

说明书

时钟恢复的方法、设备和系统

本申请要求于 2023 年 01 月 14 日提交中国国家知识产权局、申请号 202310091418.7、申请名称为“时钟恢复的方法、设备和系统”的中国专利申请的优先权，于 2023 年 02 月 10 日提交中国国家知识产权局、申请号 202310127538.8、申请名称为“时钟恢复的方法、设备和系统”的中国专利申请的优先权，和于 2023 年 05 月 24 日提交中国国家知识产权局、申请号 202310601034.5、申请名称为“时钟恢复的方法、设备和系统”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及光传送技术领域，更具体地，涉及一种时钟恢复的方法、设备和系统。

背景技术

光传送网络（optical transport network, OTN）基于波分复用技术，可以提供更大的传输速率、更高的传输效率和更好的操作、管理和维护（operations, administration and maintenance, OAM）能力，已经成为骨干传输网的主流技术。

OTN 系统不仅要传送多种类型的业务数据，还要传输每个业务对应的定时信息（主要是时钟同步频率）。其核心技术之一就是怎样将不同种类和速率的业务数据映射到 OTN 数据帧并在 OTN 设备中恢复业务数据和时钟信息。

发明内容

本申请实施例提供一种时钟恢复的方法、设备和系统，使得目的设备能够准确的恢复服务层时钟，从而达到提升系统性能的目的。

第一方面，本申请实施例提供一种时钟恢复的方法。该方法可以由目的设备或者由目的设备的部件（如芯片或芯片系统等）执行，本申请对此不作限定。该方法包括：接收第一光传送网络 OTN 帧数据流。从所述第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟。从所述第一 OTN 帧数据流中获取所述第一 OTN 帧数据流承载的第二 OTN 帧携带的相位差信息。所述相位差信息为所述第二 OTN 帧经过的所述目的设备的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和。所述一组或多组相邻两个上游设备的相位差为整数个参考时钟周期。根据所述服务层时钟和所述相位差信息调整所述第二 OTN 帧的参考时钟，所述第二 OTN 帧的参考时钟用于恢复所述第二 OTN 帧的时钟。

在一些实施例中，承载所述第二 OTN 帧携带的相位差信息的开销区的周期小于或者等于第二 OTN 帧的周期的 1/2。示例性地，可以为 1/4 或者 1/3 等。

基于上述方案，目的设备通过获取其上游设备中每两个相邻设备的相位差的累计来实现对目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟调节，相较于利用系统中每个设备的第二 OTN 帧的参考时钟来调整目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟，该过程避免了提取系统中每个设备的第二 OTN 帧的参考时钟的过程，降低了时钟恢复的复杂度和高开销。由于相位差累计可以实现对第二 OTN 帧的参考时钟的无损估计，因此本申请的方案能够提升对目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟调整的准确性，进而实现提升系统性能的目的。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，根据所述相位差信息和所述服务层时钟调整所述第二 OTN 帧的参考时钟，包括：根据所述服务层时钟生成所述目的设备与所述目的设备的相邻上游设备的相位差，所述目的设备与所述目的设备的相邻上游设备的相位差为整数个参考时钟周期。根据所述相位差信息和所述目的设备与所述目的设备的相邻上游设备的相位差生成频率偏差。根据所述频率偏差调整所述第二 OTN 帧的参考时钟。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，生成所述目的设备与所述目的设备相邻的上游设备的相位差的周期 T 大于承载所述相位差信息的所述开销区的周期。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述第二 OTN 帧的参考时钟的频率 F 大于或者等于所述第二 OTN 帧的速率。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述频率 F 、所述周期 T ，满足： $(F * T * 20\text{ppm}) < 10$ 。

基于上述方案，通过对相位差的周期 T 和/或每个设备的第二 OTN 帧的参考时钟的频率 F 进行限定，能够消除相位差累积过程中引入的瞬时相位错误，从而提升了目的设备获取的相位差信息的准确性，进而提升恢复第二 OTN 帧的时钟的准确性，实现提升系统性能的目的。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述周期 T 大于 3ms 且小于 6ms，例如，4ms。在一些实施例中，周期 T 为在 4ms 附近的值，即约等于 4ms，可以略小于 4ms 或者略大于 4ms，例如周期 T 为 4.1ms 或者 3.9ms 等。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述频率 F 的范围为 10MHz-1GHz。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述承载所述相位差信息的开销区的周期为 3ms。在一些实施例中，承载相位差信息的开销区的周期为 3ms 附近的值，即约等于 3ms，可以略小于 3ms 或者略大于 3ms，例如为 2.1ms 或者 3.9ms 等。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，恢复的所述第二 OTN 帧的服务层时钟的误差小于或者等于 40ns。基于该方案，能够使得本申请实施例提供的恢复时钟的方案中，相位差计算中引入的相位错误满足 G.813 模板。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述相位差信息承载在所述第二 OTN 帧的多个开销区中。基于该方案，通过采用第二 OTN 帧的开销区承载相位差信息，使得目的设备在接收到第二 OTN 帧后能够及时获取相位差信息，降低了时钟恢复的时延。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述多个开销区中的每个开销区承载所述相位差信息的字节数为 1。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述第二 OTN 帧为光业务单元 OSU 帧。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述第一 OTN 帧为光数据单元 ODU 帧，所述 ODU 帧为 ODUk 帧或 ODUFlex 帧。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述第二 OTN 帧的参考时钟由恒温晶振生成，所述第二 OTN 帧的参考时钟的频率随时间变化的幅度在预设范围内。基于该方案，使每个设备第二 OTN 帧的参考时钟均由恒温晶振生成，能够保证第二 OTN 帧的参考时钟稳定性，从而提升时钟恢复的准确性，进而提升系统性能。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述根据所述相位差信息调整所述第二 OTN 帧的参考时钟，包括：根据所述相位差信息在时间段 T_c 内调整所述第二 OTN 帧的参考时钟， T_c 满足： $T_c \geq T / (20\text{ppm})$ 。由于目的设备收到的相位差信息是设备之间的相位差的累计结果，因此，在一些设备中计算与相邻设备的相位差时，可能会出现相位差计算错误的情况出现，为了消除设备计算相位差时的误差，目的设备在根据相位差信息恢复时钟时，不采用瞬时补偿，而是在时间段 T_c 内，利用在改时间段 T_c 内收到的所有相位差信息做缓慢的时钟恢复，从而提升时钟恢复的准确性。

结合第一方面，在第一方面的某些实现方式中，所述方法还包括：将所述目的设备与所述目的设备的相邻上游设备的相位差以第一周期 T_1 进行周期性的增加或者减小，所述第一周期 T_1 满足： $T_1 = (F * T * T / D_1)$ ， D_1 为所述目的设备与所述目的设备的相邻上游设备的相位差。基于该方案，通过目的设备将本设备产生的相位差以第一周期进行调控，能够降低相位差的抖动，从而提升时钟恢复的准确性。

第二方面，本申请实施例提供一种时钟恢复的方法，该方法可以由第一设备或者由第一设备的部件（如芯片或芯片系统等）执行，本申请对此不作限定。该方法包括：接收第一光传送网络 OTN 帧数据流。从所述第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟。根据所述服务层时钟生成所述第一设备与所述第一设备相邻的上游设备的相位差。从所述第一 OTN 帧数据流中获取所述第一 OTN 帧数据流承载的第二 OTN 帧携带的第一相位差信息，所述第一相位差信息为所述第二 OTN 帧经过的所述第一设备的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和。所述一组或多组相邻两个上游设备的相位差为整数个参考时钟周期。生成第二相位差信息，所述第二相位差信息为所述第一设备与所述第一设备相邻的上游设备的相位差与所述第一相位差信息的和。发送所述第二相位差信息，所述第二相位差信息用于调整所述第二 OTN 帧的参考时钟，所述第二 OTN 帧的参考时钟用于恢复所述第二 OTN 帧的时钟。

需要说明的是,上述第一设备为除发送设备和目的设备之外的设备。换句话说,该第一设备为发送设备和目的设备之间的任意一个中间设备。应理解,当第一设备为与发送设备相邻的下游中间设备时,由于发送设备不产生相位差,因此,该第一设备收到的第一相位差信息为 0。此时,该第一设备发送的第二相位差信息的值对应于该第一设备产生的与发送设备之间的相位差。

还需要说明的是,由于生成 OTN 帧的设备的不同,第一设备接收到的承载第一相位差信息的第二 OTN 帧,与其发送的承载第二相位差信息的第二 OTN 帧是不同的。但应理解,承载第一相位差信息的第二 OTN 帧的开销区,与承载第二相位差信息的第二 OTN 帧的开销区位于各自对应的第二 OTN 帧的相同位置。换句话说,在本申请实施例中,承载相位差信息的开销区在第二 OTN 帧中的位置是固定的,当第一设备在该开销区中提取到上游设备发送的第一相位差信息后,会将其生成的第二相位差信息记录在本设备生成的新的第二 OTN 帧的相同位置的开销区中。

在一些实施例中,承载所述第一相位差信息的开销区的周期和承载所述第二 OTN 帧的第二相位差信息的开销区的周期相同,承载所述第二 OTN 帧的第一相位差信息的开销区的周期小于或者等于第二 OTN 帧的周期的 1/2,承载所述第二 OTN 帧的第二相位差信息的开销区的周期小于或者等于第二 OTN 帧的周期的 1/2。

基于该方案,中间设备通过计算本设备和相邻上游设备的相位差,并将接收到的第一相位差信息与本设备生成的相位差信息累加,生成用于恢复目的设备的第二相位差信息并发送。即目的设备通过中间节点发送的相位差的累计来实现对目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟调节,避免了提取系统中每个设备的第二 OTN 帧的参考时钟的过程,降低了时钟恢复的复杂度和高开销。由于相位差累计可以实现对第二 OTN 帧的参考时钟的无损估计,因此本申请的方案能够提升对目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟调整的准确性,进而提升恢复第二 OTN 帧的时钟的准确性,实现提升系统性能的目的。结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,生成所述第一设备与所述第一设备相邻的上游设备的相位差的周期 T 大于所述承载所述第一相位差信息或所述第二相位差信息的所述开销区的周期。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述第二 OTN 帧的参考时钟的频率 F 大于或者等于所述第二 OTN 帧的速率。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述频率 F 、所述周期 T , 满足:

$$(F * T * 20\text{ppm}) < 10。$$

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述周期 T 大于 3ms 小于 6ms,例如,4ms。在一些实施例中,周期 T 为在 4ms 附近的值,即约等于 4ms,可以略小于 4ms 或者略大于 4ms,例如周期 T 为 3.1ms 或者 4.9ms 等。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述频率 F 的范围为 10MHz-1GHz。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述承载所述第二 OTN 帧的第一相位差信息的开销区的周期为 3ms。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,承载所述第二 OTN 帧的所述第二相位差信息的开销区的所周期为 3ms。在一些实施例中,承载第一相位差信息开销区的周期或第二相位差信息的开销区的周期为 3ms 附近的值,即约等于 3ms,可以略小于 3ms 或者略大于 3ms,例如为 2.1ms 或者 3.9ms 等。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述第一相位差信息承载在所述第二 OTN 帧的多个开销区中。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述第二相位差信息承载在所述第二 OTN 帧的多个开销区中。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述多个开销区中的每个开销区承载所述第一相位差信息字节数为 1。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述第二 OTN 帧为光业务单元 OSU 帧。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述第一 OTN 帧为 ODUk 帧或 ODUflex 帧。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述第二 OTN 帧的参考时钟由恒温晶振生成,所述第二 OTN 帧的参考时钟的频率随时间变化的幅度在预设范围内。

结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,所述方法还包括:将所述第一设备与所述第一设备相邻的上游设备的相位差以第二周期 T_2 进行周期性的增加或者减小,所述第二周期 T_2 满足:

$$T_2 = (F * T * T / D_2), D_2 \text{ 为所述第一设备与所述第一设备相邻的上游设备的相位差。}$$
基于该方案,通过

第一设备将本设备产生的相位差以第二周期进行调控，能够降低相位差的抖动，从而提升时钟恢复的准确性。

第三方面，本申请实施例提供一种时钟恢复的方法。该方法可以由目的设备或者由目的设备的部件（如芯片或芯片系统等）执行，本申请对此不作限定。该方法包括：接收第一光传送网络 OTN 帧数据流。从所述第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟。从所述第一 OTN 帧数据流中获取所述第一 OTN 帧数据流承载的第二 OTN 帧携带的第一相位差信息，所述第一相位差信息为所述第二 OTN 帧经过的所述目的设备的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和，所述一组或多组相邻两个上游设备的相位差为整数个标称时钟周期，其中，所述标称时钟周期小于或者等于 10ns。根据所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟和所述服务层时钟生成本地相位差。累加所述本地相位差到所述第一相位差信息生成第二相位差信息。所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟用于恢复所述第二 OTN 帧的时钟。根据所述第二相位差信息调整所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，所述根据所述第二相位差信息调整所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟，包括：根据所述第二相位差信息生成频率偏差，所述频率偏差为所述第二相位差信息对应的所述标称时钟的数量与所述标称时钟的乘积。根据所述频率偏差调整所述本地第二 OTN 帧的参考时钟。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，所述根据所述第二相位差信息调整所述本地第二 OTN 帧的参考时钟，包括：根据所述第二相位差信息生成调整所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟的时钟控制信号。根据所述时钟控制信号调整所述本地第二 OTN 帧的参考时钟。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，生成所述本地相位差的周期 T 大于承载所述第一相位差信息的所述第二 OTN 帧的开销区的周期。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，所述标称时钟的频率 F 大于或者等于所述第二 OTN 帧的速率。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，所述频率 F 和所述周期 T 满足： $(F \times T \times 20 \text{ ppm}) < 64$ 。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，所述周期 T 小于 6ms，例如，4ms。在一些实施例中，周期 T 为在 4ms 附近的值，即约等于 4ms，可以略小于 4ms 或者略大于 4ms，例如周期 T 为 3.1ms 或者 4.9ms 等。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，所述频率 F 的范围为 100MHz-1GHz。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，所述承载所述第一相位差信息的所述第二 OTN 帧的开销区的周期为 3ms。

在一些实施例中，承载相位差信息的开销区的周期为 3ms 附近的值，即约等于 3ms，可以略小于 3ms 或者略大于 3ms，例如为 2.1ms 或者 3.9ms 等。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，恢复的所述第二 OTN 帧的服务层时钟的误差小于或者等于 100ns。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，所述第一相位差信息承载在所述第二 OTN 帧的多个开销区中。

在一些可实现的方式中，多个开销区中的每个开销区承载相同的第一相位差信息。当系统存在误码时，多个开销区中有些开销区承载的第一相位差信息可能会发生错误，因此，该方案能够在系统发生误码时，接收设备能够根据收到的多个相位差信息确定正确的第一相位差信息，从而提升系统性能。

在另一些可实现的方式中，当上游设备生成的第一相位差信息超出承载相位差信息的资源的最大容量，例如，当承载相位差信息的资源为 1 个字节，当第一相位差信息无法用 1 个字节承载完成时，可以将第一相位差信息分成多个部分相位差信息，并承载在不同的开销区中（例如相邻的开销区中），即多个开销区中的每个开销区承载的第一相位差信息的一部分，也就是，多个开销区承载的相位差信息的总体为第一相位差信息。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，所述多个开销区中的每个开销区承载所述第一相位差信息的字节数为 1。

结合第三方面，在第三方面的某些实现方式中，所述多个开销区中的每个开销区的多个字节承载多个所述第一相位差信息。基于该方案，可以使得获取该多个第一相位差信息的设备可以采用例如多数判

决等算法, 确定正确的第一相位差信息以提升系统误码。

结合第三方面, 在第三方面的某些实现方式中, 所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟的频率随时间变化的幅度在 $\pm 20\text{ppm}$ 范围内。

结合第三方面, 在第三方面的某些实现方式中, 所述根据所述第二相位差信息调整所述本地第二 OTN 帧的参考时钟, 包括: 根据所述第二相位差信息在时间段 T_c 内调整所述本地第二 OTN 帧的参考时钟, T_c 满足: $T_c \geq T/(20\text{ppm})$ 。

第四方面, 本申请实施例提供一种时钟恢复的方法, 该方法可以由中间设备或者由第中间设备的部件(如芯片或芯片系统等)执行, 本申请对此不作限定。该方法包括: 接收第一光传送网络 OTN 帧数据流。从所述第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟。从所述第一 OTN 帧数据流中获取所述第一 OTN 帧数据流承载的第二 OTN 帧携带的第一相位差信息, 所述第一相位差信息为所述第二 OTN 帧经过的所述中间设备的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和, 所述一组或多组相邻两个上游设备的相位差为整数个标称时钟周期, 其中, 所述标称时钟周期小于或者等于 10ns 。根据所述中间设备的时钟和所述服务层时钟生成本地相位差。累加所述本地相位差到所述第一相位差信息生成第二相位差信息。发送所述第二相位差信息到相邻的下游设备。

