备与所述第二节点设备间的双向路径延时之和，计算所述第二节点设备与所述第一节点设备之间的时间同步误差；将 1588 协议时间同步后的自身本地时间加上所述时间同步误差。

23、一种时间同步系统，其特征在于，所述系统至少包括两个节点设备，其中：

第一节点设备，用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间；以第二工作波长向所述第二节点设备发送第二时间报文，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；接收所述第二节点设备发送的第六时间报文，提取所述第六时间报文携带的所述第二节点计算的所述第一节点设备至所述第二节点设备方向的线路距离或者 1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向的路径延时；通过 1588 协议获得所述第一节点设备与所述第二节点设备间的双向路径延时之和；或者根据所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离、1588 协议报文在所述第一节点至所述第二节点方向上传送时所采用波长的信号传输速率、以及所述双向路径延时之和，或者根据所述 1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向的路径延时、以及所述双向路径延时之和，计算所述第二节点设备与所述第一节点设备间的时间同步误差；将 1588 时间同步后的自身本地时间减去所述时间同步误差。

所述第二节点设备，用于接收所述第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点设备以第二工作波长发送的所述第二时间报文；记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；提取所述第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；

或者根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、以及所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率，计算所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离；或者根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输

速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、以及 1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算所述 1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向的路径延时；

向所述第一节点设备发送第六时间报文，所述第六时间报文携带所述第一节点至所述第二节点方向的线路距离或者所述 1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向的路径延时。

24、一种时间同步系统，其特征在于，所述系统至少包括两个节点设备，其中：

第一节点设备，用于以第一工作波长向第二节点设备发送第一时间报文，所述第一时间报文携带所述第一时间报文的发送时间；以第二工作波长向所述第二节点设备发送第二时间报文，所述第二时间报文携带所述第二时间报文的发送时间；接收所述第二节点设备以第三工作波长发送的第三时间报文和所述第二节点设备以第四工作波长发送的第四时间报文；记录所述第三时间报文的接收时间和所述第四时间报文的接收时间；提取所述第三时间报文携带的所述第三时间报文的发送时间和所述第四时间报文携带的所述第四时间报文的发送时间；根据所述第三时间报文的发送时间和所述第四时间报文的发送时间、所述第三时间报文的接收时间和所述第四时间报文的接收时间、所述第三工作波长对应的第三传送速率和所述第四工作波长对应的第四传输速率、以及 1588 协议报文在所述第二节点设备至所述第一节点设备方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算 1588 协议报文在所述第二节点设备至所述第一节点设备方向上的路径延时；向所述第二节点发送第八时间报文，所述第八时间报文携带所述 1588 协议报文在所述第二节点设备至所述第一节点设备方向上的路径延时。

所述第二节点设备，用于接收第一节点设备以所述第一工作波长发送的所述第一时间报文和所述第一节点以所述第二工作波长发送的所述第二时间报文；记录所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间；提取所述

第一时间报文携带的所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文携带的所述第二时间报文的发送时间；以所述第三工作波长向所述第一节点设备发送所述第三时间报文，所述第三时间报文携带所述第三时间报文的发送时间；以所述第四工作波长向所述第一节点设备发送所述第四时间报文，所述第四时间报文携带所述第四时间报文的发送时间；接收所述第一节点设备发送的第八时间报文，提取所述第八时间报文携带的所述 1588 协议报文在所述第二节点设备至所述第一节点设备方向上的路径延时；根据所述第一时间报文的发送时间和所述第二时间报文的发送时间、所述第一时间报文的接收时间和所述第二时间报文的接收时间、所述第一工作波长对应的第一信号传输速率和所述第二工作波长对应的第二信号传输速率、所述 1588 协议报文在所述第二节点设备至所述第一节点设备方向上的路径延时、1588 协议报文在所述第一节点设备至所述第二节点设备方向上传送时所采用波长的信号传输速率，计算所述第二节点设备与所述第一节点设备间的时间同步误差；将 1588 时间同步后的自身本地时间加上所述时间同步误差。

