

说明书

一种以太网中发送数据的方法、设备和系统

本申请要求于 2023 年 2 月 14 日提交的申请号为 202310149106.7、发明名称为“一种以太物理层数据处理方法”的中国专利申请，以及于 2023 年 3 月 3 日提交的申请号为 202310247349.4、发明名称为“一种以太网中发送数据的方法、设备和系统”的中国专利申请的优先权，它们的全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及通信领域，尤其涉及一种在以太网中发送数据的方法、设备和系统。

背景技术

在以太网数据传输过程中，由于环境干扰、系统误差等多种因素，数据接收端所接收到的数据与数据发送端所发送出的数据之间会存在不一致，即误码不可避免。现前向纠错（Forward Error Correction, FEC）以及交织器（interleaver）等手段可以降低误码率（bit error rate, BER）。

然而，当数据传输速率进一步提升时，现有的物理编码子层（physical coding sublayer, PCS）执行交织的方式将无法满足需求。

发明内容

提供了一种发送数据的方法、设备和系统，用于解决数据传输速率的提升导致的降低 BER 的技术手段无法满足需求的问题。

第一方面，提供了一种发送数据的方法，该方法由以太网设备执行。该以太网设备可以是以太网芯片，交换机、路由器等以太网转发设备，以及以太网中可插拔的光模块或电模块等等。该以太网设备作为数据发送侧时，该以太网设备的物理介质连接（physical medium attachment, PMA）子层获取经过 FEC 编码的数据流，对该数据流执行第一数据处理过程以获得交织后的数据流（interleaved data stream），其中，第一数据处理过程包括通过第一交织方式进行交织，该第一交织方式的交织类型具体为符号交织（symbol interleave）或卷积交织（convolutional interleave）。其中，PMA 子层获得的数据流可以是一个数据流也可以是多个数据流，该数据流的数量与 PMA 子层与上一子层间的数据通道数量有关，进而，交织可以是指一个数据流内的交织，也可以是多个数据流之间的交织。并且，交织后的数据流也可以是一个数据流或多个数据流。

在本申请中，由数据发送侧的 PMA 子层对数据流执行符号交织或卷积交织，PMA 子层执行交织的具体方式可以灵活设计，确保满足网络中对于降低 BER 的实际需求。并且，由于 PMA 子层的扩展相对简单，对于 PMA 子层的设计无需改动现有 PCS，甚至当 PMA 子层位于可插拔模块中时，对 PMA 子层的设计无需改动现有以太物理 PHY 层的主芯片，从而在尽量节约研究与开发成本的情况下，满足高速率数据传输场景下降低 BER 的需求。

在一种可能的实现方式中，PMA 子层执行符号交织以 10 比特为粒度，或者说，PMA

子层执行的是 10-比特符号交织。该 10-比特符号交织与现有的 PCS 执行交织的粒度一致，该粒度下的符号交织能够有效降低 BER。

在一种可能的实现方式中，PMA 子层对数据流执行的第一数据处理过程中，还包括比特多路复用 (bit mux) 或符号组多路复用 (symbol-group mux)，其中，比特多路复用的粒度为 1 比特，符号组多路复用的粒度可以是 20 比特或 40 比特。通过该比特多路复用或符号组多路复用，PMA 子层输出的数据流数量能够适配 PMA 与数据传输方向上的下一个子层间的数据通道数量。可选的，该比特多路复用或符号组多路复用的处理可以在上述通过第一交织方式进行交织的处理之后执行，或者，该比特多路复用或符号组多路复用的处理也可以包括在上述通过第一交织方式进行交织的处理过程中。

在一种可能的实现方式中，PMA 子层对数据流执行的第一数据处理过程中，还包括比特多路解复用 (bit demux) 或符号组多路解复用 (symbol-group demux)，其中，比特多路解复用的粒度为 1 比特，符号组多路解复用的粒度可以是 20 比特或 40 比特。

在一种可能的实现方式中，PMA 子层对数据流执行的第一数据处理过程中，还包括对齐标志 (alignment marker, AM) 锁定和去偏斜 (deskew)。