结合第四方面, 在第四方面的某些实现方式中, 所述方法还包括: 当所述第二相位差信息的绝对值大于预设阈值时, 将所述第二相位差信息拆分为多个部分相位差信息, 所述多个部分相位差信息承载在所述中间设备发送的第二 OTN 帧的多个开销区中。

基于上述方案, 将中间设备生成的第二相位差信息拆分后加入到承载至少两个开销区中。例如, 当该第二相位差信息超过 1 个范围(如一个字节)时, 可将该第二相位差信息分多次加入到多个开销区, 用以保证每个开销区不溢出, 能够降低相位差的抖动, 从而提升时钟恢复的准确性。

第五方面, 本申请实施例提供一种时钟恢复的方法, 该方法可以由中间设备或者由第中间设备的部件(如芯片或芯片系统等)执行, 本申请对此不作限定。该方法包括: 接收第一光传送网络 OTN 帧数据流。从所述第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟。从所述第一 OTN 帧数据流中获取所述第一 OTN 帧数据流承载的第二 OTN 帧携带的第一相位差信息, 所述第一相位差信息为所述第二 OTN 帧经过的所述中间设备的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和, 所述一组或多组相邻两个上游设备的相位差为整数个标称时钟周期, 其中, 所述标称时钟周期小于或者等于 10ns 。根据所述中间设备的时钟和所述服务层时钟生成本地相位差。生成第一信息, 所述第一信息包括第二相位差信息或故障信息, 所述第二相位差信息为累加所述本地相位差到所述第一相位差信息生成的, 所述第二相位差信息用于调整所述第二 OTN 帧的参考时钟, 所述第二 OTN 帧的参考时钟用于恢复所述第二 OTN 帧的时钟, 所述故障信息指示所述中间设备出现时钟异常。发送所述第一信息到相邻的下游设备。

基于上述方案, 当系统中某个设备在计算相位差信息时发现上游服务层时钟异常, 或者本地设备的本地时钟异常时, 不再生成新的相位差信息, 而是将故障信息发送给下游设备, 使得最终接收到故障信息的目的设备不再进行时钟恢复, 避免因时钟恢复错误导致的业务发送失败等情况, 提升了系统的性能。

结合第五方面, 在第五方面的某些实现方式中, 所述根据所述中间设备的时钟和所述服务层时钟生成本地相位差, 包括: 当确认收到所述第一相位差信息时, 记录所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟的周期数 $N1$, 和记录所述服务层时钟对应的所述标称时钟的周期数 $N2$; 计算 $N1$ 与 $N2$ 的差为所述本地相位差。

结合第五方面, 在第五方面的某些实现方式中, 所述确认收到所述第一相位差信息是通过识别所述第二 OTN 帧的帧头来确定的。

结合第五方面, 在第五方面的某些实现方式中, 所述根据所述中间设备的时钟和所述服务层时钟生成本地相位差, 包括: 根据所述中间设备的时钟和所述服务层时钟的快慢确定以较快的时钟或者较慢的时钟或者平均时钟作为基准时钟; 根据所述基准时钟生成所述本地相位差。

结合第五方面, 在第五方面的某些实现方式中, 当满足触发计算本地相位差的时刻时, 记录所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟的周期数 $N1$ 和所述服务层时钟对应的所述标称时钟的周期数 $N2$, 所述触发计算本地相位差的时刻为所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟和所述服务层时钟对应的所述标称时钟中周期数较早等于预设的期望周期 N 的时刻, 或者, 所述触发计算本地相位差的时刻为所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟和所述服务层时钟对应的所述标称时钟中周期数较晚等于预设的期望

周期N的时刻,所述本地相位差为N1与N2的差。

基于上述方案,计算本地相位差时,通过满足触发计算本地相位差的时刻,使得中间设备能够时钟选择一个较快的第二OTN帧参考时钟,或者选择一个较慢的第二OTN帧参考时钟作为本地基准时钟,从而提升时钟恢复的准确性。

结合第五方面,在第五方面的某些实现方式中, $N = F \times T$,其中F为所述标称时钟的频率,T为生成所述本地相位差的周期T。

结合第五方面,在第五方面的某些实现方式中,所述方法还包括:根据所述触发计算本地相位差的时刻确定所述中间设备的时钟对应的标称时钟作为基准时钟,所述基准时钟用于确定检测周期,或根据所述触发计算本地相位差的时刻确定所述服务层时钟对应的标称时钟作为基准时钟。

结合第五方面,在第五方面的某些实现方式中,所述方法还包括:当所述第二相位差信息的绝对值大于预设阈值时,将所述第二相位差信息拆分为多个部分相位差信息,所述多个部分相位差信息承载在所述中间设备发送的第二OTN帧的多个开销区中。

结合第五方面,在第五方面的某些实现方式中,所述方法还包括:获取所述第二OTN帧的多个开销区中的每个开销区的多个字节承载的多个相位差信息。根据所述多个所述相位差信息获取所述第一相位差信息。

结合第五方面,在第五方面的某些实现方式中,所述生成故障信息包括:记录所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟的周期数N1。记录所述服务层时钟对应的所述标称时钟的周期数N2。当N1不属于预设区间,和/或,N2不属于预设区间时,生成所述故障信息。

结合第五方面,在第五方面的某些实现方式中,所述预设区间为 $[N \times (1 - 20 \text{ ppm}), N \times (1 + 20 \text{ ppm})]$ 。

结合第五方面,在第五方面的某些实现方式中,所述生成故障信息包括:记录所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟的周期数N1。记录所述服务层时钟对应的所述标称时钟的周期数N2。当N1与N2的差值在预设时间内不等于-1、0或1,生成所述故障信息。

结合第五方面,在第五方面的某些实现方式中,所述预设时间为 $T_{\text{Nominal}} \times 1 / (40 \text{ ppm})$,或 $T_{\text{Nominal}} \times 25000$, T_{Nominal} 为所述标称时钟的周期。

在一些实现方式中,生成故障信息可以是在满足上述触发计算本地相位差的时刻的情况下生成的。即满足触发计算本地相位差的时刻时记录上述N1和N2的值,并判断N1不属于预设区间,和/或,N2不属于预设区间时,生成故障信息。和/或,当N1与N2的差值在预设时间内不等于-1、0或1,生成所述故障信息。

结合第五方面,在第五方面的某些实现方式中,所述第一信息承载在所述中间设备发送的第二OTN帧的开销区中,所述第一信息占用的字节数为至少一个字节,所述至少一个字节中的至少一个比特用于指示所述第一信息包括的信息为所述第二相位差信息或所述故障信息。

结合第五方面,在第五方面的某些实现方式中,所述第一信息包括故障信息,所述故障信息包括发生故障的中间设备距离目的设备的节点数量。

结合第五方面,在第五方面的某些实现方式中,所述发生故障的中间设备距离目的设备的节点数量由所述第一信息占用的至少一个字节中的至少五个比特承载。

第六方面,本申请实施例提供一种时钟恢复的系统。该系统包括发送设备、目的设备。或者该系统包括发送设备、目的设备和至少一个第一设备(也称为中间设备)。其中,目的用于执行如上述第一方面或其中任一种可能的实现方式中的方法,或,于执行如上述第三方面或其中任一种可能的实现方式中的方法。第一设备用于执行如上述第二方面或其中任一种可能的实现方式中的方法,或者用于执行如上述第四方面或其中任一种可能的实现方式中的方法,或者用于执行如上述第五方面或其中任一种可能的实现方式中的方法。

第七方面,本申请实施例提供了一种光传输网络OTN装置。该装置用于执行上述第一方面至第六方面中任一方面提供的方法。具体地,该光传输网络OTN装置可以包括用于执行第一方面或第一方面的上述任意一种实现方式提供的方法的单元和/或模块,或者,该光传输网络OTN装置可以包括用于执行第二方面或第二方面的上述任意一种实现方式提供的方法的单元和/或模块,如处理模块和收发模块,或者,该光传输网络OTN装置可以包括用于执行第三方面或第三方面的上述任意一种实现方式提供的方法的单

元和/模块, 如处理模块和收发模块, 或者, 该光传输网络 OTN 装置可以包括用于执行第四方面或第四方面的上述任意一种实现方式提供的方法的单元和/或模块, 如处理模块和收发模块, 或者, 该光传输网络 OTN 装置可以包括用于执行第五方面或第五方面的上述任意一种实现方式提供的方法的单元和/或模块, 如处理模块和收发模块。

在一种实现方式中, 该光传输网络 OTN 装置可以包括用于执行第一方面或第一方面的上述任意一种实现方式提供的方法的单元和/或模块, 或者用于执行第三方面或第三方面的上述任意一种实现方式提供的方法的单元和/或模块, 为接收端设备。收发可以是收发器, 或, 输入/输出接口。处理模块可以是至少一个处理器。可选地, 收发器可以为收发电路。可选地, 输入/输出接口可以为输入/输出电路。

或者, 该光传输网络 OTN 装置为接收端设备中的芯片、芯片系统或电路。收发模块可以是该芯片、芯片系统或电路上的输入/输出接口、接口电路、输出电路、输入电路、管脚或相关电路等。处理模块可以是至少一个处理器、处理电路或逻辑电路等。

在另一种实现方式中, 该光传输网络 OTN 装置可以包括用于执行第二方面或第二方面的上述任意一种实现方式提供的方法的单元和/或模块, 或者用于执行第四方面或第四方面的上述任意一种实现方式提供的方法的单元和/或模块, 或者用于执行第五方面或第五方面的上述任意一种实现方式提供的方法的单元和/或模块, 为发送端设备。收发模块可以是收发器, 或, 输入/输出接口。处理模块可以是至少一个处理器。可选地, 收发器可以为收发电路。可选地, 输入/输出接口可以为输入/输出电路。

或者, 该光传输网络 OTN 装置为发送端设备中的芯片、芯片系统或电路。收发模块可以是该芯片、芯片系统或电路上的输入/输出接口、接口电路、输出电路、输入电路、管脚或相关电路等。处理模块可以是至少一个处理器、处理电路或逻辑电路等。

第八方面, 本申请实施例提供了一种处理器, 用于执行上述各方面提供的方法。对于处理器所涉及的发送和获取/接收等操作, 如果没有特殊说明, 或者, 如果未与其在相关描述中的实际作用或者内在逻辑相抵触, 则可以理解为处理器输出和接收、输入等操作, 也可以理解为由射频电路和天线所进行的发送和接收操作, 本申请对此不做限定。

第九方面, 本申请实施例提供了一种计算机可读存储介质。该计算机可读存储介质存储用于设备执行的程序代码, 该程序代码包括用于执行上述第一方面或第二方面或第三方面或第四方面或第五方面的任意一种实现方式提供的方法。

第十方面, 本申请实施例提供了一种包含指令的计算机程序产品。当该计算机程序产品在计算机上运行时, 使得计算机执行上述第一方面或第二方面或第三方面或第四方面或第五方面的任意一种实现方式提供的方法。

第十一方面, 本申请实施例提供了一种芯片。芯片包括处理器与通信接口, 处理器通过通信接口读取存储器上存储的指令, 执行上述第一方面或第二方面或第三方面或第四方面或第五方面的任意一种实现方式提供的方法。

可选地, 作为一种实现方式, 芯片还包括存储器, 存储器中存储有计算机程序或指令, 处理器用于执行存储器上存储的计算机程序或指令, 当计算机程序或指令被执行时, 处理器用于执行上述第一方面或第二方面或第三方面或第四方面或第五方面的任意一种实现方式提供的方法。

上述第三方面至第十一方面带来的有益效果具体可以参考第一方面或第二方面或第五中有益效果的描述, 此处不再赘述。

附图说明

图1为本申请实施例适用的一种 OTN 光网络系统的示意图。

图2为一种可能的网络设备硬件结构示意图。

图3为一种适用于本申请实施例的 OTN 帧的帧结构的示意图。

图4为本申请实施例提供了一种时钟恢复的方法 400 的示意性流程图。

图5为适用于本申请实施例的第一 OTN 帧和第二 OTN 帧的映射关系示意图。

图6为本申请实施例提供了一种计算两个相邻设备的相位差的示意图。

图7为本申请实施例提供的第一种第二 OTN 帧结构的示意图。

图8为本申请实施例提供的第二种第二 OTN 帧结构的示意图。

图9为本申请实施例提供的第三种第二 OTN 帧结构的示意图。

图 10 为本申请实施例提供的一种目的设备生成频率偏差的流程示意图。

图 11 为本申请实施例提供的相位差信息随时间波动的示意图。

图 12 为本申请实施例提供的在约束条件下目的设备接收到的相位差信息的示意图。

图 13 为第一种频率偏差计算模块 1021 的计算流程示意图。

图 14 为第二种频率偏差计算模块 1022 的计算流程示意图。

图 15 为本申请实施例提供的一种时钟恢复的方法 1500 的示意性流程图。

图 16 为本申请实施例提供的中间设备的处理流程示意图。

图 17 为本申请实施例提供的目的设备的处理流程示意图。

图 18 为本申请实施例提供的一种时钟恢复的方法 1800 的示意性流程图。

图 19 为第一信息占用的字节数为一个字节时的第一信息的结构示意图。

图 20 为本申请实施例提供的一种时钟恢复的方法 2000 的示意性流程图。

图 21 为第一种计算相位差的流程示意图。

图 22 为第二种计算相位差的流程示意图。

图 23 为中间设备均采用本地时钟作为基准时钟与本发明实施例提供的采用统一较快或较慢的时钟作为基准时钟的仿真对比结果。

图 24 为中间设备均采用本地时钟作为基准时钟与本发明实施例提供的采用统一较快或较慢的时钟作为基准时钟的仿真对比结果。

图 25 为中间设备均处于极端频偏 ($\pm 20\text{ppm}$) 时采用统一较快或较慢的时钟作为基准时钟的仿真结果。

图 26 为本申请实施例提供的一种 OTN 装置 1500 的结构示意图。

图 27 为本申请实施例提供的一种可能的 OTN 设备的结构示意图。

图 28 为本申请实施例提供的第三种计算相位差的流程示意图。

图 29 为图 28 中触发计算本地相位差的时刻的三种可能类型。

图 30 为本申请实施例提供的第四种计算相位差的流程示意图。

图 31 为针对中间设备采用确认收到第一相位差信息时进行相位差计算的方案仿真得到的时钟性能。

具体实施方式

下面将结合附图，对本申请中的技术方案进行描述。

为了便于理解本申请实施例，作出以下说明。

第一、在下文示出的本申请实施例中的文字说明或附图中的术语“第一”、“第二”等以及各种数字编号仅为描述方便进行的区分，而不必用于描述特定的顺序或者先后次序，并不用来限制本申请实施例的范围。例如，区分不同的相位差信息等。

第二、下文示出的本申请实施例中的术语“包括”以及它们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含，例如，包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元，而是可以包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其他步骤或者单元。

第三、在本申请实施例中，“示例性的”或者“例如”等词用于表示例子、例证或说明，被描述为“示例性的”或者“例如”的实施例或设计方案不应被解释为比其它实施例或设计方案更优选或更具优势。使用“示例性的”或者“例如”等词旨在以具体方式呈现相关概念，便于理解。

第四、在本申请实施例中，业务数据指的是光传送网络可以承载的业务。例如，可以是以太网业务、分组业务、无线回传业务等。业务数据也可以称业务信号、客户数据或客户业务数据。应理解，本申请实施例中对于业务数据的类型不做限定。

第五、在本申请中，“用于指示”包括直接指示和间接指示。当描述某一信息用于指示 A 时，包括该信息直接指示 A 或间接指示 A，而并不代表该信息中一定携带有 A。

第六、下文示出的本申请实施例中，仅以光传送网 (optical transport network, OTN) 中的 OTN 帧作为示例对实施例进行说明的，应理解，对于其他承载 OTN 帧，或者城域传送网 (metro transport network, MTN) 帧，或者随着 OTN 技术以及 MTN 技术的发展，可能定义出新的类型的 OTN 帧和 MTN 帧，也适用于本申请。

第七、在本申请实施例中，设备也可以称为节点或者节点设备，发送设备可以称为发送节点、发送

端或源节点。同样的，接收设备可以称为接收端设备、接收端或者目的设备或者宿节点。中间设备可以称为中间节点。

第八、在本申请实施例中，“至少一个”是指一个或者多个，“多个”是指两个或两个以上。“和/或”描述关联对象的关联关系，表示可以存在三种关系。例如，A 和/或 B，可以表示：单独存在 A，同时存在 A 和 B，单独存在 B 的情况，其中 A，B 可以是单数或者复数。字符“/”一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。“以下至少一项(个)”或其类似表达，是指的这些项中的任意组合，包括单项(个)或复数项(个)的任意组合。例如，a、b 和 c 中的至少一项(个)，可以表示：a，或 b，或 c，或 a 和 b，或 a 和 c，或 b 和 c，或 a、b 和 c，其中 a，b，c 可以是单个，也可以是多个。

第九、在本申请实施例中，预设可包括预先定义，例如，协议定义。其中，“预先定义”可以通过在设备中预先保存相应的代码、表格或其他可用于指示相关信息的方式来实现，本申请对于其具体的实现方式不做限定。