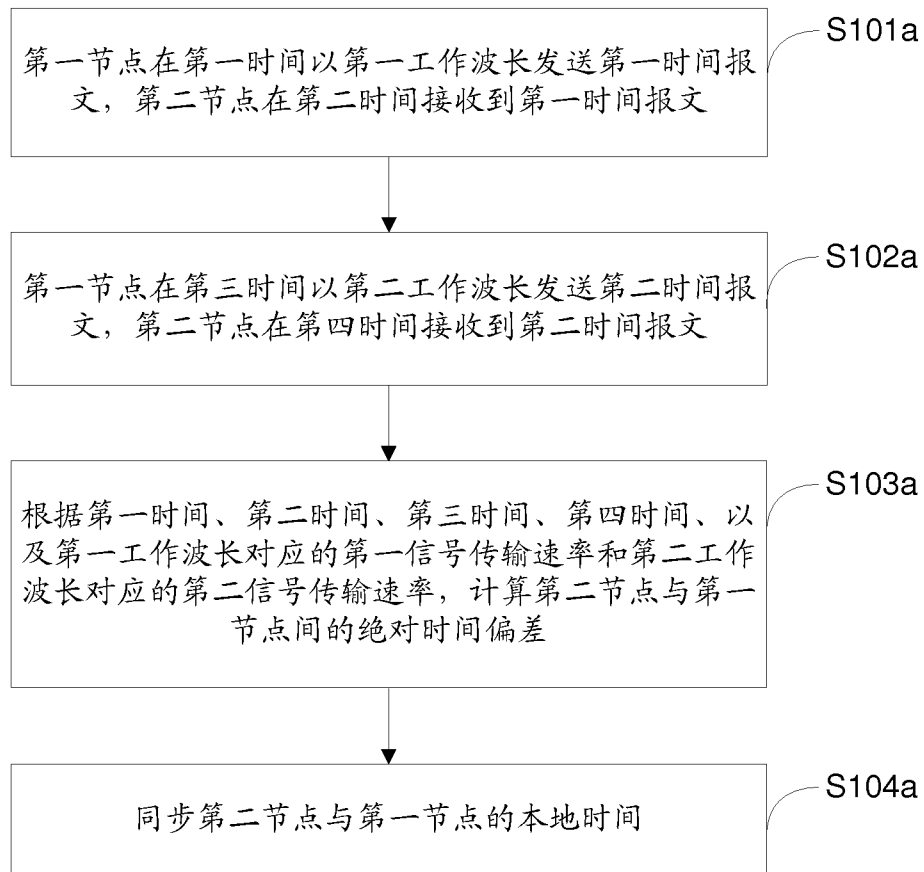


图 1a

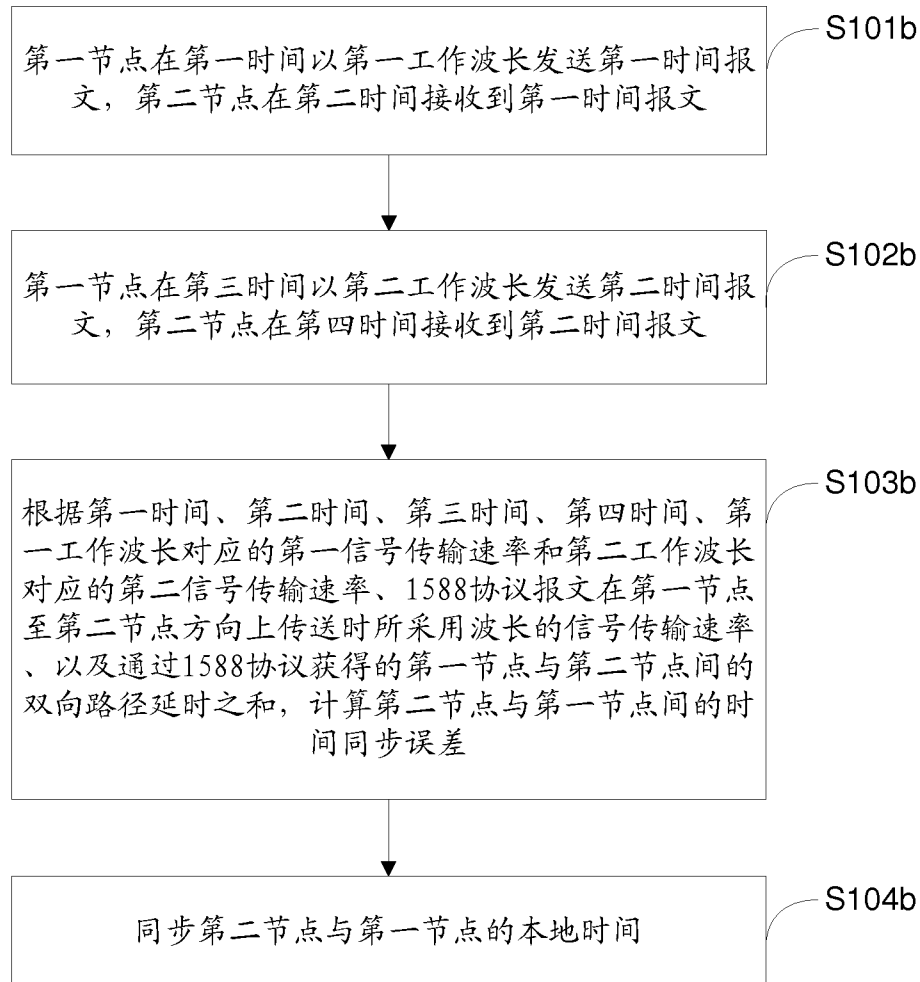


图 1b

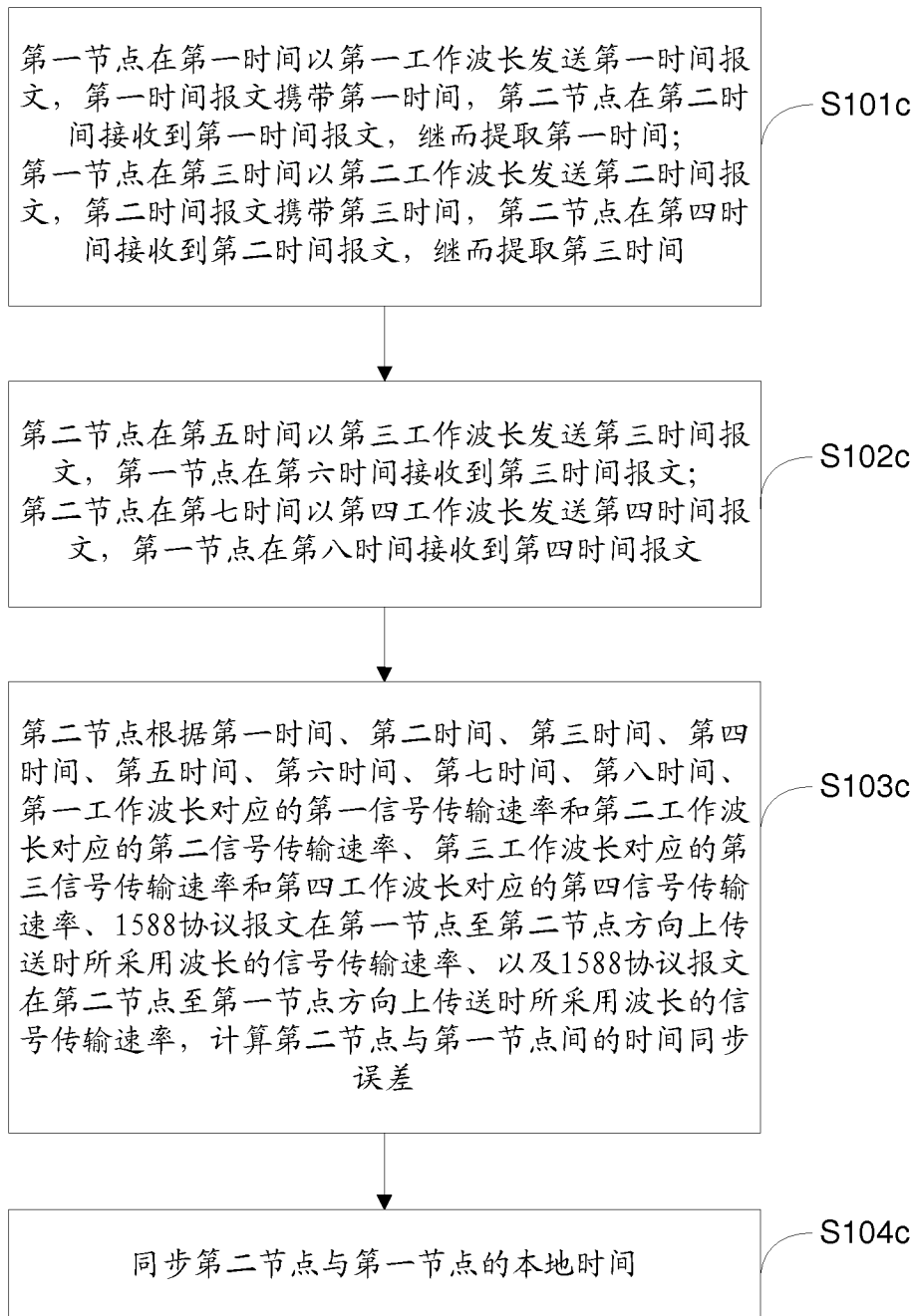


图 1c

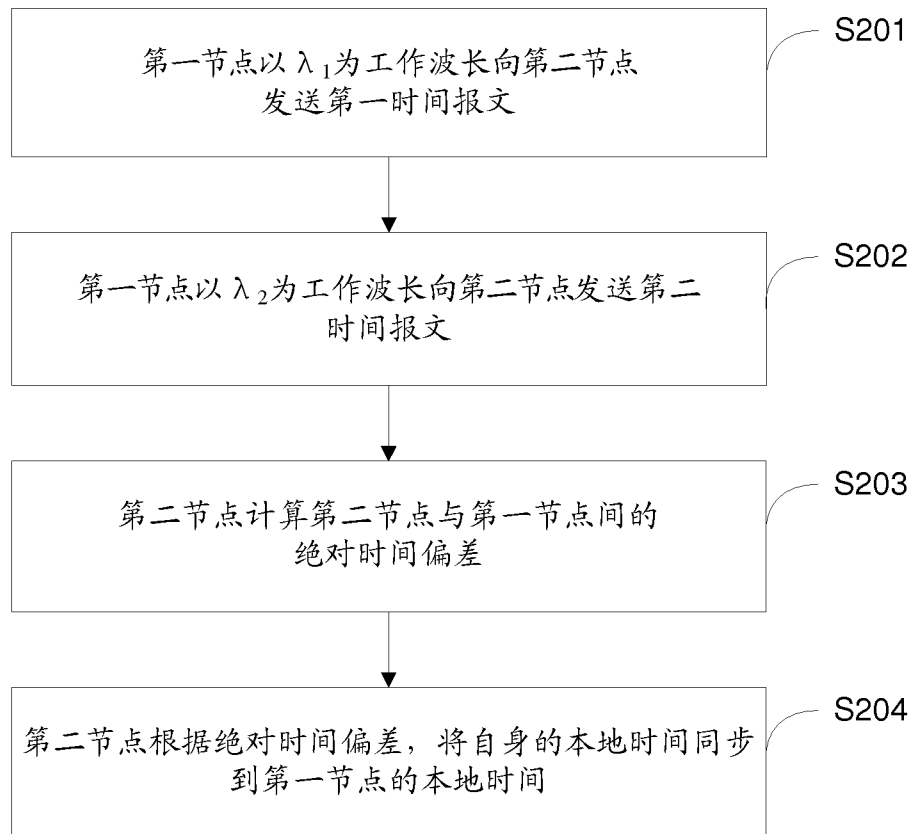


图 2

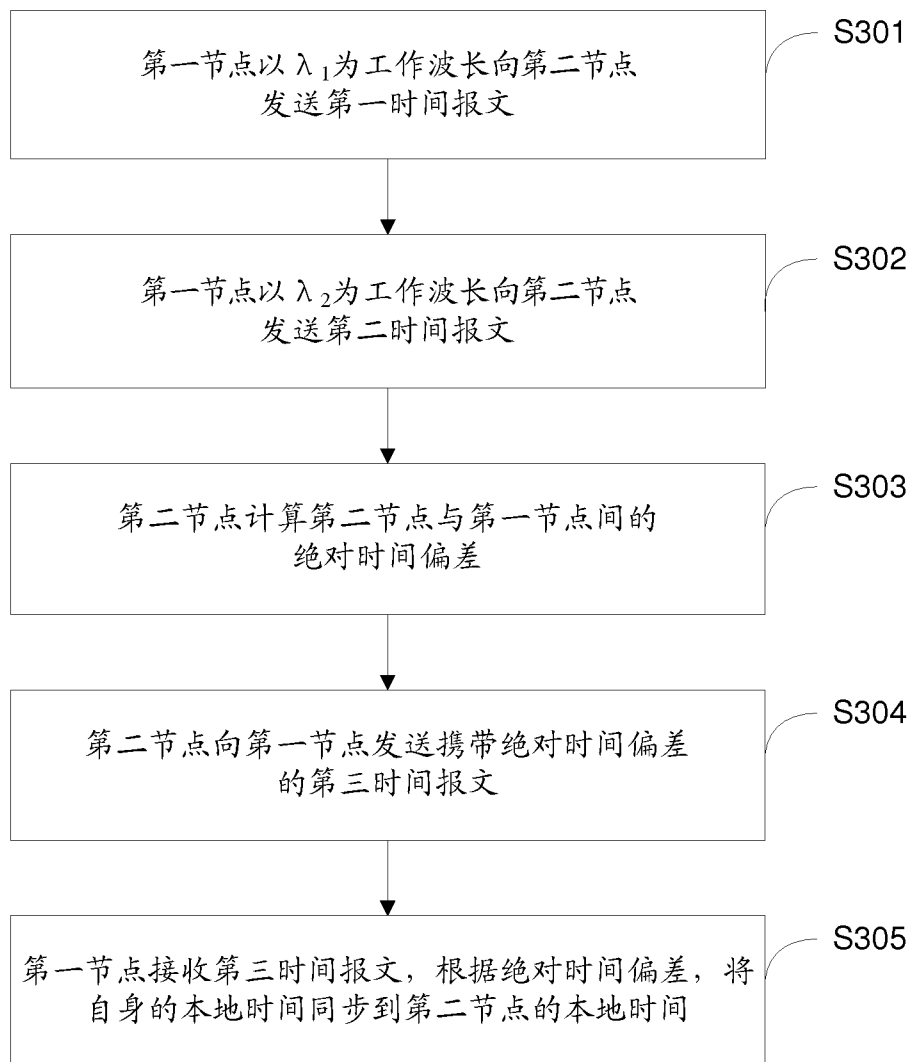


图 3

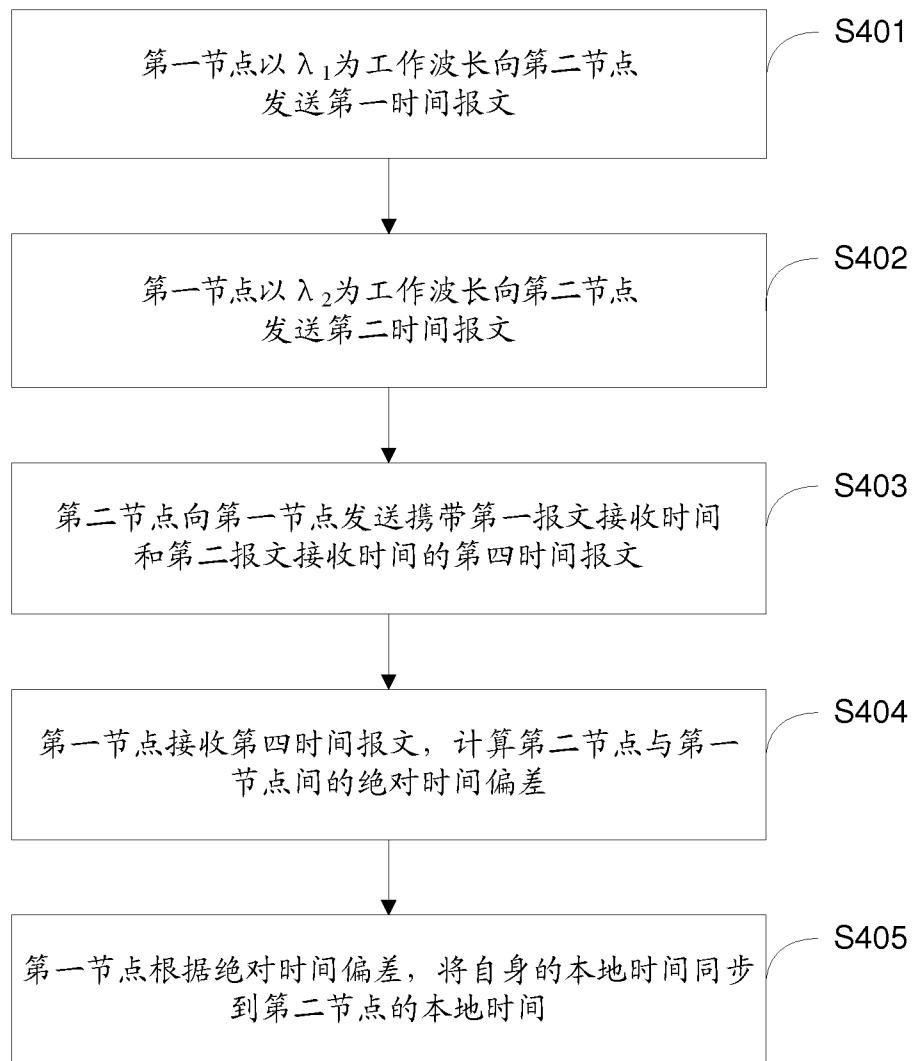


图 4

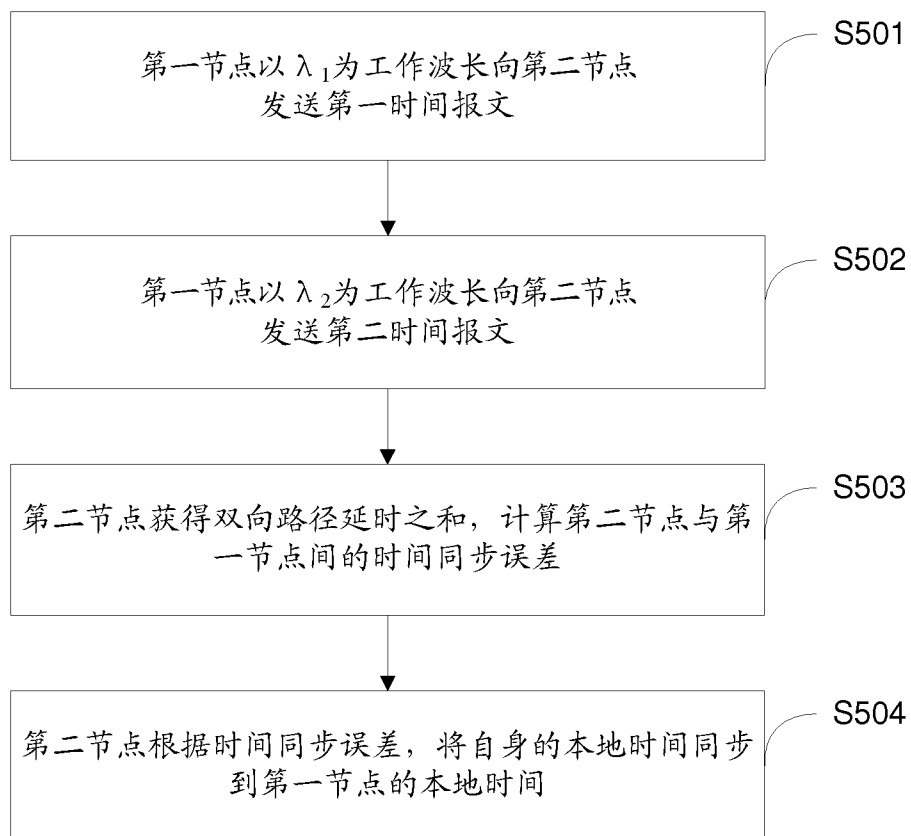


图 5

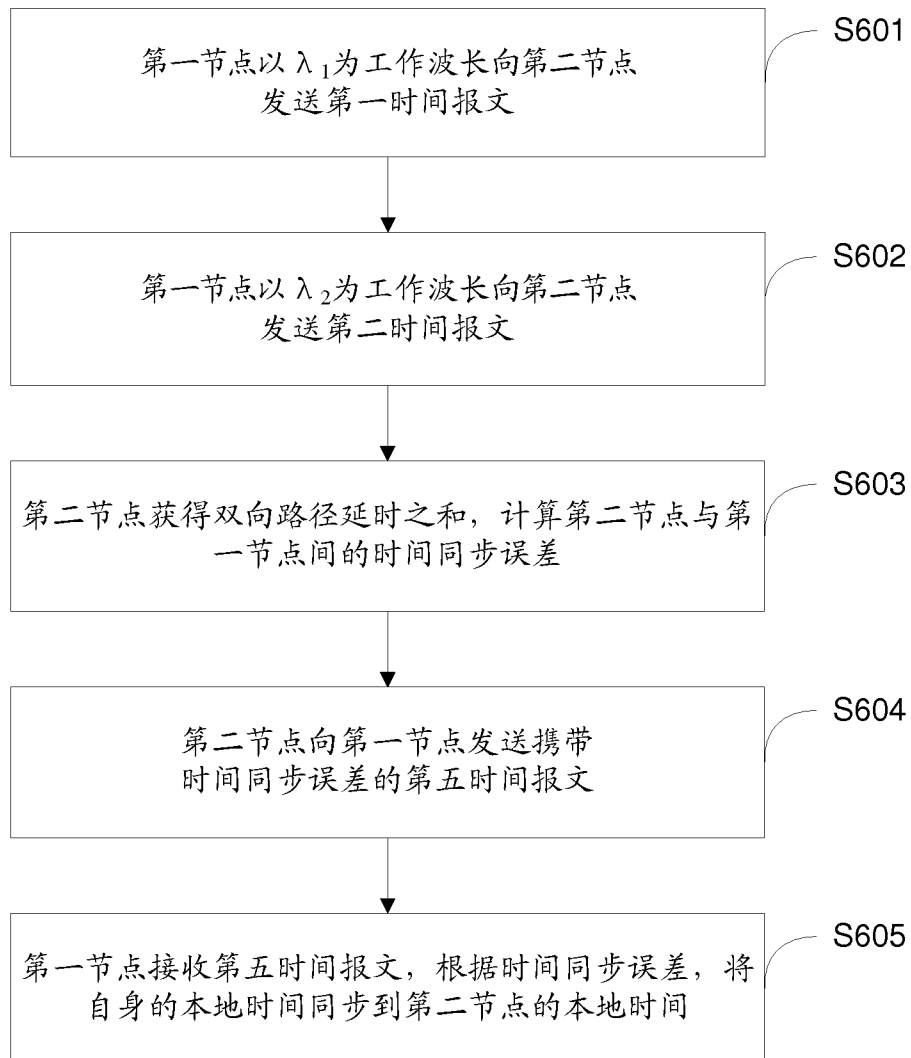


图 6

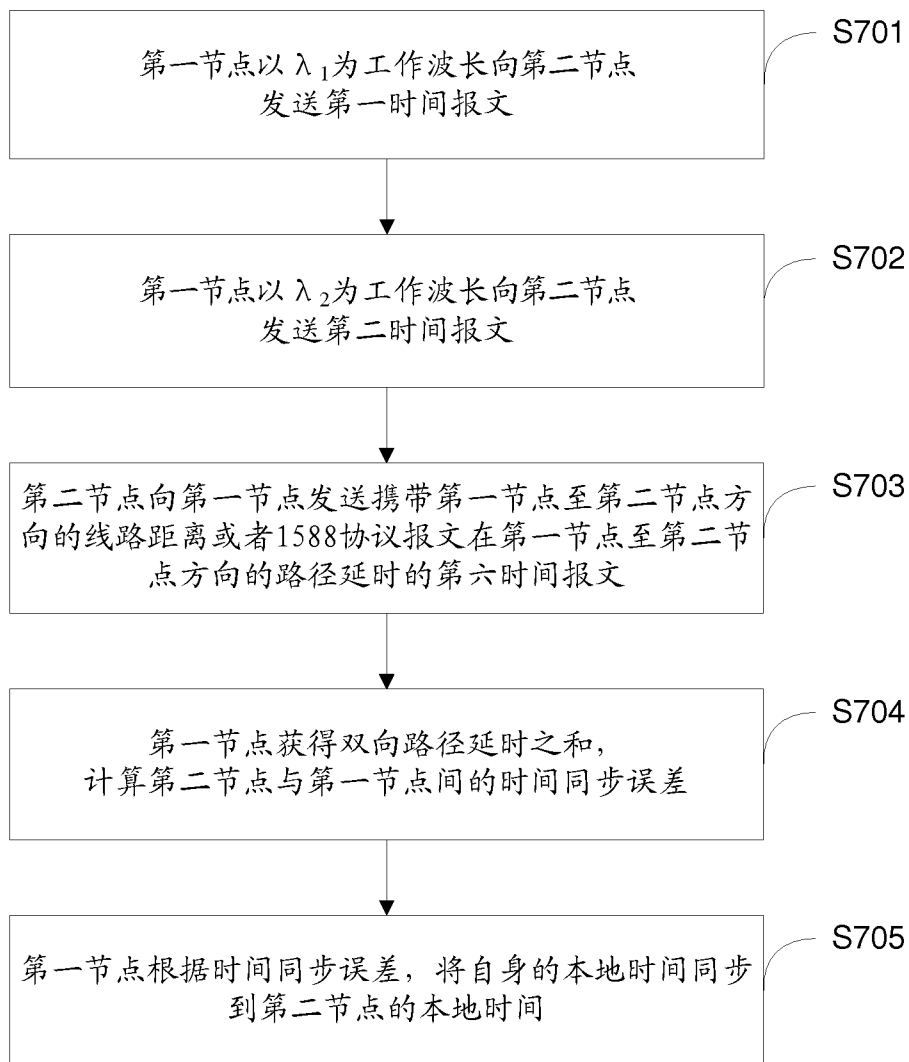


图 7

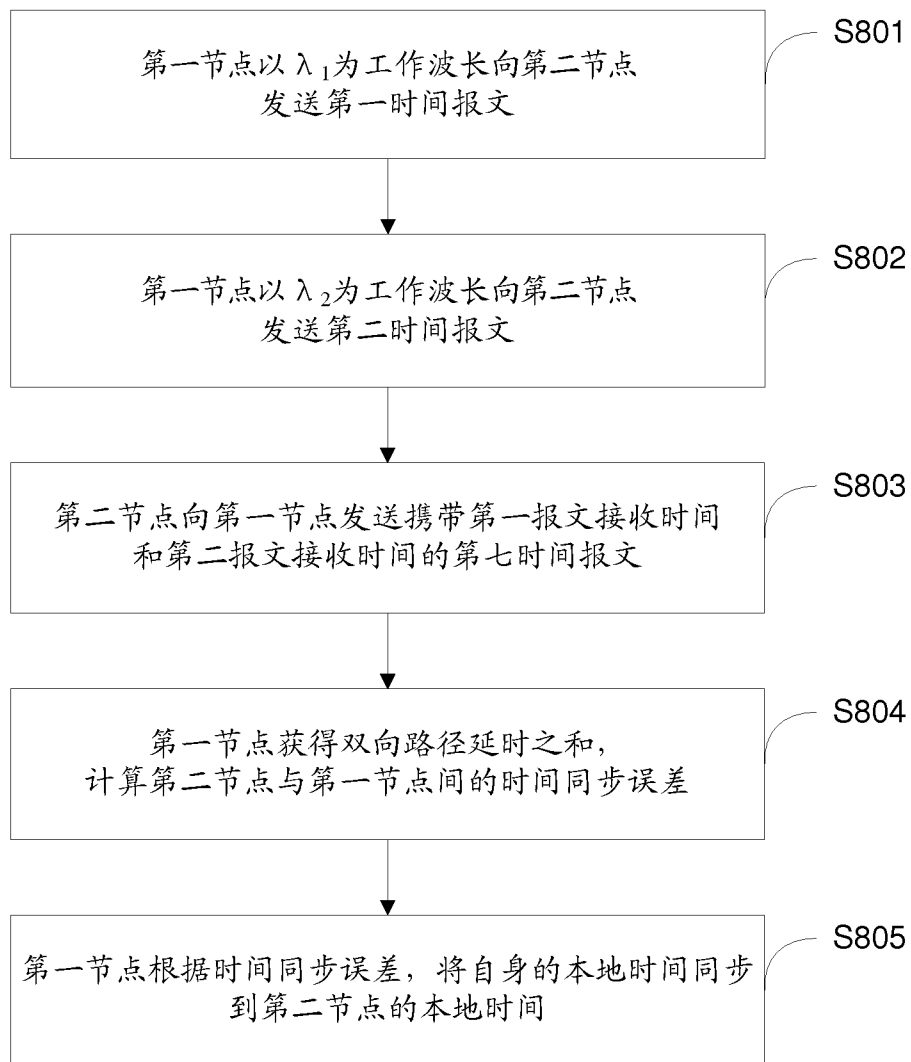