PMA 子层获取的数据流来自数据传输方向上的上一个子层，该上一个子层例如可以是 PCS，数据终端设备扩展子层 (data terminal equipment extender sublayer, DTE_XS) 或另一个 PMA 子层。通过上述比特多路解复用或符号组多路解复用，以及对齐标志锁定和去偏斜，可以对来自上一个子层的数据流进行恢复。可选的，上述比特多路解复用或符号组多路解复用，以及对齐标志锁定和去偏斜的处理可以在上述通过第一交织方式进行交织的处理之前执行，即在对来自上一个子层的数据流进行恢复以后，再进行后续的交织。

在一种可能的实现方式中，PMA 子层获取的数据流为执行第二数据处理过程后获得的数据流，该第二数据处理过程包括通过第二交织方式进行交织。即 PMA 子层获取的数据流可以是已经执行过交织的数据流。该第二数据处理过程可以由 PMA 子层之前的其他子层执行，例如，可以由 PCS 或 DTE_XS 执行。并且，执行该第二数据处理过程的子层可以与 PMA 子层直接相邻，也可以非直接相邻，即中间间隔其他子层。也就是说，PMA 子层执行交织，与在前的其他子层执行交织之间并不冲突，因而，无需对现有的其他子层的数据处理方式进行修改，兼容已有的以太网设备。

在一种可能的实现方式中，第一交织方式与第二交织方式的交织深度不同，即通过 PMA 子层的交织进行交织变换 (interleave change)，在某种程度上说，可以认为 PMA 子层的交织覆盖了在前的其他子层的交织。通过这种交织变换，使得新的纠错设计能够在 PMA 子层中灵活地实现，更好地满足不断增长的以太网数据传输速率所带来的降低 BER 的需求，无需对在前的其他子层进行修改，甚至可能无需对整个以太 PHY 层的主芯片进行修改。具体的，PMA 子层的交织可以与在前的其他子层执行的交织的交织深度不同，PMA 子层的交织能够根据实际网络需求进行灵活设计，以满足不断增长的以太网数据传输速率所带来的降低 BER 的需求。

在一种可能的实现方式中，第二交织方式的交织深度为 2 个 FEC 码字。例如，在采用里德-所罗门 (reed-solomon, RS) 码字的情况下，第二交织方式的交织深度为 2 个 RS 码字，即 $2 \times RS$ 。

在一种可能的实现方式中，第一数据处理过程可以包括针对第二交织方式的解交织，

或者，第一数据处理过程也可以不包括针对第二交织方式的解交织。可选的，针对第二交织方式的解交织可以在通过第一交织方式进行交织之前进行，即 PMA 子层先针对在前的其他子层所执行的交织进行解交织，再执行 PMA 子层内的交织。并且，PMA 子层也可以不针对在前的其他子层所执行的交织进行解交织，而直接执行 PMA 子层内的交织。

- 5 在一种可能的实现方式中，第一交织方式的交织深度为 $4 \times RS$ 。当交织深度增加至 $4 \times RS$ 时，可以确保满足各种高速以太网数据传输场景下的降低 BER 的需求，经过 FEC 交织的数据在纠错后的 BER 能够满足网络需求。例如， $4 \times RS$ 的深度至少能够满足单条物理通道（physical lane）速率为 200 吉比特每秒 Gbps 的场景下的降低 BER 的需求。

- 10 在一种可能的实现方式中，上述以太网设备可以包括以下至少一项：PHY 芯片，转发设备，或可插拔模块。

在一种可能的实现方式中，上述由 PMA 子层执行交织后获得的数据流的单条物理通道速率为 200Gbps。容易理解的是，该 200Gbps 为可在本领域常规范围内浮动的数值，而不是指通道速率在任何时刻的准确数值。

- 15 在一种可能实现方式中，上述 PMA 子层接收所述数据流的接口的速率为以下至少一项：200Gbps 或 400Gbps。

在一种可能的实现方式中，PMA 子层从以下任一种接口获取所述数据流：连接单元接口（attachment unit interface, AUI）或通用电气接口（common electrical interface, CEI）。例如，PMA 子层可以与上一个子层在电路上分离，并且通过接口从上一个子层获取数据流，其中接口可以是 AUI 或 CEI 等。