图 1 为本申请实施例适用的一种 OTN 光网络系统的示意图。通常，OTN 光网络由多个设备通过光纤连接而成，可以根据具体需要组成如线型、环形和网状等不同的拓扑类型。在图 1 所示的 OTN 100 中，包括 8 个 OTN 设备 101，即设备 A-H。其中，102 指示光纤，用于连接两个设备，103 指示客户业务接口，用于接收或发送客户业务数据。如图 1 所示，OTN 100 用于为客户设备 1-3 传输业务数据。客户设备通过客户业务接口跟 OTN 的设备相连。例如，图 1 中，客户设备 1-3 分别和 OTN 设备 A，H 和 F 相连。在图 1 中，当客户设备 1 需要与客户设备 3 通信时，其可以通过 OTN 设备 A-F 来发送业务数据，示例地，OTN 设备 A 为发送设备，OTN 设备 B-E 为中间设备，OTN 设备 F 为接收设备。

一般地来说，OTN 设备分为光层设备、电层设备以及光电混合设备。光层设备指的是能够处理光层信号的设备，例如：光放大器（也被称为光线路放大器）、光分插复用器。光放大器用于对光信号进行放大，以支持在保证光信号的特定性能的前提下传输更远的距离。光分插复用器用于对光信号进行空间的变换，从而使其可以从不同的输出端口（有时也称为方向）输出。电层设备指的是能够处理电层信号的设备，例如：能够处理 OTN 信号的设备。光电混合设备指的是具备处理光层信号和电层信号能力的设备。需要说明的是，根据具体的集成需要，一个 OTN 设备可以集合多种不同的功能。本申请提供的技术方案适用于不同形态和集成度的包含电层功能的 OTN 设备。

需要说明的是，本申请实施例中的 OTN 设备使用的数据帧结构是 OTN 帧，用于承载各种业务数据，并提供丰富的管理和监控功能。OTN 帧可以是光数据单元帧（optical data unit k, ODUk）、ODUCn、ODUflex，光通道传输单元 k（optical transport unit k, OTUk），OTUCn，或灵活 OTN（FlexO）帧等。其中，ODU 帧和 OTU 帧区别在于，OTU 帧包括 ODU 帧和 OTU 开销。k 代表了不同的速率等级，例如，k=1 表示 2.5Gbps，k=4 表示 100Gbps；Cn 表示可变速率，具体为 100Gbps 的正整数倍的速率。除非特殊的说明，ODU 帧指的是 ODUk、ODUCn 或 ODUflex 的任意一种，OTU 帧指的是 OTUk、OTUCn 或者 FlexO 的任意一种。随着 OTN 技术发展，可能定义出新的类型的 OTN 帧，也适用于本申请。

图 2 为一种可能的网络设备硬件结构示意图。例如，图 1 中的设备 A。具体地，OTN 设备 200 包括支路板 201、交叉板 202、线路板 203、光层处理单板（图 2 未示出）以及系统控制和通信类单板 204。根据需要，网络设备包含的单板类型和数量可能不相同。例如，作为核心节点的网络设备没有支路板 201。又如，作为边缘节点的网络设备有多个支路板 201，或者没有光交叉板 202。再如，只支持电层功能的网络设备可能没有光层处理单板。

支路板 201、交叉板 202 和线路板 203 用于处理 OTN 的电层信号。其中，支路板 201 用于实现各种客户业务的接收和发送，例如 SDH 业务、分组业务、以太网业务和前传业务等。更进一步地，支路板 201 可以划分为客户侧光收发模块和信号处理器。其中，客户侧光收发模块也可以称为光收发器，用于接收和/或发送业务数据。信号处理器用于实现对业务数据到数据帧的映射和解映射处理。交叉板 202 用于实现数据帧的交换，完成一种或多种类型的数据帧的交换。线路板 203 主要实现线路侧数据帧的处理。具体地，线路板 203 可以划分为线路侧光模块和信号处理器。其中，线路侧光模块可以称为光收发器，用于接收和/或发送数据帧。信号处理器用于实现对线路侧的数据帧的复用和解复用，或者映射和解映射处理。系统控制和通信类单板 204 用于实现系统控制。具体地，可以从不同的单板收集信息，或将控制指令发送到对应的单板上。需要说明的是，除非特殊说明，具体的组件（例如信号处理器）可以是一个或多个，本申请不做限制。还需要说明的是，对设备包含的单板类型以及单板的功能设计和数量，本申请不做任何限制。需要说明的是，在具体的实现中，上述两个单板也可能设计为一个单板。此外，网

网络设备还可能包括用于备用的电源、用于散热的风扇等。

图3为适用于本申请实施例的OTN帧的帧结构的示意图。如图3所示，OTN帧为一种4行多列的帧结构，包括开销区和净荷区。在一种可能的实例中，OTN帧的净荷区划分为多个净荷块（payload block, PB）。每个PB占据净荷区中固定长度（也可以称为大小）的位置，例如128个字节。在图3所示的OTN帧结构中，前4行*16列为OTU/ODU/光净荷单元（optical payload unit, OPU）的开销区（用于承载ODUk开销，OPU开销等），其后为OPU净荷区。具体地，OTN帧结构可以参考目前协议中相关描述，这里不再赘述。

作为OTN技术中关键技术之一的光业务单元（optical service unit, OSU），主要用于承载10M~100Gbps速率客户业务。通过OSU承载低速小颗粒业务信号，再将OSU映射进ODUk/ODUflex可以降低业务的传输时延，解决了原有OTN技术中承载低速效率小颗粒业务效率偏低的问题。由于OTN系统中目的设备恢复出正确的服务层时钟信息依赖于OTN数据帧和业务之间正确的映射和解映射过程。同时因为低速小颗粒业务的划分，使得OTN系统中承载业务的端口数量激增，若对于每个中间设备采用直接恢复每个OSU数据帧装载的业务数据以及再生对应于该设备的时钟信息时，该过程将引入极高的处理复杂度和巨大的开销，因此，简化OSU业务的时钟恢复是需要解决的技术问题。

为了解决上述问题，本申请提出了一种时钟恢复的方法，通过累加相邻设备之间产生的相位差（phase difference, PD）得到的相位差信息，使得目的设备通过相位差信息对OTN帧的时钟进行恢复。该方法避免了提取通信链路中每个设备的时钟信息的过程，简化了时钟恢复的处理流程，实现了高可靠性的时钟恢复。

以下结合附图详细说明本申请所提供的时钟恢复的方法。

图4为本申请实施例提供的一种时钟恢复的方法400的示意性流程图。如图4所示，该方法400是从设备交互的角度示出的示意性流程图，其中，发送设备可以是OTN设备，或者由OTN设备的部件（如芯片或芯片系统等）执行。接收设备可以是OTN设备，或者由OTN设备的部件（如芯片或芯片系统等）执行。

应理解，在实施例提供的一种时钟恢复的方法中，中间设备可以一个或者多个，当然在一些场景中，也可以没有中间设备。为了说明的简便性，在以下对本申请实施例提供的时钟恢复的方法流程进行说明时，是以一个中间设备（即中间设备#1）为例进行说明的。

具体的，图4所示的方法400包括如下多个步骤。

S410，发送设备发送第一OTN帧数据流。

具体地，当发送设备要将业务数据传输至目的设备时，发送设备向目的设备发送第一OTN帧数据流。该第一OTN帧数据流承载第二OTN帧携带的第一相位差信息。其中，第一OTN帧数据流是指该数据流的帧格式为OTN帧格式。

示例地，该第一OTN帧为ODU帧，例如，可以是ODUk帧或ODUflex帧。第二OTN帧为OSU帧。如图5所示，一个ODU帧的净荷区中交织映射有n个OSU帧。当每个OSU帧包括4N个字节时，对于ODU帧的任意一个时隙，其用于承载n个OSU帧的部分信息。示例性地，对于ODU帧的第一个时隙来说，可以用于承载n个OSU帧每个OSU帧的第一个字节所承载的信息。其中，OSU帧的每个字节承载的信息可以是业务数据或者填充。

需要说明的是，在本申请实施例中，第二OTN帧携带的相位差信息（包括下文中的第一相位差信息、第二相位差信息）是指第二OTN帧经过的所有设备中一组或多组相邻两个设备的相位差的和。

在一种可实现的方式中，相邻两个设备（以下以第一设备和第二设备为例进行说明，其中第一设备为第二设备相邻的上游设备）的相位差是通过该两个相邻设备的第二OTN帧的参考时钟的周期数作差得到的。应理解，当采用这种方式获得相位差时，该相位差为整数，表示该相邻两个设备的第二OTN帧的参考时钟之间偏差的整数个周期数，可以为正整数、负整数或者0。示例性地，当第二设备计算与第一设备的相位差时，第二设备可以通过获取第一设备的第二OTN帧的参考时钟的周期数以及本地第二OTN帧的参考时钟周期数，并将第一设备的第二OTN帧的参考时钟的周期数与本地第二OTN帧的参考时钟周期数作差得到相位差。

需要说明的是，在本申请实施例中，计算第二OTN帧的参考时钟的周期数时采用的频率间隔称为标称时钟，即第二OTN帧的参考时钟的周期数每增加1时第二OTN帧的参考时钟经过的频率。示例性地，该标称时钟可以是10MHz、78.125MHz、100MHz或300MHz等。应理解，对于每个设备来说，该标称时

钟是相同的。

示例性地，第二设备获取的第一设备的第二 OTN 帧的参考时钟是通过服务层时钟除以一个固定的倍率 X 得到的，该固定的倍率 X 可以是预设在每个设备中的，同时对于每个设备均相同。换句话说，对于每个设备来说，其发送的第一 OTN 帧数据流对应的服务层时钟与本地的第二 OTN 帧的参考时钟的比值为相同的固定倍率，即成正比例关系。因此，当第二设备接收到来自第一设备的第一 OTN 帧数据流后，可根据第一 OTN 帧数据流获取服务层时钟，并将该获取到的服务层时钟除以固定倍率 X 就可得到第一设备的第二 OTN 的参考时钟。第二设备获取的第二设备的第二 OTN 帧的参考时钟可以是本地晶振时钟或者是本地晶振时钟与一个固定的倍率 Y 的比值得到的。例如，当本地晶振时钟与第二 OTN 帧的参考时钟的数量级相同时第二设备获取的第二设备的第二 OTN 帧的参考时钟可以是本地晶振时钟。应理解，由于相邻设备的相位差是通过相邻设备的参考时钟的周期数作差得到的，因此，相邻设备的第二 OTN 帧的参考时钟为同一个数量级，例如与标称时钟为相同的数量级。此时，上述固定倍率 X 可以通过服务层时钟与标称时钟的倍率关系获得，类似的，固定倍率 Y 可以通过第二设备的本地晶振时钟与标称时钟的倍率关系获得。

需要说明的是，第一 OTN 帧数据流对应的服务层时钟指的是第一 OTN 帧数据流的发送周期或者发送频率。

应理解，对于不同速率的第一 OTN 帧来说，其对应的第一 OTN 帧数据流的服务层时钟是不同的。因此，当与相同的本地配置的第二 OTN 帧的参考时钟做比值时，将产生不同的固定倍数。

应理解，第一设备和第二设备的第二 OTN 帧的参考时钟的周期数是相对于同一个预设时间段计算的。示例性地，如图 6 所示，第二设备获取服务层时钟后，在预设时间内计算第一设备的第二 OTN 帧的参考时钟周期数 $n1$ ；同时，计算相同时间内本地第二 OTN 帧的参考时钟的周期数为 $n2$ ，随后将 $n1$ 与 $n2$ 作差得到该第二设备与第一设备的相位差。其中，该第二设备与第一设备之间的相位差可以是 $n1-n2$ 或 $n2-n1$ ，本申请并不限定。

但应理解的是，对于第二 OTN 帧经过的任意一个设备来说，相位差的计算规则是统一的，即每个设备在计算本设备与相邻上游设备的相位差时，均通过本设备的第二 OTN 帧的参考时钟的周期数减去相邻的上游设备的第二 OTN 帧的参考时钟的周期数。或者，每个设备在计算本设备与相邻上游设备的相位差时，均通过相邻的上游设备的第二 OTN 帧的参考时钟的周期数减去本设备的第二 OTN 帧的参考时钟的周期数。

需要说明的是，上述预设时间可以理解为第二设备生成与第一设备之间的相位差的周期 T 或者第二设备计算相位差的周期 T ，可以称为相位差计算周期 T 或者相位差生成周期 T 。换句话说，每隔一个周期 T 的时间，第二设备生成或者计算一次相位差。

此外，还需要说明的是，为了使得每个设备的第二 OTN 帧的参考时钟的频率较为稳定，在本申请实施例中每个设备的第二 OTN 帧的参考时钟由恒温晶振生成。应理解，通过恒温晶振产生的第二 OTN 帧的参考时钟的频率为稳定的频率是指通过恒温晶振产生的第二 OTN 帧的参考时钟的频率随时间变化的幅度在预设范围内。

可选地，第二 OTN 帧携带的相位差信息承载在第二 OTN 帧的开销区中。示例性地，当第二 OTN 帧为 OSU 帧时，相位差信息承载在 OSU 帧的开销区中，并占用 OSU 帧的开销区中的至少一个字节。例如，相位差信息可以承载在 OSU 帧中的速率调整控制（justification control, JC）开销中，占用 JC 开销的一个字节或者多个字节。

应理解，当第二 OTN 帧携带的相位差信息占用多个字节时，该多个字节承载相同的相位差信息，同时该多个字节可以为连续的多个字节或者而非连续的多个字节。在一些实施例中，当第二 OTN 帧携带的相位差信息占用多个字节时，对于接收设备来讲，可以基于多个相位差信息通过诸如多数判决等算法来确定上游设备发送的相位差信息。通过该方案，能够在系统出现误码时实现对相位差信息的校正，从而提升系统的抗误码性能。

应理解，对于发送设备来说，由于发送设备为发送第一 OTN 帧数据流的设备，因此，发送设备不产生相位差。相应地，第二 OTN 帧中用于承载相位差信息的开销区不承载任何信息。换句话说，当发送设备发送第一 OTN 帧时，第一 OTN 帧中携带的第一相位差信息可以理解为 0。

在一些实施例中，承载第二 OTN 帧携带的相位差信息的开销区的周期小于或等于第二 OTN 帧的周期的 $1/2$ 。例如，承载第二 OTN 帧携带的相位差信息的开销区的周期可以是第二 OTN 帧的周期的 $1/2$ 、

1/3 或 1/4 等, 本申请不作限定。换句话说, 在一个第二 OTN 帧中, 可以存在多个不连续的用于相位差信息的开销区, 相邻两个开销区之间的时间间隔可以称为开销区的一个周期。其中, 承载第二 OTN 帧携带的相位差信息的开销区的周期可以称为第二 OTN 帧的开销区的周期, 或相位差信息的周期。可以理解为获取第二 OTN 帧携带的相位差信息的设备在第二 OTN 帧的开销区中获取第二 OTN 帧携带的相位差信息的周期等。

图 7 为本申请实施例提供的第一种第二 OTN 帧结构的示意图, 该第二 OTN 帧的开销区的周期等于第二 OTN 帧周期的 1/2。如图 7 所示, 该第二 OTN 帧的发送周期为 $2n$ 个时隙, 当该第二 OTN 帧发送第一个开销区后, 经过 n 个时隙后, 发送第二个开销区。应理解, 图 7 所示的第二 OTN 帧的发送周期中包含两个开销区仅为示例而非限定。即本申请对于第二 OTN 帧的发送周期中包含的开销区的数量不作限定。

图 8 为本申请实施例提供的第二种第二 OTN 帧结构的示意图, 该第二 OTN 帧的开销区的周期等于第二 OTN 帧周期的 1/3。如图 8 所示, 该第二 OTN 帧的发送周期为 $3n$ 个时隙, 当该第二 OTN 帧发送第一个开销区后, 经过 n 个时隙后, 发送第二个开销区。应理解, 图 8 所示的第二 OTN 帧的发送周期中包含的开销区的数量仅为示而非限定。

图 9 为本申请实施例提供的第三种第二 OTN 帧结构的示意图, 该第二 OTN 帧的开销区的周期等于第二 OTN 帧周期的 1/4。如图 9 所示, 该第二 OTN 帧的发送周期为 $4n$ 个时隙, 当该第二 OTN 帧发送第一个开销区后, 经过 n 个时隙后, 发送第二个开销区。应理解, 图 9 所示的第二 OTN 帧的发送周期中包含的开销区的数量仅为示而非限定。

此外, 在本申请实施例中, 业务数据指的是 OTN 可以承载的业务, 包括但不限于: 固定比特率 (constant bit rate, CBR) 业务、可变比特率 (variable bit rate, VBR) 业务等。CBR 是以恒定比特率方式进行编码, 作为示例而非限定, CBR 业务可以包括但不限于多媒体流业务, 例如视频流业务、虚拟现实 (virtual reality, VR) 业务、增强现实 (augmented reality, AR) 业务等。VBR 是根据业务数据的复杂程度即时确定使用的比特率, 作为示例而非限定, VBR 业务可以包括语音业务和/或视频业务等。