图 8

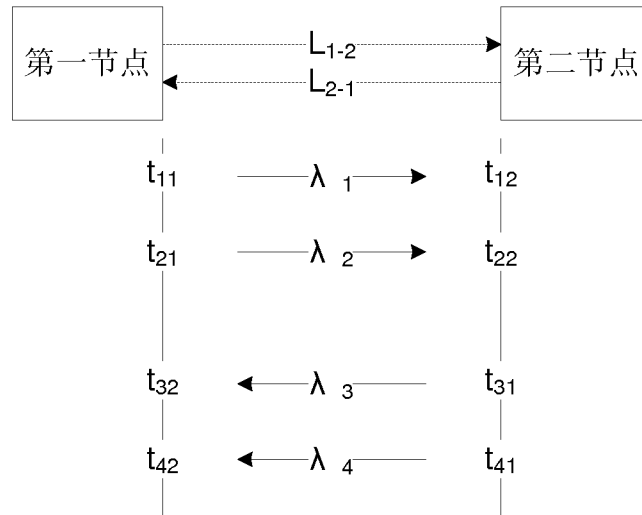


图 9



图 10



图 11



图 12

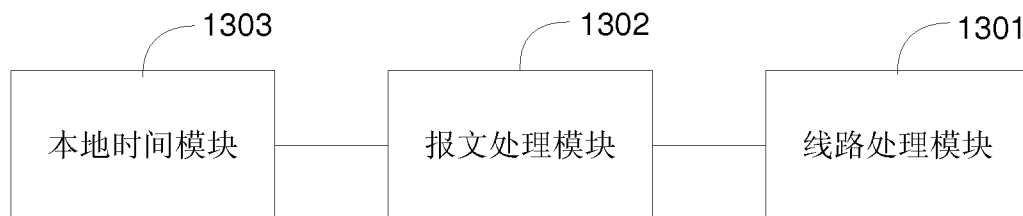


图 13

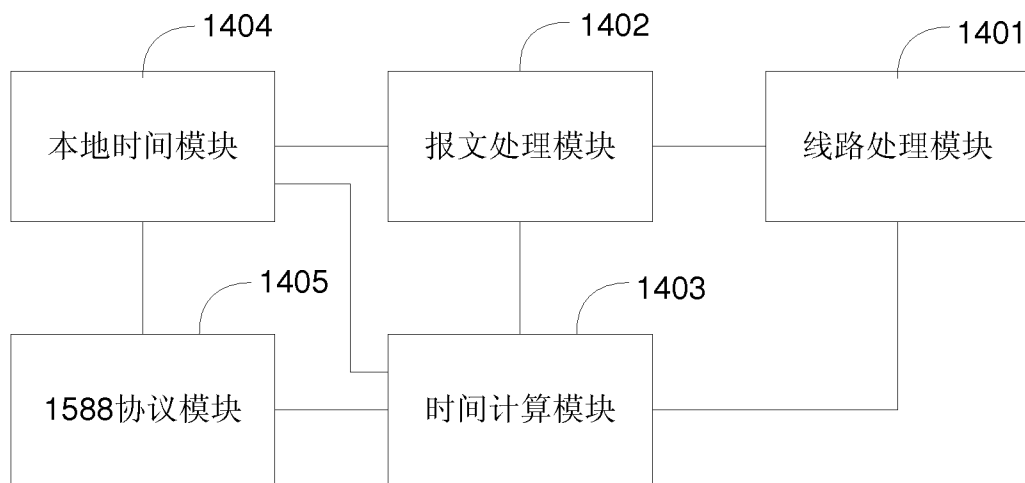


图 14

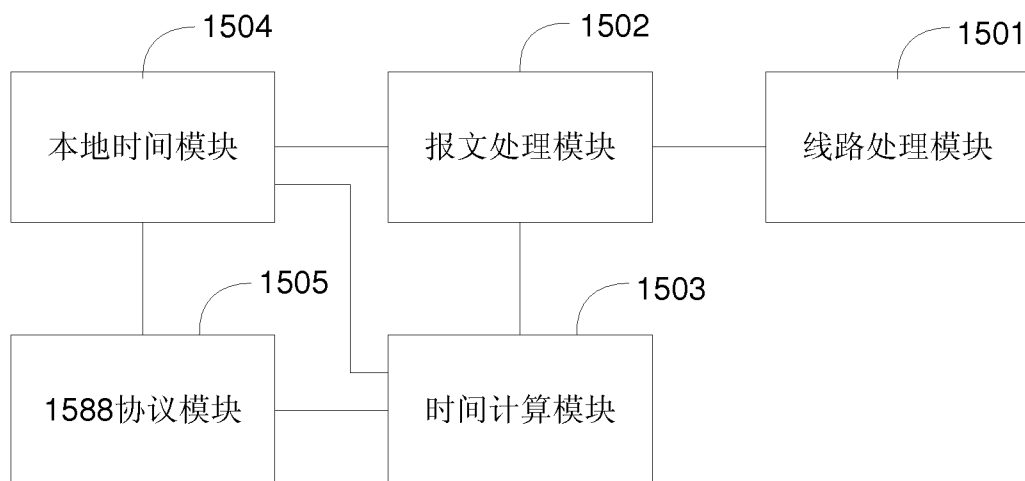


图 15

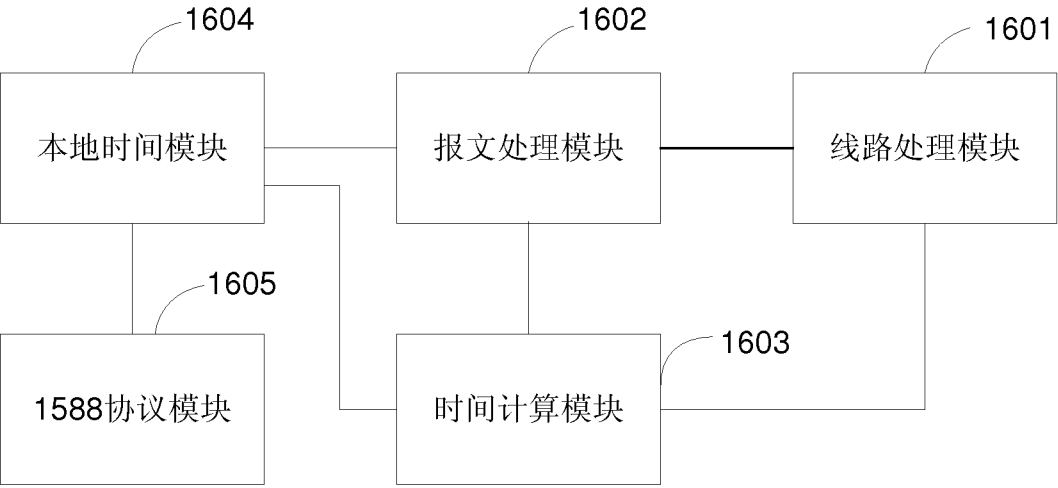


图 16

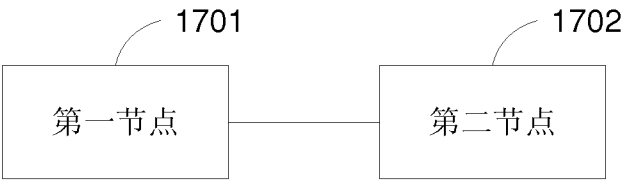


图 17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2011/079530**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