S420, 中间设备#1 从第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟和第二 OTN 帧的第一相位差信息。

具体地, 中间设备#1 接收到来自第一 OTN 帧数据流后, 从第一 OTN 帧的净荷区中获取来自发送设备的服务层时钟, 并通过解映射得到第二 OTN 帧, 从第二 OTN 帧的开销区中获取发送设备发送的第一相位差信息, 该第一相位差信息为 0。

具体地, 上述服务层时钟可以是在发送设备处发送设备按照服务层时钟读取业务数据流, 然后按照服务层时钟将读取的业务数据流封装到 OTN 帧净荷区中, 当中间设备#1 接收到第一 OTN 帧数据流之后, 从第一 OTN 帧获取该服务层时钟。

应理解, 当系统中存在多个中间设备时, 对于其他中间设备, 例如中间设备#N ($N \neq 1$), 该中间设备#N 接收的第一 OTN 帧数据流来自与该中间设备#N 相邻的上游中间设备。此时, 中间设备#N 获取与其相邻的上游设备发送的服务层时钟, 同时获取第二 OTN 帧的相位差信息, 该中间设备#N 获取的第二 OTN 帧的相位差信息为中间设备#N 的上游设备的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和。示例性地, 当该中间设备#N 为中间设备#3 时, 此时, 发送设备与中间设备#3 之间还存在中间设备#1 和中间设备#2, 因此, 该中间设备#3 接收的第一 OTN 帧数据流来自中间设备#2, 同时获取的服务层时钟为中间设备#2 发送的服务层时钟。该中间设备#3 获取的相位差信息为中间设备#1 与发送设备的相位差、中间设备#2 与中间设备#1 的相位差之和。

S430, 中间设备#1 根据服务层时钟生成中间设备#1 与发送设备的相位差。

具体地, 中间设备#1 根据服务层时钟计算出与发送设备的第二 OTN 帧的参考时钟, 并利用发送设备的第二 OTN 帧的参考时钟与本地第二 OTN 帧的参考时钟生成相位差。该生成相位差的方法可以参考上述 S410 中的相关说明, 例如采用周期数的差计算中间设备#1 与发送设备的相位差。

应理解, 当系统中存在多个中间设备时, 对于其他中间设备#N ($N \neq 1$), 中间设备#N 计算与其相邻的上游设备的相位差时, 同样是根据服务层时钟计算出与相邻的上游设备的第二 OTN 帧的参考时钟, 并采用诸如参考时钟周期数的差计算相位差。

S440, 中间设备#1 生成第二相位差信息。

具体地, 中间设备#1 获取第一相位差信息, 并计算出中间设备#1 与发送设备的相位差后, 将第一相位差信息、中间设备#1 与发送设备的相位差相加得到第二相位差信息。

应理解, 当第一相位差信息承载在第二 OTN 帧的开销区中时, 该中间设备#1 生成的第二相位差信息

同样承载在第二 OTN 帧的开销区中。

还应理解，当网络中存在多个中间设备时，对于其他中间设备#N (N 不等于 1)，中间设备#N 计算出中间设备#N 与该中间设备#N 相邻的上游设备的相位差后，与从第一 OTN 帧数据流中获取的相位差信息相加得到新的相位差信息，并通过第二 OTN 帧携带该新的相位差信息（例如承载在第二 OTN 帧的开销区中），发送给中间设备#N 的下游设备。

S450，中间设备#1 发送第一 OTN 帧数据流。

具体地，当中间设备#1 生成第二相位差信息，将第二相位差信息携带在第二 OTN 帧中，同时将第二 OTN 帧映射到第一 OTN 帧中，并向目的设备（即第一中间设备#1 的下游设备）发送第一 OTN 帧数据流。

需要说明的是，由于中间设备#1 对第一 OTN 帧数据流携带的信息进行了处理，例如中间设备#1 发送第一 OTN 帧数据流中承载的第二 OTN 帧携带的相位差信息，是将 S410 中发送设备发送的第一 OTN 帧数据流中承载的第二 OTN 帧携带的相位差信息更新后的相位差信息，因此中间设备#1 发送第一 OTN 帧数据流与发送设备发送的第一 OTN 帧数据流中承载的数据内容不同，但对应的第一 OTN 帧的帧格式是相同的。同样的，承载第一相位差信息的第二 OTN 帧，与承载第二相位差信息的第二 OTN 帧是不同的，但帧格式是相同的，均为第二 OTN 帧格式。

应理解，当第二相位差信息携带在第二 OTN 帧的开销区中时，承载第二 OTN 帧的第二相位差信息的开销区的周期小于或者等于第二 OTN 帧的周期的 1/2。

当目的设备接收到来自中间设备#1 的第一 OTN 数据流后，目的设备根据从第一数据流中获取的第二相位差信息和从第一 OTN 数据流中获取的服务层时钟调整第二 OTN 帧的参考时钟。

S460，目的设备从第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟和第二 OTN 帧的第二相位差信息。

具体地，目的设备接收到中间设备#1 发送的第一 OTN 帧数据流后，从第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟，并通过解映射得到第二 OTN 帧，从第二 OTN 帧中（例如第二 OTN 帧的开销区中）获取第二相位差信息。

S470，目的设备根据服务层时钟和第二相位差信息调整第二 OTN 帧的参考时钟。

具体地，目的设备获取服务层时钟后，首先根据该服务层时钟计算出中间设备#1 的第二 OTN 帧的参考时钟，通过将中间设备#1 的第二 OTN 帧的参考时钟与目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟计算出相位差，随后将获取的第二相位差信息与计算的相位差求和（可以称为第三相位差信息），通过该第三相位差信息调整第二 OTN 帧的参考时钟，以使目的设备调整后的第二 OTN 帧的参考时钟与发送设备发送的第二 OTN 帧的参考时钟在预设的误差范围内。

其中，目的设备计算与中间设备#1 的相位差时，可以通过将预设时间内的中间设备#1 的第二 OTN 帧的参考时钟的周期数与目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟的周期数作差得到的。

应理解，当目的设备调整的第二 OTN 帧的参考时钟与发送设备发送的第二 OTN 帧的参考时钟在上述预设的误差范围内时，可以认为目的设备将第二 OTN 帧的参考时钟与发送设备发送的第二 OTN 帧的参考时钟调整为一致。

示例性地，当目的设备根据相位差信息（包括第二相位差信息，第三相位差信息）调整目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟时，目的设备首先根据相位差信息生成频率偏差，并依据该频率偏差对第二 OTN 帧的参考时钟进行调整。

在一种可能的实现方式中，该目的设备生成频率偏差的流程示意图如图 10 所示。其中，PD 计算模块 101、频率计算模块 102 和求和模块 103 为目的设备中的模块。具体地，PD 计算模块用于输入目的设备从第一 OTN 帧中获取的服务层时钟，并输出目的设备与中间设备#1 的相位差。求和模块 103 用于将 PD 计算模块 101 输出的目的设备与中间设备#1 的相位差与目的设备从第二 OTN 帧中获取的第二相位差信息求和，输出第三相位差信息。频率计算模块 102 用于根据第二相位差信息或者第三相位差信息计算频率偏差。

示例性地，假设目的设备根据获取的服务层时钟计算目的设备与中间设备#1 的相位差的周期（也就是目的设备生成相位差的周期）为第一周期。同时，目的设备获取第二相位差信息的周期（例如承载第二相位差信息的第二 OTN 帧的开销区的周期）为第二周期。当第二周期小于第一周期时，会出现一些时刻，目的设备的频率偏差计算模块 102 计算频率偏差时仅获取到第二相位差信息，此时，可以认为目的设备计算的相位差为 0，即频率偏差计算模块 102 输入的第三相位差信息为第二相位差信息与 0 之和。当频率偏差计算模块 102 获取到第二相位差信息的同时获取到目的设备与中间设备#1 的相位差时，频率偏

差计算模块 102 同时输入第二相位差信息和目的设备与中间设备#1 的相位差。或者, 当目的设备的频率偏差计算模块 102 计算频率偏差时仅获取到第二相位差信息时, 可以认为频率偏差计算模块 102 计算频率偏差时仅是根据第二相位差信息计算的。

应理解, 计算模块 102 根据第二相位差信息或者第三相位差信息计算频率偏差时, 是通过将第二相位差信息或者第三相位差信息与标称时钟相乘得到的。

基于上述方案, 本申请实施例提供的恢复时钟的方法, 采用计算各设备的相位差代替计算相邻设备的频差来调整目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟, 以恢复第二 OTN 帧时钟。本申请的方案通过相位差累计可以实现无损的第二 OTN 帧的参考时钟的估计, 从而能够提升对目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟调整的准确性, 进而提升恢复第二 OTN 帧的时钟的准确性, 实现提升系统性能的目的。

需要说明的是, 随着业务数据流的传输时间的累计, 如图 11 所示, 在目的设备处生成的上述第三相位差信息趋近于 0, 即目的设备接收到的上游设备的相位差之和随着时间的累计趋于 0。但是可以观察到局部的 PD 出现了不均匀的波动。这些波动意味着累计的相位差之和存在系统低频噪声, 即在采用上述相位差信息恢复时钟时, 存在系统性的相位抖动。为了消除这些系统性的噪声, 本申请实施例针对每个设备的参数进行统一设计, 使得目的设备能够在获取的上游设备的相位差之和中消除这种系统性的噪声和相位抖动。

在一种可实现的方式中, 设置系统中的每个设备的第二 OTN 帧的参考时钟的频率 F 大于或者等于第二 OTN 帧的速率, 例如可以是 10MHz-1GHz。示例性地, 当第二 OTN 帧为 OSU 帧时, 可以设置每个设备的第二 OTN 帧的参考时钟的频率 F 最小为 10MHz。

在另一种可实现的方式中, 设置系统中的相位差信息的周期 T 大于第二 OTN 帧的周期, 例如可以是 3ms-6ms。即每个设备生成的与其上游设备的相位差信息的周期 T 大于第二 OTN 帧的周期。示例性地, 当第二 OTN 帧为 OSU 帧时, 可以设置每个设备生成的与其上游设备之间的相位差信息的周期 T 约为 4ms。其中, 相位差信息的周期 T 可以参考上述的相关说明, 此处不再赘述。

在又一种可实现的方式中, 设置系统中的每个设备的第二 OTN 帧的参考时钟的频率 F 、相位差信息的周期 T , 满足如下关系:

$$(F * T * 20\text{ppm}) < 10。$$

其中, ppm 为每百万单位 (parts per million)。

图 12 为本申请实施例提供的一种在参数约束下的相位差分布图。如图 12 所示, 当采用每个设备的第二 OTN 帧的参考时钟的频率 F 最小为 10MHz, 相位差信息的周期 T 为 4ms, 且承载相位差信息的开销区的周期为 3ms 时, 相位差信息以一种对称并且稀疏的方式出现抖动, 即通过上述约束参数, 可以将系统性的相差抖动规律化, 从而可以通过自然相位纠正使系统性的噪声得到优化。

在一种可实现的方式中, 为了消除系统性的相位抖动, 结合图 10 所示的目的设备的模块, 图 13 为第一种频率偏差计算模块 1021 的计算流程示意图。如图 13 所示, 当频率偏差计算模块 102 收到输入的相位差信息后, 可以将相位差信息分为两路, 一路通过滑动平均 (moving average, MA) 算法来吸收由量化误差和自然恢复引起的瞬时相位差波动。另一路先将相位差信息累加 (accumulate, ACC), 例如通过累加器, 生成最终的相位差值, 再通过滑动平均算法消除累计相位差引起的波动。则频率偏差计算模块 102 输出的频率偏差为对两路输出结果乘以对应的系数 (包括 α 和 β) 叠加得到的结果。

需要说明的是, 滑动平均算法的长度以及两路对应的系数取值可以满足目标模板规范为目标进行设计, 例如 G.813 模板规格。

在一种可实现的方式中, 图 14 为第二种频率偏差计算模块 1022 的计算流程示意图。如图 14 所示, 首先该频率偏差计算模块 1022 对输入的相位差信息进行一个非线性 (nonlinear, NL) 处理过程, 该过程可以降低相位差信息中携带的非线性噪声, 随后将经过非线性降噪处理的结果分为两路。其中, 一路通过滑动平均算法来吸收由量化误差和自然恢复引起的瞬时相位差波动; 另一路先将相位差信息累加 (例如通过累加器) 生成最终的相位差值, 再通过滑动平均算法消除累计相位差引起的波动。则频率偏差计算模块 102 输出的频率偏差为对两路输出结果乘以对应的系数叠加得到的结果。

可选地, 该 NL 处理过程可以是对相位差信息中的每个相位差信息进行最大绝对值 N 的约束。例如, 当 N 为 10 时, 若相位差为负数时, 限定该相位差的小于 0 大于 -10。若相位差为正数时, 限定该相位差的大于 0 小于 10。示例性地, 假设目的设备收到的相位差信息为 20、-19、5、0、11, 则经过该非线性处理过程后得到的受约束的相位差信息为 10、-10、5、0、10。

示例性地, N 可以以最小化时钟恢复误差为目标取值, 例如使得恢复的第二 OTN 帧的服务层时钟的误差小于或者等于 40ns。

基于上述方案, 通过对相位差信息的非线性处理, 限定每个相位差的最大值或者最小值, 能够降低相位差信息中携带的系统非线性噪声, 从而提升时钟恢复的精准度。

需要说明的是, 不论是中间设备或者目的设备计算与相邻设备的相位差时, 会在计算相位差的过程中出现错误, 但这类错误不会长时间出现, 因此, 为了消除相位差的抖动, 在本申请实施例中, 目的设备可以采用缓慢的补偿来消除这类误差。例如, 可以在时间段 T_c 内调整第二 OTN 帧的参考时钟, 其中, T_c 满足: $T_c \geq T/(20\text{ppm})$ 。示例性地, 假设第二 OTN 帧的参考时钟的周期为 100ns, 当目的设备收到的相位差信息为 1 时, 目的设备可以将该为 1 的相位差信息对应的 1 个参考时钟的周期划分为 n 个等间隔的小周期, 该 n 个小周期的间隔通过 $T_c/100$ 来计算, 即目的设备可以每经过 $T_c/100$ ns 对收到的相位差信息进行一次补偿。

此外, 为了降低相位差的抖动, 在本申请实施例中, 中间设备或者目的设备可以对生成的相位差以一定的周期 T_i 进行周期性的增加或者减小。该周期 T_i 满足 $T_i = (F * T * T / D_i)$, 其中 i 等于 1 或 2。当 i 等于 1 时, T_1 对应为目的设备的周期, D_1 为目的设备生成的与相邻上游设备的相位差。当 i 等于 2 时, T_2 对应为任意中间设备的周期, D_2 为该任意中间设备生成的与相邻上游设备的相位差。示例性地, 以任意一个中间设备为例对该过程进行说明。假设该任意一个中间设备生成的相位差为 11, 该中间设备可以先将 11 分成 10+1, 并在生成相位差信息时, 利用 10 产生向其下游设备发送的相位差信息, 随后每隔周期 T_2 向其下游设备发送 1, 发送 n 次后, 在随后的 $n * T_2$ 的时间中不再发送 1。

图 15 为本申请实施例提供的一种时钟恢复的方法 1500 的示意性流程图。如图 15 所示, 该方法 1500 是从设备交互的角度示出的示意性流程图, 其中, 发送设备, 中间设备 (包括中间设备#1 至中间设备#N 中的任一个) 以及目的设备都可以是 OTN 设备或者由 OTN 设备的部件 (如芯片或芯片系统等) 执行。

具体的, 图 15 所示的方法 1500 包括如下多个步骤。

S1501, 发送设备发送第一 OTN 帧数据流。

具体地, 当发送设备要将业务数据传输至目的设备时, 发送设备向目的设备发送第一 OTN 帧数据流。其中, 第一 OTN 帧数据流是指该数据流的帧格式为第一 OTN 帧格式。

S1502, 中间设备#1 从第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟和第二 OTN 帧的第一相位差信息。

具体地, 中间设备#1 接收来自发送设备发送的第一 OTN 帧数据流, 并从第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟和第二 OTN 帧的第一相位差信息。

其中, 服务层时钟指的是第一 OTN 帧数据流的发送周期或者发送频率。即发送设备按照服务层时钟读取业务数据流, 然后按照服务层时钟将读取的业务数据流封装到第一 OTN 帧净荷区中, 并将第一 OTN 帧数据流发送给中间设备#1, 使得中间设备#1 接收到第一 OTN 帧数据流之后, 能够从第一 OTN 帧数据流中获取该服务层时钟。同时, 中间设备#1 接收到第一 OTN 帧数据流后, 通过解映射得到第二 OTN 帧, 并从得到的第二 OTN 帧中获取第一相位差信息。

在一些实施例中, 该第一相位差信息承载在第二 OTN 帧的至少一个开销区中。示例性地, 当第二 OTN 帧包含多个开销区时, 可以在第二 OTN 帧包含的多个开销区中的每个开销区中承载一个第一相位差信息。该多个开销区承载的第一相位差信息可以是发送设备发送的同一时刻的第一相位差信息或者是发送设备发送的不同时刻的相位差信息。若该多个开销区承载的第一相位差信息是发送设备发送的同一时刻的第一相位差信息时, 可以是发送设备将同一时刻生成的第一相位差信息承载在不同时刻发送的不同开销区中, 此时, 中间设备#1 可以将连续接收到的多个第二 OTN 帧的开销区中承载的第一相位差信息通过多数判决等算法更为准确地确定第一相位差信息。此外, 该多个字节可以是非连续的字节, 以进一步提升系统抗误码性能。若该多个开销区承载的第一相位差信息是发送设备发送的不同时刻的相位差信息时, 由于第二 OTN 帧的多个开销区是在不同时刻由发送设备发送给中间设备#1 的, 因此, 发送设备可以将不同时刻产生的第一相位差信息承载在不同时刻发送的开销区中, 使得中间设备#1 在不同时刻收到的第二 OTN 帧的开销区中获取发送设备在不同时刻发送的第一相位差信息。

在另一些实施例中, 该第一相位差信息可以占用第二 OTN 的开销区中的至少一个字节, 即第一相位差信息承载在第二 OTN 帧的开销区中的多个字节中。

示例性地, 若第一相位差信息占用的字节数为 1 时, 该第一相位差信息可以占用第二 OTN 的开销区

中的至少一个字节可以是指,可以采用 1 个字节承载 1 个第一相位差信息或者采用多个字节承载多个相同的第一相位差信息。当采用多个字节承载多个第一相位差信息时,可以是第二 OTN 帧的至少一个开销区中采用多个字节重复传输同一个第一相位差信息,使得中间设备#1 可以在第二 OTN 帧的一个开销区中获取多个第一相位差信息。采用该种多次重传的方式,可以避免当系统产生误码时,中间设备#1 获取的第一相位差信息不准确的情况。示例性地,中间设备#1 将从第二 OTN 帧的一个开销区中获取到的多个第一相位差信息通过多数判决等算法确定更为准确地第一相位差信息。

若第一相位差信息占用的字节数为多个时,该第一相位差信息可以占用第二 OTN 的开销区中的至少一个字节可以是指,采用多个字节承载一个第一相位差信息或者采用多个字节承载多个相同的第一相位差信息。其中,采用多个字节承载一个第一相位差信息,可以是约定一个开销区中承载第一相位差信息的字节数为多个。

具体地,该第一相位差信息为第二 OTN 帧经过的中间设备#1 的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和,其中,一组或多组相邻两个上游设备的相位差为整数个标称时钟周期,该标称时钟周期小于或者等于 10ns。

应理解,由于中间设备#1 的上游设备仅为发送设备,因此,不存在中间设备#1 的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和,此时,可以将该第一相位差信息可以认为是 0。

在一些实施例中,当第一相位差信息承载在第二 OTN 的开销区中时,发送设备可以将 0 记录在第二 OTN 的开销区中并发送给中间设备#1,或者发送设备在第二 OTN 的开销区中不记录任何相位差信息。

S1503,中间设备#1 根据中间设备#1 的时钟和服务层时钟生成本地相位差。

具体地,中间设备记录中间设备#1 的时钟对应的标称时钟的周期数 N1 和服务层时钟对应的标称时钟的周期数 N2,通过将 N1 和 N2 作差得到本地相位差。

需要说明的是,对于中间设备#1 来说,其存在一个物理上的晶振时钟,该晶振时钟为中间设备#1 的时钟,也称为中间设备#1 的本地时钟。当中间设备#1 获取到上游服务层时钟后,中间设备#1 以标称时钟的周期作为时间间隔,计算本地时钟的周期到达期望周期 N 时所经历的时间,同时计算该时间内服务层时钟的周期数,并将获取的两个周期数作差得到本地相位差。其中,期望周期 N 为预设的周期数。

S1504,中间设备#1 累加本地相位差到第一相位差信息生成第二相位差信息。

具体地,中间设备#1 将生成的本地相位差与获取的第一相位差信息求和得到第二相位差信息。

S1505,中间设备#1 向相邻的下游中间设备发送第一 OTN 帧数据流。

具体地,当中间设备#1 生成第二相位差信息,将第二相位差信息携带在第二 OTN 帧中,同时将第二 OTN 帧映射到第一 OTN 帧中,并向第一中间设备#1 的相邻下游设备发送第一 OTN 帧数据流。

需要说明的是,中间设备#1 对接收到的第一 OTN 帧数据流携带的信息做了处理,因此,中间设备#1 发送第一 OTN 帧数据流与发送设备发送的第一 OTN 帧数据流并不完全相同。即,两个数据流中承载的数据内容不同,但对应的第一 OTN 帧的帧格式是相同的。同样的,发送设备发送的第一 OTN 帧数据流承载的第二 OTN 帧与中间设备#1 发送的第一 OTN 帧数据流承载的第二 OTN 帧是不同的,前者为承载第一相位差信息的第二 OTN 帧,后者为承载第二相位差信息的第二 OTN 帧,即两个第二 OTN 帧携带的内容不同,但帧格式相同,均为第二 OTN 帧格式。

应理解,当第一相位差信息承载在第二 OTN 帧的开销区中时,该中间设备#1 生成的第二相位差信息同样承载在第二 OTN 帧的开销区中。

应理解,在 S1502 中,中间设备#1 从第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟和第二 OTN 帧的第一相位差信息仅用于说明中间设备需要从第一 OTN 帧数据流中获取的信息包括服务层时钟和第二 OTN 帧的第一相位差信息,并不能代表服务层时钟和第二 OTN 帧的第一相位差信息是同时获取的。类似地,在 S1503 中,中间设备#1 根据中间设备#1 的本地时钟和服务层时钟生成本地相位差可以是在中间设备#1 获取第二 OTN 帧的第一相位差信息之前或之后,本申请并不限定。

S1506,中间设备#N 接收来自相邻上游中间设备的第一 OTN 帧数据流。

S1507,中间设备#N 从第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟和第二 OTN 帧的第一相位差信息。

应理解,中间设备#N 获取的服务层时钟为中间设备#N 的相邻上游中间设备发送第一 OTN 帧数据流的发送周期或者发送频率,中间设备#N 获取的第二 OTN 帧的第一相位差信息为中间设备#N 的相邻上游中间设备发送第一 OTN 帧数据流中承载的第二 OTN 帧中携带的第一相位差信息。该第一相位差信息中间设备#N 的所有上游设备的多组相邻两个上游设备的相位差的和,包括中间设备#1 计算的与发送设备的

相位差（也称为中间设备#1的本地相位差）、中间设备#2计算的与中间设备#1的相位差（也称为中间设备#2的本地相位差）、中间设备#3计算的与中间设备#3的相位差（也称为中间设备#3的本地相位差）……中间设备#（N-1）计算的与中间设备#（N-2）的相位差（也称为中间设备#（N-1）的本地相位差）的和。应理解，该多组相邻两个上游设备的相位差为整数个标称时钟周期。标称时钟周期小于或者等于10ns。

S1508，中间设备#N根据中间设备#N的时钟和服务层时钟生成本地相位差。

S1509，中间设备#N累加本地相位差到第一相位差信息生成第二相位差信息。

S1510，中间设备#N向目的设备发送第一OTN帧数据流。

需要说明的是，中间设备#N向目的设备发送的第一OTN帧数据流中承载的第二OTN帧的开销区中承载中间设备#N生成的第二相位差信息。

在一些实施例中，该第二相位差信息承载在第二OTN帧的至少一个开销区中，即第二相位差信息承载在第二OTN帧的多个开销区中。示例性地，当第二OTN帧包含多个开销区时，可以在第二OTN帧包含的多个开销区中的每个开销区中承载一个第二相位差信息。该多个开销区承载的第二相位差信息可以是中间设备#N发送的同一时刻的第二相位差信息或者是中间设备#N发送的不同时刻的第二相位差信息。若该多个开销区承载的第二相位差信息是中间设备#N发送的同一时刻的第二相位差信息时，可以是中间设备#N将同一时刻生成的第二相位差信息承载在不同时刻发送的不同开销区中，此时，目的设备可以将连续接收到的多个第二OTN帧的开销区中承载的第二相位差信息通过多数判决等算法确定更为准确地第二相位差信息。若该多个开销区承载的第二相位差信息是中间设备#N发送的不同时刻的相位差信息时，中间设备#N可以将不同时刻产生的第二相位差信息承载在不同时刻发送的开销区中，使得目的设备在不同时刻收到的第二OTN帧的开销区中获取中间设备#N在不同时刻发送的第二相位差信息。

在另一些实施例中，该第二相位差信息可以占用第二OTN的开销区中的至少一个字节。示例性地，若第二相位差信息占用的字节数为1时，该第二相位差信息可以占用第二OTN的开销区中的至少一个字节可以是指可以采用1个字节承载一个第二相位差信息或者采用多个字节承载多个相同的第二相位差信息。当采用多个字节承载多个第二相位差信息时，可以是第二OTN帧的至少一个开销区中采用多个字节重复传输同一个第二相位差信息。使得目的设备可以在第二OTN帧的一个开销区中获取多个第二相位差信息。采用该种多次重传的方式，可以避免当系统产生误码时，目的设备获取的第二相位差信息不准确的情况。示例性地，目的设备将从第二OTN帧的一个开销区中获取到的多个第二相位差信息通过多数判决等算法确定更为准确地第二相位差信息。此外，该多个字节可以是非连续的字节，以进一步提升系统抗误码性能。若第二相位差信息占用的字节数为多个时，该第二相位差信息可以占用第二OTN的开销区中的至少一个字节可以是指，当第二相位差信息无法用一个字节完全承载时，采用相邻的至少两个开销区中的多个字节承载第二相位差信息。即目的设备需要连续接收多个开销区，才能获取完整的第二相位差信息。这是因为，随着相位差信息的累加，第二相位差信息的绝对值会变大，使得原本用于承载该第二相位差信息的字节因为第二相位差信息的绝对值超过预设阈值，而无法完整的承载正确的第二相位差信息。此时，中间设备#N可以将第二相位差信息拆分为多个部分相位差信息，并通过一个开销区中的多个字节承载该完整的第二相位差信息。即该第二相位差信息可以占用第二OTN的开销区中的至少一个字节，即第二相位差信息承载在第二OTN帧的开销区中的多个开销区中。应理解，同样可以采用多个开销区承载多个同一时刻的占用多个字节的第二相位差信息或者是不同时刻的占用多个字节的第二相位差信息。

应理解，S1507-S1510的其他相关描述可以参考上述S1502至S1505，此处不再赘述。

S1511，目的设备从第一OTN帧数据流中获取服务层时钟和第二OTN帧的第一相位差信息。

具体地，目的设备接收中间设备#N发送的第一OTN帧数据流后，从第一OTN帧数据流中获取服务层时钟和第二OTN帧的第一相位差信息。

应理解，目的设备获取的服务层时钟为中间设备#N发送第一OTN帧数据流的发送周期或者发送频率，目的设备获取的第二OTN帧的第一相位差信息为中间设备#N发送第一OTN帧数据流中承载的第二OTN帧中携带的第一相位差信息。该第一相位差信息中间设备#N的所有上游设备的多组相邻两个上游设备的相位差的和，包括中间设备#1计算的与发送设备的相位差（也称为中间设备#1的本地相位差）、中间设备#2计算的与中间设备#1的相位差（也称为中间设备#2的本地相位差）、中间设备#3计算的与中间设备#3的相位差（也称为中间设备#3的本地相位差）……中间设备#N计算的与中间设备#（N-1）的相位

差（也称为中间设备#N 的本地相位差）的和。应理解，该多组相邻两个上游设备的相位差为整数个标称时钟周期。标称时钟周期小于或者等于 10ns。

S1511 的其他相关描述可以分别参考上述 S1502，此处不再赘述。

S1512，目的设备根据目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟和服务层时钟生成本地相位差。

该过程的相关说明可以参考上述 S1503，或者，可以参考上述 S1508，此处不再赘述。其中，目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟可以称为目的设备的本地第二 OTN 帧的参考时钟，可以是通过目的设备的本地时钟获取的。

应理解，中间设备生成中间设备的相位差是利用其本地时钟计算的，该中间设备的本地时钟并区分第二 OTN 帧业务。换句话说，中间设备在生成中间设备的本地相位差时，一个相位差对应着第一 OTN 帧中的所有第二 OTN 帧。而目的设备在进行时钟恢复时，需要对每一个第二 OTN 帧的时钟进行恢复，因此，目的设备计算本地相位差时，需要采用目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟，该目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟是通过数字方法实现的，例如是将目的设备的本地晶振时钟按照不同的第二 OTN 帧划分为不同的时钟。

S1513，目的设备累加本地相位差到第一相位差信息生成第二相位差信息。

该过程的相关说明可以参考上述 S1504，或者，可以参考上述 S1509，此处不再赘述。

S1514，目的设备根据第二相位差信息调整目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟的时钟控制信号。

具体地，目的设备调整目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟时，是将目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟调整为与发送设备的第二 OTN 帧的参考时钟一致（可以理解为在预设范围内），当目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟调整为与发送设备的第二 OTN 帧的参考时钟一致时，第二相位差信息应该为 0，因此目的设备可以根据第二相位差信息确定目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟的偏移，并生成该偏移的相反方向控制信号。示例性地，当第二相位差信息为正数，例如 1 时，表示目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟比发送设备的第二 OTN 帧的参考时钟快，此时控制信号为-1。

S1515，目的设备根据时钟控制信号调整第二 OTN 帧的参考时钟。

具体地，目的设备通过时钟控制信号调整第二 OTN 帧的参考时钟，以使目的设备调整后的第二 OTN 帧的参考时钟与发送设备发送的第二 OTN 帧的参考时钟在预设的误差范围内。

应理解，当目的设备调整的第二 OTN 帧的参考时钟与发送设备发送的第二 OTN 帧的参考时钟在上述预设的误差范围内时，可以认为目的设备将第二 OTN 帧的参考时钟与发送设备发送的第二 OTN 帧的参考时钟调整为一致。

需要说明的是，在上述方法 1500 说明的本申请实施例中，第一相位差信息可以理解为除发送设备之外的任意一个设备接收的相位差信息或者发送设备发送的相位差信息，第二相位差信息理解为该除发送设备之外的任意一个设备生成的相位差信息。应理解，对于不同的设备，其接收的第一相位差信息不同，同时生成的第二相位差信息也不同。即当理解本申请实施例中的第一相位差信息和第二相位差信息时，需要结合第一相位差信息的接收设备和第二相位差信息的生成设备来理解。

还需要说明的是，对于图 15 中未示出的其他中间设备的处理过程，均可以参考上述中间设备#1 或中间设备#N 的处理流程，此处不再赘述。

应理解，在本申请实施例中，当任意一个中间设备或者目的设备计算本地相位差时，其获取的服务层时钟为相邻的上游设备发送的服务层时钟，即该用于计算本地相位差的服务层时钟为上游服务层时钟。而对于中间设备来说，当其生成第二相位差信息并通过第一 OTN 帧数据流向下游设备发送时，该发送到第一 OTN 帧数据流是采用该生成第二相位差信息的中间设备的本地服务层时钟将业务数据流封装到第一 OTN 帧中进行发送的。换句话说，对于任意一个中间设备来说，其输入的第一 OTN 帧数据流对应的服务层时钟，与其发送的第一 OTN 帧数据流对应的服务层时钟并不相同。

需要说明的是，在本申请实施例中，用于承载相位差信息（包括第一相位差信息和第二相位差信息）的开销区可以是复用第二 OTN 帧中原有的开销区中的保留字节，或者是在第二 OTN 帧中原有的净荷区中划分出的用于承载相位差信息的字节。

在一些实施例中，该第一 OTN 帧可以为 ODU 帧，例如，可以是 ODUk 帧或 ODUFlex 帧。第二 OTN 帧可以为 OSU 帧。

图 16 为本申请实施例提供的中间设备的处理流程示意图。具体地，中间设备接收来自上游相邻设备的 ODU 数据流，并从 ODU 数据流中解映射出 OSU，获取服务层时钟和第一相位差信息。中间设备分别

计算服务层时钟和中间设备的时钟对应的标称时钟的周期数，并将计算的服务层时钟对应的标称时钟的周期数与中间设备的时钟对应的标称时钟的周期数作差得到本地相位差。同时，该中间设备将第一相位差信息与本地相位差求和得到第二相位差信息，并将其记录在交换后的 OSU 帧中。随后，该中间设备将记录的第二相位差信息的 OSU 帧映射至 ODU 帧中，生成 ODU 帧数据流，发送给相邻的下游设备。