H04W 56/00 (2009.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: H04L, H04W, H04Q, H04J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CPRSABS, CNTXT, CNKL, VEN, USTXT, EPTXT, WOTXT: error, path delay, time, synchroniz+, node?, message?, wavelength, signal+, transmi+ w speed, warp, windage, departure, detract, subtract, 1588 w protocol, rout+, path, delay

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 102143571 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.), 03 August 2011 (03.08.2011), the whole document	1-24
A	CN 102098121 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.), 15 June 2011 (15.06.2011), the whole document	1-24
A	CN 102104572 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.), 22 June 2011 (22.06.2011), the whole document	1-24
A	US 2005232633 A1 (HAXELL, P.E. et al.), 20 October 2005 (20.10.2005), the whole document	1-24

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 15 May 2012 (15.05.2012)	Date of mailing of the international search report 21 June 2012 (21.06.2012)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer LL, Fei Telephone No.: (86-10) 62412001

International application No.
PCT/CN2011/079530

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

A. 主题的分类

H04W 56/00 (2009.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: H04L, H04W, H04Q, H04J

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CPRSABS,CNTXT,CNKI,VEN,USTXT,EPTXT,WOTXT: 时间, 同步, 节点, 报文, 波长, 信号, 传输速率, 偏差, 误差, 相减, 减去, 1588 协议, 路径延时, time, synchroniz+, node?, message?, wavelength, signal+, transmi+ w speed, warp, windage, departure, detract, subtract, 1588 w protocol, rout+, path, delay

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN102143571A (华为技术有限公司) 03.8 月 2011 (03.08.2011) 全文	1-24
A	CN102098121A (华为技术有限公司) 15.6 月 2011 (15.06.2011) 全文	1-24
A	CN102104572A (华为技术有限公司) 22.6 月 2011 (22.06.2011) 全文	1-24
A	US2005232633A1 (Penelope E. Haxell et al) 20.10 月 2005 (20.10.2005) 全文	1-24



其余文件在 C 栏的续页中列出。



见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

15.5 月 2012 (15.05.2012)

国际检索报告邮寄日期

21.6 月 2012 (21.06.2012)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:

中华人民共和国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088

传真号: (86-10)62019451

受权官员

李菲

电话号码: (86-10) 62412001

关于同族专利的信息

PCT/CN2011/079530

PCT/ISA/210 表(同族专利附件) (2009 年 7 月)