图 17 为本申请实施例提供的目的设备的处理流程示意图。具体地，目的接收来自上游相邻设备的 ODU 帧数据流，并从 ODU 帧数据流解映射出 OSU 帧，获取服务层时钟和第一相位差信息。目的设备分别计算服务层时钟和目的设备的 OSU 帧的参考时钟（通过目的设备的本地时钟获得）对应的标称时钟的周期数，并将计算的服务层时钟对应的标称时钟的周期数与目的设备的 OSU 帧参考时钟对应的标称时钟的周期数作差得到本地相位差。同时，该目的设备将第一相位差信息与本地相位差求和得到第二相位差信息。随后，该目的设备将根据第二相位差信息生成控制信号，并利用控制信号对 ODU 帧数据流中的每个 OSU 帧业务数据流进行时钟恢复，输出 OSU 帧数据流。其中，该目的设备输出的 OSU 帧数据流可以理解 OSU 帧的数据信息，包括业务数据和开销。

在本申请实施例提供的恢复时钟的方法中，中间设备仅需要记录代表中间设备的本地时钟偏移的相位差信息，并将该相位差信息传递给目的设备。使得目的设备利用获得的相位差信息对第二 OTN 帧的参考时钟进行调整，从而达到恢复第二 OTN 帧时钟的目的。该方案无需中间设备对第二 OTN 帧的时钟进行恢复，同时通过用相位差信息量化时钟偏移，能够避免采用频率量化时钟偏移时无法修正的误差（该误差是由于频率传递时只能传递实数所引起的）。因此，本申请实施例提供的时钟恢复方法能够简化时钟恢复流程，同时能够提升第二 OTN 帧的参考时钟调整的准确性，进而实现提升系统性能的目的。

在一些场景中，当系统中的 OTN 设备的参考时钟发生突发性的异常时，会导致相位差信息的计算错误，为了保证相位差信息的准确性，同时避免传输错误的相位差信息而导致的资源浪费，本申请实施例提出了一种时钟恢复的方法，当系统中某个设备在计算相位差信息时发现获取的业务时钟异常，或者该设备的本地时钟异常时，不再生成新的相位差信息，而是通过第二 OTN 帧的开销区将故障信息发送给下游设备，使得最终接收到故障信息的目的设备不再进行时钟恢复，避免因时钟恢复错误导致的业务发送失败等情况，进而到达提升系统的性能目的。该方法由系统中的中间设备执行或者由中间设备的部件执行。

以下，结合图 18，并以图 15 中的任意一个中间设备，详细说明本申请实施例提供的时钟恢复的方法 1800，该时钟恢复的方法 1800 由系统中的任意一个中间设备执行。以下，以中间设备#1 为例说明。如图 18 所示，该方法包括如下多个步骤。

S1801，接收第一 OTN 帧数据流。

S1802，从第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟和第二 OTN 帧的第一相位差信息

S1803，根据中间设备#1 的时钟和服务层时钟生成本地相位差。

具体地，中间设备#1 记录中间设备#1 的时钟对应的标称时钟的周期数 N_1 ，同时中间设备#1 记录服务层时钟对应的标称时钟的周期数 N_2 ，并计算 N_1 与 N_2 的差为本地相位差。

上述 S1801 至 S1803 中其他的相关说明可分别参考图 15 所示的方法 1500 中的 S1501 至 S1503，此处不再赘述。

S1804，生成第一信息。

其中，该第一信息包括第二相位差信息或者故障信息。

具体地，当中间设备#1 记录中间设备#1 的时钟对应的标称时钟的周期数 N_1 、中间设备#1 记录服务层时钟对应的标称时钟的周期数 N_2 属于预设区间时，同时当 N_1 与 N_2 的差值在预设时间内等于 -1、0 或 1 时，中间设备#1 累加本地相位差到第一相位差信息生成第二相位差信息。当中间设备#1 确定记录中间设备#1 的时钟对应的标称时钟的周期数 N_1 不属于预设区间、中间设备#1 记录服务层时钟对应的标称时钟的周期数 N_2 不属于预设区间、 N_1 与 N_2 的差值在预设时间内不等于 -1、0 或 1 中的至少一个成立时，中间设备#1 生成故障信息。其中，预设区间为：

$$[N \times (1 - 20 \text{ ppm}), N \times (1 + 20 \text{ ppm})],$$

预设时间为 $T_{\text{Nominal}} \times 1/(40 \text{ ppm})$ ，或 $T_{\text{Nominal}} \times 25000$ ， T_{Nominal} 为标称时钟的周期。

需要说明的是，在 OTN 网络中，设备的实际频偏通常为 $\pm 20 \text{ ppm}$ ，上述预设区间用于检测系统的 $\pm 20 \text{ ppm}$ 之外的异常频偏，预设时间用于检测设备的突发性频偏。

S1805，发送第一信息。

需要说明的是，当中间设备#1 检测未发生故障时，该第一信息为第二相位差信息，中间设备#1 检测发生故障时，该第一信息为故障信息。应理解，该第一信息承载在第二 OTN 帧的至少一个开销中。该第一信息占用的字节数为至少一个字节，其中，该至少一个字节中的至少一个比特用于指示该第一信息包括的信息为第二相位差信息或故障信息。示例性地，图 19 为第一信息占用的字节数为一个字节时的第一信息的结构示意图。其中，该一个字节的最高比特位为 0 时，用于指示该第一信息包括的信息为第二相位差信息，该第二信息承载与其它 7 个比特上。最高比特位为 1 用于指示该第一信息包括的信息为故障信息。

可选地，当该第一信息为故障信息时，该故障信息包括发生故障的设备的数量，即生故障的中间设备#1 距离目的设备的节点数量。该发生故障的设备的数量可以通过其余 7 个比特中的多个比特指示，如图 19 所示，可以通过较低的 5 个比特位来指示。示例性地，当中间设备#1 确定中间设备#1 的时钟发生异常时，生成故障信息，在该用于指示发生故障的设备的数量的指示域中（例如上述图 19 中的 5 个比特）中记录 1，并向下游设备发送记录了故障设备数量的故障信息。当下游设备接收到该故障信息后，可以依次在指示故障设备数量的指示域中计数，使得目的设备收到故障信息后，能够根据该指示域中记录的数量确定发生故障的中间设备#1 的位置。

可选地，当该第一信息还可以包括确认信息，该确认信息用于指示下游设备确认该第一信息为故障信息。如图 19 所示，可以通过第二个较高的比特位来指示。示例性地，当中间设备#1 的下游中间设备，例如中间设备#2，接收到中间设备#1 发送的第一信息为故障信息时，该中间设备#2 可以通过计算是否存在系统频偏或者设备突发性频偏来再一次确认当前 OTN 系统发生故障，并在第二个比特位上填充 1。通过两次确认，可以避免 OTN 系统在一些可恢复的异常抖动时引发的错误报警，从而保证系统的性能稳定。

同样的，当第一信息为第二相位差信息时，该多个第一信息可以承载在第二 OTN 的开销区中的多个字节中，当该多个连续或者非连续的字节时，能够提升系统的抗误码性能。

应理解，图 19 仅为示例而非限定，在本申请实施例中，故障指示、确认信息、和故障设备数量所占用的比特位即比特位的数量并不限定于图 19 所示。其他在图 19 所示的基础上的简单改变，例如采用最后一位比特位指示该第一信息包括第二相位差信息或者故障信息等，均在本申请的保护范围之内。

此外，上述方法 1800 仅以中间设备#1 为例进行说明的，应理解，对于其他中间设备，第二相位差信息为本地相位差与获取的第一相位差的累计。故障信息中包含的发生故障的设备数量为该中间设备距离目的设备的设备数量。

基于上述方案，当中间设备计算的相位差信息不满足预设条件时，通过中间设备发送故障信息，避免了下游设备计算错误的相位差信息，节约了系统的资源，同时提升了系统的性能。

需要说明的是，在上述本申请实施例提供的时钟恢复的方法中，均是采用以设备的本地时钟作为基准进行计算的，即先计算本地时钟对应的标称时钟到达预设的期望周期数时经过的时间，并计算该相同时间内上游服务层时钟对应的标称时钟的周期数，随后将期望周期数与该上游服务层时钟对应的标称时钟的周期数将作差得到本地相位差。然而，在一些场景中，例如当网络系统中存在一些中间设备的频偏较大时，目的设备获得的相位差信息将存在缓慢的低频相位漂移，这种低频相位漂移无法被时钟恢复环路消除，最终会降低时钟恢复的性能，以至于无法满足当前标准模板（G.813）的要求。为了解决上述问题，本申请实施例提出了一种时钟恢复的方法 2000，该方法通过设定计算本地相位差的触发时刻，从而为所有的中间设备始终选择一个较快的基准时钟或者一个较慢的基准时钟来减少采用本地时钟作为基准时钟时所导致的误差，从而实现更为精准的时钟恢复效果。

以下，结合图 20，并以图 15 中的中的中间设备#1 为例，详细说明本申请实施例提供的时钟恢复的方法 2000，如图 20 所示，该方法包括如下多个步骤。

S2001，接收第一 OTN 帧数据流。

S2002，从第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟和第二 OTN 帧的第一相位差信息。

上述 S2001-S2002 可参考图 15 所示的方法 1500 中的 S1501-S1502，此处不再赘述。

S2003，当满足触发计算本地相位差的时刻时，根据中间设备的本地时钟和服务层时钟生成本地相位差。

具体地，当满足触发计算本地相位差的时刻时，中间设备#1 计录中间设备#1 的本地时钟对应的标称时钟的周期数 N1，同时中间设备#1 计录服务层时钟对应的标称时钟的周期数 N2，并计算计算 N1 与 N2 的差为本地相位差。

当选择本地时钟和服务层时钟中较快的时钟作为基准时钟时，触发计算本地相位差的时刻为本地时钟对应的标称时钟的周期数先等于期望周期时，或者服务层时钟对应的标称时钟的周期数先等于期望周期时，即本地时钟对应的标称时钟的周期数与服务层时钟对应的标称时钟的周期数中较早等于期望周期的时刻。示例性地，若预设的期望周期为 N ， $N1$ 等于 N 时经过的时间为第一时间间隔， $N2$ 等于 N 时经过的时间为第二时间间隔，则当本地时钟相较于服务层时钟较快时，即第一时间间隔小于第二时间间隔，换句话说，本地时钟对应的标称时钟的周期数将首先步进到期望周期，此时，中间设备#1 将触发计算本地相位差的流程。或者，当服务层时钟相较于本地时钟较快时，即第二时间间隔小于第一时间间隔时，服务层时钟对应的标称时钟的周期数将首先步进到期望周期，此时，中间设备#1 将触发计算本地相位差的流程。期望周期可以通过 $N=F \times T$ 设定，其中， F 为标称时钟的频率， T 为生成本地相位差的周期。

类似的，当选择本地时钟和服务层时钟中较慢的时钟作为基准时钟时，触发计算本地相位差的时刻为本地时钟对应的标称时钟的周期数与服务层时钟对应的标称时钟的周期数中较晚等于期望周期的时刻。示例性地，当本地时钟相较于服务层时钟较慢时，即第一时间间隔大于第二时间间隔时，本地时钟对应的标称时钟的周期数相比于服务层对应的标称时钟较晚步进到期望周期，因此，当本地时钟对应的标称时钟的周期数等于期望周期时，中间设备#1 将触发计算本地相位差的流程。或者，当服务层时钟相较于本地时钟较慢时，即第二时间间隔大于第一时间间隔时，服务层时钟对应的标称时钟相比于本地时钟对应的标称时钟较晚步进到期望周期，因此，当服务层时钟对应的标称时钟的周期数等于期望周期时，中间设备#1 将触发计算本地相位差的流程。

在一种可能的实现方式中，图 21 为第一种计算相位差的流程示意图。如图 21 所示，计数器 A 和计数器 B 分别对本地时钟对应的标称时钟的周期数和发送设备的服务层时钟对应的标称时钟的周期数计数，其中 N 为期望周期数。

示例性地，在一种场景下，假设采用较快的时钟作为基准时钟，若当中间设备#1 的本地时钟对应的标称时钟的周期数先到达期望周期 N 时，即 $A = N \ \& \ PD \geq 0$ 先成立时，触发或门，A-B 减法器计算此时相位差为 N -计数器 B 所记录的周期数 B 。此时，设置该中间设备#1 的基准时钟为本地时钟。或者，当服务层时钟对应的标称时钟的周期数先到达期望周期 N 时，即 $B = N \ \& \ PD < 0$ 先成立时，触发或门，A-B 减法器计算此时相位差为计数器 A 所记录的周期数 $A-N$ 。此时，将服务层时钟设置为中间设备#1 的基准时钟。

示例性地，在另一种场景下，假设采用较慢的时钟作为基准时钟，当中间设备#1 的本地时钟对应的标称时钟的周期数先到达期望周期 N 时，即 $A = N \ \& \ PD \geq 0$ 先成立时，并不会触发或门，而是等待服务层时钟对应的标称时钟的周期数到达期望周期 N 时，触发或门，A-B 减法器计算此时相位差为计数器 A 所记录的周期数 $A-N$ 。此时，设置该中间设备#1 的基准时钟为服务层时钟。或者，当中间设备#1 的本地时钟对应的标称时钟的周期数晚于服务层时钟对应的标称时钟的周期数到达期望周期 N 时，即当 $A = N \ \& \ PD \geq 0$ 成立时，才触发或门，A-B 减法器计算此时相位差为 N -计数器 B 所记录的周期数 B 。此时，将中间设备#1 的本地时钟设置为中间设备#1 的基准时钟。

当 A-B 减法器计算完相位差后，将相位差计算结果存储到 PD 寄存器（也可以称为相位检测寄存器）中，并重置计数器 A 和计数器 B（例如向计数器 A 和计数器 B 发送指示信息，指示计数器 A 和计数器 B 归零），同时，PD 寄存器将计算的相位差反馈至两个条件模块（包括 $A = N \ \& \ PD \geq 0$ 和 $B = N \ \& \ PD < 0$ ）。

在一种可能的实现方式中，图 22 为第二种计算相位差的流程示意图。如图 22 所示，计数器 A 和计数器 B 分别对本地时钟对应的标称时钟的周期数和服务层时钟对应的标称时钟的周期数计数，其中 N 为期望周期数。

示例性地，在一种场景下，假设采用较快的时钟作为基准时钟，当中间设备#1 的本地时钟对应的标称时钟的周期数先到达期望周期 N 时，即 $A = A_{Reg} + N$ 先成立时，触发或门，A-B 减法器计算此时相位差为 N -计数器 B 所记录的周期数，同时计数器 A 和计数器 B 寄存当时刻 A 和 B 的值，分别为 A_{Reg} 和 B_{Reg} 。此时，设置该中间设备#1 的基准时钟为本地时钟。或者，当服务层时钟对应的标称时钟的周期数先到达期望周期 N 时，即 $B = B_{Reg} + N$ 先成立时，触发或门，A-B 减法器计算此时相位差为计数器 A 所记录的周期数 $A-N$ ，同时计数器 A 和计数器 B 寄存当时刻 A 和 B 的值，分别为 A_{Reg} 和 B_{Reg} 。此时，将服

务层时钟设置为中间设备#1 的基准时钟。

示例性地，在另一种场景下，假设采用较慢的时钟作为基准时钟，当中间设备#1 的本地时钟对应的标称时钟的周期数先到达期望周期 N 时，即 $A = A_{\text{Reg}} + N$ 先成立时，并不会触发或门，而是当服务层时钟对应的标称时钟的周期数到达期望周期 N 时，触发或门，A-B 减法器计算此时相位差为计数器 A 所记录的周期数 $A-N$ 。此时，设置该中间设备#1 的基准时钟为服务层时钟。或者，当中间设备#1 的本地时钟对应的标称时钟的周期数晚于服务层时钟对应的标称时钟的周期数到达期望周期 N 时，即当 $A = A_{\text{Reg}} + N$ 成立时，才触发或门，A-B 减法器计算此时相位差为 N -计数器 B 所记录的周期数 B，同时计数器 A 和计数器 B 寄存当时刻 A 和 B 的值，分别为 A_{Reg} 和 B_{Reg} 。此时，将中间设备#1 的本地时钟设置为中间设备#1 的基准时钟。

当 A-B 减法器计算完相位差后，将相位差计算结果存储到 PD 寄存器（也可以称为相位检测寄存器）中。

应理解，对于每一次计算过程 A_{Reg} 和 B_{Reg} 为前一次计算相位差时计数器 A 和计数器 B 记录的 A 和 B 的值。

需要说明的是，在本申请实施例中，基准时钟可以理解为用于确定检测周期（也称为检测窗口）的时钟。示例性地，当采用较快的时钟作为基准时钟时，该过程可以理解为，在中间设备的本地时钟或上游服务层时钟中，选择一个较快的时钟对应的标称时钟到达期望周期数 N 时所经过的时间作为检测周期，来计算另一个相对较慢的时钟对应的标称时钟在该检测周期内的周期数。

还需要说明的是，由于在图 22 所示的计算流程中，不需要重置（reset）计数器，因此实现了对计算过程简化的效果。然而，计数器 A 和计数器 B 是存在有限位宽的，即计数器 A 和计数器 B 存在一个能够存储的极限容量，当计数器 A 和计数器 B 到达最大可计数值后，计数器 A 和计数器 B 将重新计数。此时，会对计算的周期数 A 和 B 的差带来突变误差。为了解决这个问题，有两种实现方式，在一种可实现的方式中，可以在 PD 存储器之前引入 PD 修正模块，当 A-B 减法器计算的相位差的绝对值大于阈值时，将相位差修正为阈值与相位差的绝对值之间的差值。其中，该阈值为计数器周期的预设范围，例如可以是计数器周期（即计数器所能存储的最大值）的一半。示例性地，若计数器 A 和计数器 B 的存储极限为 10000 时，当触发计算本地相位差时，由于计数器 A 记录的周期 A 大于 10000，因此计数器 A 的重新计数为 2，而计数器 B 记录的周期 B 为 9998，此时，A-B 减法器计算的相位差的绝对值为 9996，该绝对值超过了 5000，因此，将相位差修正为 $10000-9996=4$ 。在另一种实现方式中，可以利用比特算数本身的性质解决计数器溢出的问题。计数器 A 和 B 需要使用有符号的比特序列来表示，假设计数器比特序列位宽为一个字节，当 A 计数到 127 (01111111) 时，假设 B 计数到 120 (01111000)，A 继续计数出现溢出变为 -128 (10000000)，B 为 (01111001)。此时，A-B 的结果为 7 (10000000-01111001=00000111)，仍然是正确的值。实际上只要目标计数周期小于计数器值域区间大小的一半，这种方式就始终合法。

基于该方案，能够在计数器到达计数器周期后对相位差进行修正，从而保证了相位差计算的准确性，进一步地，提升时钟恢复的准确性。

图 23 为中间设备均采用本地时钟作为基准时钟与本申请实施例提供的采用统一较快或较慢的时钟作为基准时钟的仿真对比结果。其中，仿真参数设置为：目的设备为宿端开环设置，承载相位差信息的开销起区的周期为 3.435ms，标称时钟频率为 78.125MHz，11 个设备的频偏分别为：[0, 9.05, -0.005, 18.23, -8.59, -9.58, -3.46, 12.99, -6.36, -19.01, 0]ppm。纵坐标 PD_ACC 代表目的设备从开销区收到的相位差信息。如图 23 所示，当中间设备均采用本地时钟作为基准时钟时，目的设备记录的相位差信息存在缓慢的漂移，这种低频漂移无法被时钟恢复环路消除，最终会降低时钟恢复的性能，以至于无法满足模板要求。而本申请实施例提供的方案能够有效地去除了低频的相位偏移，因此可以大幅降低时钟恢复的相位误差，从而提高时钟恢复性能。

图 24 为中间设备均采用本地时钟作为基准时钟与本申请实施例提供的采用统一较快或较慢的时钟作为基准时钟的仿真对比结果。其中，仿真参数设置为：目的设备的环路带宽约为 1Hz，承载相位差信息的开销起区的周期为 3.435ms，标称时钟频率为 78.125MHz，11 个设备的频偏分别为：[0, 9.05, -0.005, 18.23, -8.59, -9.58, -3.46, 12.99, -6.36, -19.01, 0]ppm。纵坐标为目的设备恢复后的时钟和发送设备发送的时钟之间的差，能够表示时钟恢复的性能。如图 24 所示，当中间设备均采用本地时钟作为基准时

时钟，目的设备恢复的时钟存在 50ns 左右的抖动，并且局部存在高频的震荡，无法满足时钟模板的要求。而本申请实施例提供的方案大幅降低了时钟恢复的相位误差，提高了时钟恢复性能，在较高的宿端环路带宽条件下满足 G.813 时钟性能模板。

图 25 为中间设备均处于极端频偏 ($\pm 20\text{ppm}$) 时采用统一较快或较慢的时钟作为基准时钟的仿真结果。其中，仿真参数设置为：目的设备的环路带宽约为 1Hz，承载相位差信息的开销起区的周期为 3.435ms，标称时钟频率为 78.125MHz，11 个设备的频偏分别为：[-20, 20, -20, 20, -20, 20, -20, 20, -20, 20, -20]ppm 如图 22 所示，由于所有的中间设备始终选择一个方向的参考时钟来去除了基本时钟的差异，使得时钟恢复后的相位偏差降为 0。

为了降低中间设备的频偏抖动，实现更为精准的时钟恢复效果，在另一种实现方式中，可以为所有的中间设备始终选择一个平均时钟来减少采用本地时钟作为基准时钟时所导致的误差。在一些实施例中，该平均的时钟为处于第一时间间隔与第二时间间隔之间的任意一个时间间隔。同样的，该第一时间间隔为记录 N1 等于 N 时经过的时间，第二时间间隔为记录 N2 等于 N 时经过的时间，N 为预设的期望周期（也称为期望周期数）。示例性地，当第一时间间隔为 3ms，第二时间间隔为 3.00006ms 时，平均的时钟周期可以选取 3.00003ms 对应的整数个时钟周期。在另一些实施例中，该平均的时钟周期为第一时间间隔与第二时间间隔的平均值取整，该平均值取整的方式例如可以是向下取整或者向上取整或者四舍五入取整等。示例性地，当第一时间间隔与第二时间间隔的平均值为 3.00003ms 时，可以通过向下取整确定平均的时钟周期为 3ms。或者，当第一时间间隔与第二时间间隔的平均值为 3.50000ms 时，可以通过四舍五入取整确定平均的时钟周期为 4ms。当中间设备的本地时钟和服务层时钟均经过平均时钟的周期后时，计算本地时钟对应的标称时钟和服务层时钟对应的标称时钟之间的相差的整数个周期数为本地相位差。

图 28 为本申请实施例提供的第三种计算相位差的流程示意图。具体地，在图 28 中，计数器 A 和计数器 B 分别对本地时钟对应的标称时钟的周期数和发送设备的服务层时钟对应的标称时钟的周期数始终计数，存储单元 A_{Reg} 和 B_{Reg} 分别用于存储每一次计算本地相位差时计数器 A 和计数器记录的周期数，以用于下次计算本地相位差时获取计数器 A 和计数器 B 自前一次触发以来步进的周期数之差。具体地，当满足既定触发计算本地相位差的时刻时，减法器计算计数器 A 和计数器 B 自前一次触发以来步进的周期数之差，即 $(A - A_{\text{Reg}})$ 与 $(B - B_{\text{Reg}})$ 的差。同时，减法器使能存储单元 A_{Reg} 和 B_{Reg} 分别存储该时刻下计数器 A 和计数器 B 的周期值，即存储单元 A_{Reg} 将存储的周期值更新为触发时刻计数器 A 的值，存储单元 B_{Reg} 将存储的周期值更新为触发时刻计数器 B 的值。当减法器计算相位差之后，生成的相位差经过 PD 修正模块进行修正后存入 PD 存储器中。

图 29 为图 28 中触发计算本地相位差的时刻的三种可能类型。具体地，在图 29 中，触发计算本地相位差的时刻可以表示为 $A \geq A_{\text{Reg}} + M$ 。其中，M 可以根据相应的规则进行选择，具体地，当选择较快的时钟作为基准时钟时，M 表示为图 29 中的类型 1；当选择较慢的时钟作为基准时钟时，M 表示为图 29 中的类型 2；当选择的平均时钟作为基准时钟时，M 表示为图 29 中的类型 3。其中类型 1、类型 2 和类型 3 分别表示为下式 (1) - (3)：

$$M = N + \begin{cases} (A - A_{\text{Reg}}) - (B - B_{\text{Reg}}), & \text{当 } A - A_{\text{Reg}} < B - B_{\text{Reg}} \\ 0, & \text{当 } A - A_{\text{Reg}} > B - B_{\text{Reg}} \end{cases} \quad (1)$$

$$M = N + \begin{cases} (A - A_{\text{Reg}}) - (B - B_{\text{Reg}}), & \text{当 } A - A_{\text{Reg}} > B - B_{\text{Reg}} \\ 0, & \text{当 } A - A_{\text{Reg}} < B - B_{\text{Reg}} \end{cases} \quad (2)$$

$$M = N + \left\lfloor \frac{(A - A_{\text{Reg}}) - (B - B_{\text{Reg}})}{2} \right\rfloor \quad (3)$$

需要说明的是，在图 29 所示的触发计算本地相位差的时刻中，仅是以监测计数器 A 来判断是否满足触发计算本地相位差的时刻的，可以理解的是，该触发计算本地相位差的时刻还可以替换为 $B \geq B_{\text{Reg}} + M$ 。此外，图 29 中的平均时钟仅示出了向下取整的一种形式，示例性地，还可以采取向上取整或者四舍五入等方式取整，本申请不做限定。

结合图 28 和图 29 可知, 当采用图 29 所示的触发计算本地相位差的时刻时, 可以仅针对计数器 A 当前记录的周期数或者计数器 B 记录的周期数来监控是否满足相应的触发计算本地相位差的时刻。相比于上述图 21 或者图 22 中同时监控两个计数器的周期值来说, 该流程更为简单, 可靠性更好。

在一种可能的实现方式中, 图 30 为本申请实施例提供的第四种计算相位差的流程示意图。如图 30 所示, 计数器 A 和计数器 B 分别对本地时钟对应的标称时钟的周期数和服务层时钟对应的标称时钟的周期数计数。

具体地, 在图 30 所示的场景中, 当中间设备确认收到所述第一相位差信息时, 中间设备触发计算当前本地相位差。在一些实施例中, 当承载第一相位差信息的数据帧为第二 OTN 帧时, 中间设备确认收到第一相位差信息是通过识别第二 OTN 帧的帧头来确定的。此时, 当中间设备识别到承载第一相位差信息的第二 OTN 帧的帧头, 或者, 一旦中间设备识别到承载第一相位差信息的第二 OTN 帧的帧头时, 中间设备将触发计算本地相位差的流程。

可以理解的是, 由于中间设备从第二 OTN 帧中获取第一相位差信息的过程是需要时间的, 因此, 在另一些实施例中, 中间设备触发计算本地相位差的时刻, 可以理解为识别到第二 OTN 帧的帧头至第二 OTN 帧中获取到开销区中承载的第一相位差信息的时刻之间的任意时刻。

具体地, 中间设备计算本地相位差的过程与上述图 28 的过程是相同的, 即当中间设备触发计算时, 中间设备记录当前计数器 A 和计数器 B 的值, 并结合前一次本地相位差计算后存储单元存储的 A_{Reg} 和 B_{Reg} , 计算自前一次本地相位差计算以来, 本地时钟对应的标称时钟的周期数和服务层时钟对应的标称时钟的周期数的步进值, 即 $(A - A_{Reg})$ 和 $(B - B_{Reg})$, 通过计数器 A 和计数器 B 的步进值计算此次本地相位差, 同时, 减法器使能存储单元 A_{Reg} 和 B_{Reg} 分别存储该时刻下的周期值用于下次计算, 即存储单元 A_{Reg} 将存储的周期值更新为触发时刻计数器 A 的值, 存储单元 B_{Reg} 将存储的周期值更新为触发时刻计数器 B 的值。当减法器计算相位差之后, 生成的相位差经过 PD 修正模块进行修正后存入 PD 存储器中。实际上, 图 23 示意图为图 30 的一种特例, 即在本地时钟和服务层时钟中总是选取较快的时钟作为基准时钟, 即触发计算本地相位差的时刻为本地时钟和服务层时钟中任意一个先计数到期望周期时的时刻。

图 31 为针对中间设备采用确认收到第一相位差信息时进行相位差计算的方案仿真得到的时钟性能。其中, 仿真参数设置为: 目的设备为宿端锁相环 (phase-locked loop, PLL) 的闭环设置, 承载相位差信息的开销区的周期为 3.2768ms, 标称时钟频率为 312.5MHz, 21 个中间设备的频偏在 $\pm 20\text{ppm}$ 范围内随机分布。其中, 最大时间间隔误差 (maximum time interval error, MTIE) 和时间偏差 (time deviation, TDEV) 仿真结果显示本申请实施例提供的方案能够带来较好的时钟恢复性能, 在较高的宿端环路带宽条件下满足 G.813 时钟性能模板。

表 1 示出了本申请实施例提供的基于第一 OTN 帧为 ODU2 时各个参数的可能取值。

表 1

F/fODU2	1/128	1/64	1/32	1/16	1/10	1/8
F (MHz)	78.416	156.832	313.665	627.330	1003.727	1254.659
Tnominal=1/F (ns)	12.752	6.376	3.188	1.594	0.996	0.797
N(=T/Tnominal, With T=3.188ms)	2.5E5	5E5	1E6	2E6	3.2E6	4E6
ΔN ($=\pm N \times 20\text{ppm}$, or $=\pm F \times T \times 20\text{ppm}$)	± 5	± 10	± 20	± 40	± 64	± 80

具体地, 在表 1 中, F 是标称时钟的频率, fODU2 是 ODU2 的频率 (10.0372739240506 GHz), Tnominal 是标称时钟的周期, N 是在 3.188ms 测量时间 T 内的标称时钟周期数目, ΔN 是在 $\pm 20\text{ppm}$ 偏差下 N 的偏差值。在一些实施例中, 当以确认收到第一相位差信息为触发计算本地相位差的时刻时, T 为承载第一相位差信息的开销区的周期 (或者称为承载第一相位差信息的开销区的时间间隔), 例如约为 3ms。

考虑到每个开销区承载所述相位差信息的字节数为 1, 再考虑至少一个比特用于指示所述第一信息包括的信息为所述第二相位差信息或所述故障信息, 有 7 个比特可以用来记录 ΔN 。这样 ΔN 的范围需控制在

±63。这样F需要在1000MHz（或1GHz）以内。

考虑到G.813时钟模板要求时钟相位的漂移在约100ns范围内。由于不同节点采用不同的基准时钟可能带来的一个标称时钟周期的误差，标称时钟周期越小误差越小。考虑到一个链路可以有约十个设备（节点），标称时钟周期需要小于或者等于10ns（纳秒）。

基于以上两点，标称时钟频率F的范围需要为100MHz-1GHz。

若将相位差测量时间周期内的标称时钟周期数目假定为N等于1000000时，可以将服务层时钟频率、各个设备的本地时钟频率、标称时钟频率、标称时钟周期、相位差测量时间周期、OSU帧周期设计为如下值。

服务层时钟频率： $f_{\text{server}}=f_{\text{ODU2}}=10.0372739240506\text{ GHz}$

本地时钟频率： $f_{\text{local}}=f_{\text{ODU2}}/32=313.6648\text{ MHz}$

标称时钟频率： $F=f_{\text{ODU2}}/32=313.6648\text{ MHz}$

标称时钟周期： $T_{\text{nominal}}=1/f_{\text{nominal}}=3.1881166\text{ ns}$

相位差测量时间周期内的标称时钟周期数目： $N=F\cdot T=1,000,000$

相位差测量时间周期： $T=N\cdot T_{\text{nominal}}=3.1881166\text{ ms}$

OSU帧周期：11.7533ms

承载所述相位差信息的开销区的周期：1/4个OSU帧周期，即2.9383ms，满足周期T大于承载相位差信息的开销区的周期。当以确认收到第一相位差信息为触发计算本地相位差的时刻时，T为承载第一相位差信息的开销区的周期（或者称为承载第一相位差信息的开销区的时间间隔），例如约为3ms。

图26为本申请实施例提供的一种OTN装置1500的示意性框图。该装置1500包括接收模块1501，接收模块1501可以用于实现相应的接收功能。接收模块1501还可以称为接收单元。

该装置1500还包括处理模块1502，处理模块1502可以用于实现相应的处理功能。

该装置1500还包括发送模块1503，发送模块1503可以用于实现相应的发送功能，发送模块1503还可以称为发送单元。

可选地，该装置1500还包括存储单元，该存储单元可以用于存储指令、数据和其他配置参数中的至少一项，处理单元1502可以读取存储单元中存储的内容，以使得装置实现前述各个方法实施例中的相关装置的动作。

该装置1500可以用于执行上文各个方法实施例中的目的设备或发送设备或者中间设备所执行的动作。这时，该装置1500可以为目的设备或发送设备或者中间设备的组成部件，接收模块1501用于执行上文方法实施例中目的设备或发送设备或者中间设备的接收相关的操作，处理模块1502用于执行上文方法实施例中目的设备或发送设备或者中间设备的处理相关的操作，发送模块1503用于执行上文方法实施例中目的设备或发送设备或者中间设备的发送相关的操作。

应理解，各模块执行上述相应步骤的具体过程在上述方法实施例中已经详细说明，为了简洁，在此不再赘述。

图27为一种可能的OTN设备1150的结构示意图，该设备为目的设备或发送设备或者中间设备。如图27所示，该设备1150包括处理器1151、光收发器1152和存储器1153。其中，存储器1153是可选的。设备1150既可以应用于发送侧设备（如，发送设备），也应用于接收侧设备（如，上述的目的设备）。

在应用于发送侧设备时，处理器1151和光收发器1152用于实现图4所示的发送设备或者中间设备所执行的方法。在实现过程中，处理流程的各步骤可以通过处理器1151中的硬件的集成逻辑电路或软件形式的指令完成上述附图的发送设备所执行的方法。光收发器1152用于接收处理发送的OTN帧，以发送给对端设备（亦称为接收端设备）。

在应用于接收侧设备时，处理器1151和光收发器1152用于实现图4所示的目的设备或者中间设备所执行的方法。在实现过程中，处理流程的各步骤可以通过处理器1151中的硬件的集成逻辑电路或者软件形式的指令完成前述附图中所述的接收侧设备所执行的方法。光收发器1152用于接收对端设备（亦称为发送端设备）发送的OTN帧，以发送给处理器1151使其进行后续的处理。

存储器1153用于存储指令，以使得处理1151执行如上述图中提及的步骤。或者，存储器1153也可以用于存储其他指令，以配置处理器1151的参数以实现对应的功能。

需要说明的是，处理器1151和存储器1153在图2所述的网络设备硬件结构图中，可能位于支路板中，也可能位于支路和线路合一的单板中。或者，处理器1151和存储器1153都包括多个，分别位于支路板

和线路板，两个板配合完成前述的方法步骤。

需要说明的是，图 27 所述的装置也可以用于执行前述提及的附图所示的实施例变形所涉及的方法步骤，在此不再赘述。

基于以上实施例，本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质。该存储介质中存储软件程序，该软件程序在被一个或多个处理器读取并执行时可实现上述任意一个或多个实施例提供的方法。所述计算机可读存储介质可以包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器、随机存取存储器、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

基于以上实施例，本申请实施例还提供了一种芯片。该芯片包括处理器，用于实现上述任意一个或多个实施例所涉及的功能，例如获取或处理上述方法中所涉及的 OTN 帧。可选地，所述芯片还包括存储器，所述存储器，用于处理器所执行必要的程序指令和数据。该芯片，可以由芯片构成，也可以包含芯片和其他分立器件。

显然，本领域的技术人员可以对本申请实施例进行各种改动和变形而不脱离本申请实施例的范围。这样，倘若本申请实施例的这些修改和变形属于本申请权利要求及其等同技术的范围之内，则本申请也意图包含这些改动和变形在内。

应理解，本申请实施例中提及的处理器可以是中央处理单元(central processing unit, CPU)，还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(digital signal processor, DSP)、专用集成电路(application specific integrated circuit, ASIC)、现成可编程门阵列(field programmable gate array, FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

还应理解，本申请实施例中提及的存储器可以是易失性存储器和/或非易失性存储器。其中，非易失性存储器可以是只读存储器(read-only memory, ROM)、可编程只读存储器(programmable ROM, PROM)、可擦除可编程只读存储器(erasable PROM, EPROM)、电可擦除可编程只读存储器(electrically EPROM, EEPROM)或闪存。易失性存储器可以是随机存取存储器(random access memory, RAM)。例如，RAM 可以用作外部高速缓存。作为示例而非限定，RAM 可以包括如下多种形式：静态随机存取存储器(static RAM, SRAM)、动态随机存取存储器(dynamic RAM, DRAM)、同步动态随机存取存储器(synchronous DRAM, SDRAM)、双倍数据速率同步动态随机存取存储器(double data rate SDRAM, DDR SDRAM)、增强型同步动态随机存取存储器(enhanced SDRAM, ESDRAM)、同步连接动态随机存取存储器(synchlink DRAM, SLDRAM)和直接内存总线随机存取存储器(direct rambus RAM, DR RAM)。

需要说明的是，当处理器为通用处理器、DSP、ASIC、FPGA 或其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件时，存储器(存储模块)可以集成在处理器中。

本领域普通技术人员可以意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及步骤，能够以电子硬件、或计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用使用不同方法来实现所描述的功能；这种实现不应认为超出本申请的保护范围。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的装置和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置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。此外，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，机械或其它的形式。

在上述实施例中，可以全部或部分地通过软件、硬件、固件或者其任意组合来实现。当使用软件实现时，可以全部或部分地以计算机程序产品的形式实现。所述计算机程序产品包括一个或多个计算机指令。在计算机上加载和执行所述计算机程序指令时，全部或部分地产生按照本申请实施例所述的流程或功能。所述计算机可以是通用计算机、专用计算机、计算机网络、或者其他可编程装置。例如，所述计算机可以是个人计算机，服务器，或者网络设备等。所述计算机指令可以存储在计算机可读存储介质中，或者从一个计算机可读存储介质向另一个计算机可读存储介质传输，例如，所述计算机指令可以从一个网站站点、计算机、服务器或数据中心通过有线(例如同轴电缆、光纤、数字用户线(DSL))或无线(例如红外、无线、微波等)方式向另一个网站站点、计算机、服务器或数据中心进行传输。所述计算

机可读存储介质可以是计算机能够存取的任何可用介质或者是包含一个或多个可用介质集成的服务器、数据中心等数据存储设备。所述可用介质可以是磁性介质(例如,软盘、硬盘、磁带)、光介质(例如,DVD)、或者半导体介质(例如固态硬盘(solid state disk, SSD)等。例如,前述的可用介质可以包括但不限于:U盘、移动硬盘、只读存储器(read-only memory, ROM)、随机存取存储器(random access memory, RAM)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

以上所述,仅为本申请的具体实施方式,但本申请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申请揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

权 利 要 求 书

1. 一种时钟恢复的方法, 其特征在于, 应用于目的设备, 包括:
接收第一光传送网络 OTN 帧数据流;
从所述第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟;
从所述第一 OTN 帧数据流中获取所述第一 OTN 帧数据流承载的第二 OTN 帧携带的相位差信息, 所述相位差信息为所述第二 OTN 帧经过的所述目的设备的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和, 所述一组或多组相邻两个上游设备的相位差为整数个参考时钟周期, 其中, 承载所述相位差信息的开销区的周期小于或者等于第二 OTN 帧的周期的 1/2;
根据所述服务层时钟和所述相位差信息调整所述第二 OTN 帧的参考时钟, 所述第二 OTN 帧的参考时钟用于恢复所述第二 OTN 帧的时钟。
2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 生成所述目的设备与所述目的设备相邻的上游设备的相位差的周期 T 大于承载所述相位差信息的所述开销区的周期。
3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 所述第二 OTN 帧的参考时钟的频率 F 大于或者等于所述第二 OTN 帧的速率。
4. 根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 所述频率 F 、所述周期 T , 满足:
 $(F * T * 20\text{ppm}) < 10$ 。
5. 一种时钟恢复的方法, 其特征在于, 应用于目的设备, 包括:
接收第一光传送网络 OTN 帧数据流;
从所述第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟;
从所述第一 OTN 帧数据流中获取所述第一 OTN 帧数据流承载的第二 OTN 帧携带的第一相位差信息, 所述第一相位差信息为所述第二 OTN 帧经过的所述目的设备的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和, 所述一组或多组相邻两个上游设备的相位差为整数个标称时钟周期, 其中, 所述标称时钟周期小于或者等于 10ns;
根据所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟和所述服务层时钟生成本地相位差, 所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟用于恢复所述第二 OTN 帧的时钟;
累加所述本地相位差到所述第一相位差信息生成第二相位差信息;
根据所述第二相位差信息调整所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟。
6. 根据权利要求 5 所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述第二相位差信息调整所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟, 包括:
根据所述第二相位差信息生成频率偏差, 所述频率偏差为所述第二相位差信息对应的所述标称时钟的数量与所述标称时钟的乘积;
根据所述频率偏差调整所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟。
7. 根据权利要求 5 所述的方法, 其特征在于,
生成所述本地相位差的周期 T 大于承载所述第一相位差信息的所述第二 OTN 帧的开销区的周期。
8. 根据权利要求 7 所述的方法, 其特征在于,
所述标称时钟的频率 F 大于或者等于所述第二 OTN 帧的速率。
9. 根据权利要求 8 所述的方法, 其特征在于, 所述频率 F 和所述周期 T 满足:
 $(F * T * 20\text{ppm}) < 64$ 。
10. 根据权利要求 7 至 9 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述周期 T 小于 6ms。
11. 根据权利要求 10 所述的方法, 其特征在于, 所述周期 T 为 4ms。
12. 根据权利要求 8 至 11 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述频率 F 的范围为 100MHz-1GHz。
13. 根据权利要求 5 至 12 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述承载所述第一相位差信息的所述第二 OTN 帧的开销区的周期为 3ms。
14. 根据权利要求 5 至 13 中任一项所述的方法, 其特征在于, 恢复的所述第二 OTN 帧的时钟的误差小于或者等于 100ns。
15. 根据权利要求 5 至 14 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述第一相位差信息承载在所述第二

OTN 帧的多个开销区中。

16. 根据权利要求 15 所述的方法, 其特征在于, 所述多个开销区中的每个开销区承载所述第一相位差信息的字节数为 1。

17. 根据权利要求 15 所述的方法, 其特征在于, 所述多个开销区中的每个开销区的多个字节承载多个所述第一相位差信息。

18. 根据权利要求 5 至 17 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述第二 OTN 帧为光业务单元 OSU 帧。

19. 根据权利要求 5 至 18 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述第一 OTN 帧为光数据单元 ODUk 帧或 ODUflex 帧。

20. 根据权利要求 5 至 19 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟的频率随时间变化的幅度在 $\pm 20\text{ppm}$ 范围内。

21. 根据权利要求 5 至 20 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述第二相位差信息调整所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟, 包括:

根据所述第二相位差信息在时间段 T_c 内调整所述目的设备的第二 OTN 帧的参考时钟, T_c 满足:
$$T_c \geq T / (20\text{ppm})$$

22. 一种时钟恢复的方法, 其特征在于, 应用于中间设备, 包括:

接收第一光传送网络 OTN 帧数据流;

从所述第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟;

从所述第一 OTN 帧数据流中获取所述第一 OTN 帧数据流承载的第二 OTN 帧携带的第一相位差信息, 所述第一相位差信息为所述第二 OTN 帧经过的所述中间设备的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和, 所述一组或多组相邻两个上游设备的相位差为整数个标称时钟周期, 其中, 所述标称时钟周期小于或者等于 10ns ;

根据所述中间设备的时钟和所述服务层时钟生成本地相位差;

累加所述本地相位差到所述第一相位差信息生成第二相位差信息;

发送所述第二相位差信息到相邻的下游设备。

23. 根据权利要求 22 所述的方法, 其特征在于,

生成所述本地相位差的周期 T 大于承载所述第一相位差信息的所述第二 OTN 帧的开销区的周期。

24. 根据权利要求 23 所述的方法, 其特征在于,

所述标称时钟的频率 F 大于或者等于所述第二 OTN 帧的速率。

25. 根据权利要求 24 所述的方法, 其特征在于, 所述频率 F 和所述周期 T 满足:
$$(F \times T \times 20\text{ppm}) < 64$$

26. 根据权利要求 23 至 25 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述周期 T 小于 6ms 。

27. 根据权利要求 26 所述的方法, 其特征在于, 所述周期 T 为 4ms 。

28. 根据权利要求 24 至 27 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述频率 F 的范围为 100MHz - 1GHz 。

29. 根据权利要求 22 至 28 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述承载所述第一相位差信息的所述第二 OTN 帧的开销区的周期为 3ms 。

30. 根据权利要求 22 至 29 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述第一相位差信息承载在所述第二 OTN 帧的多个开销区中。

31. 根据权利要求 30 所述的方法, 其特征在于, 所述多个开销区中的每个开销区承载所述第一相位差信息的字节数为 1。

32. 根据权利要求 31 所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

当所述第二相位差信息的绝对值大于预设阈值时, 将所述第二相位差信息拆分为多个部分相位差信息, 所述多个部分相位差信息承载在所述中间设备发送的第二 OTN 帧的多个开销区中。

33. 根据权利要求 22 至 32 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述第二 OTN 帧为光业务单元 OSU 帧。

34. 根据权利要求 22 至 33 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述第一 OTN 帧为光数据单元 ODU 帧, 所述 ODU 帧为 ODUk 帧或 ODUflex 帧。

35. 一种时钟恢复的方法, 其特征在于, 应用于中间设备, 包括:

接收第一光传送网络 OTN 帧数据流；

从所述第一 OTN 帧数据流中获取服务层时钟；

从所述第一 OTN 帧数据流中获取所述第一 OTN 帧数据流承载的第二 OTN 帧携带的第一相位差信息，所述第一相位差信息为所述第二 OTN 帧经过的所述中间设备的一个或者多个上游设备中的一组或多组相邻两个上游设备的相位差的和，所述一组或多组相邻两个上游设备的相位差为整数个标称时钟周期，其中，所述标称时钟周期小于或者等于 10ns；

根据所述中间设备的时钟和所述服务层时钟生成本地相位差；

生成第一信息，所述第一信息包括第二相位差信息或故障信息，所述第二相位差信息为累加所述本地相位差到所述第一相位差信息生成的，所述故障信息指示所述中间设备出现时钟异常；

发送所述第一信息到相邻的下游设备。

36. 根据权利要求 35 所述的方法，其特征在于，所述根据所述中间设备的时钟和所述服务层时钟生成本地相位差，包括：

当确认收到所述第一相位差信息时，计录所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟的周期数 N1，计录所述服务层时钟对应的所述标称时钟的周期数 N2；

计算 N1 与 N2 的差为所述本地相位差。

37. 根据权利要求 36 所述的方法，其特征在于，所述确认收到所述第一相位差信息是通过识别所述第二 OTN 帧的帧头来确定的。

38. 根据权利要求 35 所述的方法，其特征在于，所述根据所述中间设备的时钟和所述服务层时钟生成本地相位差，包括：

根据所述中间设备的时钟和所述服务层时钟的快慢确定以较快的时钟或者较慢的时钟或者平均时钟作为基准时钟；

根据所述基准时钟生成所述本地相位差。

39. 根据权利要求 38 所述的方法，其特征在于，当满足触发计算本地相位差的时刻时，计录所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟的周期数 N1 和所述服务层时钟对应的所述标称时钟的周期数 N2，所述触发计算本地相位差的时刻为所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟和所述服务层时钟对应的所述标称时钟中周期数较早等于预设的期望周期 N 的时刻，或者，所述触发计算本地相位差的时刻为所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟和所述服务层时钟对应的所述标称时钟中周期数较晚等于预设的期望周期 N 的时刻，所述本地相位差为 N1 与 N2 的差。

40. 根据权利要求 36 或 37 所述的方法，其特征在于， $N = F \times T$ ，其中 F 为所述标称时钟的频率，T 为生成所述本地相位差的周期。

41. 根据权利要求 36 或 40 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

根据所述触发计算本地相位差的时刻确定所述中间设备的时钟对应的标称时钟作为基准时钟，所述基准时钟用于确定检测周期，或

根据所述触发计算本地相位差的时刻确定所述服务层时钟对应的标称时钟作为基准时钟。

42. 根据权利要求 35 至 41 中任一项所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

当所述第二相位差信息的绝对值大于预设阈值时，将所述第二相位差信息拆分为多个部分相位差信息，所述多个部分相位差信息承载在所述中间设备发送的第二 OTN 帧的多个开销区中。

43. 根据权利要求 35 至 42 中任一项所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

获取所述第二 OTN 帧的多个开销区中的每个开销区的多个字节承载的多个相位差信息；

根据所述多个所述相位差信息获取所述第一相位差信息。

44. 根据权利要求 35 所述的方法，其特征在于，所述生成故障信息包括：

计录所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟的周期数 N1；

计录所述服务层时钟对应的所述标称时钟的周期数 N2；

当 N1 不属于预设区间，和/或，N2 不属于预设区间时，生成所述故障信息。

45. 根据权利要求 44 所述的方法，其特征在于，所述预设区间为 $[N \times (1 - 20 \text{ ppm}), N \times (1 + 20 \text{ ppm})]$ 。

46. 根据权利要求 35 所述的方法，其特征在于，所述生成故障信息包括：

计录所述中间设备的时钟对应的所述标称时钟的周期数 N1；

计录所述服务层时钟对应的所述标称时钟的周期数 N_2 ;

当 N_1 与 N_2 的差值在预设时间内不等于 -1、0 或 1, 生成所述故障信息。

47. 根据权利要求 46 所述的方法, 其特征在于, 所述预设时间为 $T_{\text{Nominal}} \times 1/(40 \text{ ppm})$, 或 $T_{\text{Nominal}} \times 25000$, T_{Nominal} 为所述标称时钟的周期。

48. 根据权利要求 35 至 47 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述第一信息承载在所述中间设备发送的第二 OTN 帧的开销区中, 所述第一信息占用的字节数为至少一个字节, 所述至少一个字节中的至少一个比特用于指示所述第一信息包括的信息为所述第二相位差信息或所述故障信息。

49. 根据权利要求 45 所述的方法, 其特征在于, 所述第一信息包括故障信息, 所述故障信息包括发生故障的中间设备距离目的设备的节点数量。

50. 根据权利要求 49 所述的方法, 其特征在于, 所述发生故障的中间设备距离目的设备的节点数量由所述第一信息占用的至少一个字节中的至少五个比特承载。

51. 一种光传输网络 OTN 装置, 其特征在于, 包括:

存储器, 所述存储器用于存储指令;

处理器, 所述处理器用于从所述存储器中调用并运行所述指令, 使得所述装置执行权利要求 1 至 50 中任一项所述的方法。