- 20 在一种可能的实现方式中，PMA 子层向物理介质相关（physical medium dependent, PMD）子层发送所述交织后的数据流。在发送侧以太网设备中，该 PMD 子层是 PMD 子层在数据传输方向上的下一个子层。

- 25 第二方面，提供了一种接收数据的方法，该方法由以太网设备执行。该以太网设备可以是以太网芯片，交换机、路由器等以太网转发设备，以及以太网中可插拔的光模块或电模块等等。在数据发送侧的以太网设备中的 PMA 子层执行交织后，数据接收侧的以太网设备中的 PMA 子层需要与之相适应的执行解交织过程。该数据接收侧的以太网设备的 PMA 子层获取数据流，对该数据流执行第三数据处理过程以获得解交织后的数据流（de-interleaved data stream），其中，第三数据处理过程包括通过第一解交织方式进行解交织，该第一解交织方式的解交织类型具体为符号解交织（symbol de-interleave）或卷积解交织（convolutional de-interleave）。其中，PMA 子层获得的数据流可以是一个数据流也可以是多个数据流，该数据流的数量与 PMA 子层与上一子层间的数据通道数量有关，进而，解交织可以是指一个数据流内的解交织，也可以是多个数据流之间的解交织。

- 30 在本申请中，由数据发送侧的 PMA 子层对数据流执行符号交织或卷积交织，对应的，由数据接收侧的 PMA 子层对数据流执行符号解交织或卷积解交织。PMA 子层执行解交织的具体方式可以灵活设计，确保满足网络中对于降低 BER 的实际需求。并且，由于 PMA 子层的扩展相对简单，对于 PMA 子层的设计无需改动现有 PCS，甚至当 PMA 子层位于可插拔模块中时，对 PMA 子层的设计无需改动现有以太物理 PHY 层的主芯片，从而在尽量节约研究与开发成本的情况下，满足高速率数据传输场景下降低 BER 的需求。

在一种可能的实现方式中，PMA 子层执行符号解交织以 10 比特为粒度，或者说，PMA

子层执行的是 10-比特符号解交织。

在一种可能的实现方式中，PMA 子层对数据流执行的第三数据处理过程中，还包括比特多路复用（bit mux）或符号组多路复用（symbol-group mux），其中，比特多路复用的粒度为 1 比特，符号组多路复用的粒度可以是 20 比特或 40 比特。通过该比特多路复用或符号组多路复用，PMA 子层输出的数据流数量能够适配 PMA 与数据传输方向上的下一个子层间的数据通道数量。可选的，该比特多路复用或符号组多路复用的处理可以在上述通过第三交织方式进行解交织的处理之后执行，或者，该比特多路复用或符号组多路复用的处理也可以包括在上述通过第三交织方式进行解交织的处理过程中。

在一种可能的实现方式中，PMA 子层对数据流执行的第三数据处理过程中，包括比特多路解复用（bit demux）或符号组多路解复用（symbol-group demux），其中，比特多路解复用的粒度为 1 比特，符号组多路解复用的粒度可以是 20 比特或 40 比特。

在一种可能的实现方式中，PMA 子层对数据流执行的第三数据处理过程中，包括对齐标志（alignment marker, AM）锁定和去偏斜（deskew）。

PMA 子层获取的数据流来自数据传输方向上的上一个子层，该上一个子层例如可以是 PMD 子层。通过上述比特多路解复用或符号组多路解复用，以及对齐标志锁定和去偏斜，可以对来自上一个子层的数据流进行恢复。可选的，在上述比特多路解复用或符号组多路解复用，以及对齐标志锁定和去偏斜的处理中还可以实现第一解交织方式的处理，即通过比特多路解复用或符号组多路解复用，以及对齐标志锁定和去偏斜的处理对来自上一个子层的数据流进行恢复，并实现解交织。

在一种可能的实现方式中，PMA 子层对数据流执行第三数据处理过程中的解交织之后，还可以通过第二交织方式对解交织后的数据流再次进行交织，以获得再次交织后的数据流。这是为了配合现有的接收侧的以太网设备中的 PCS 或 DTE_XS 的解交织处理，使得无需对现有的 PCS 或 DTE_XS 进行改进，以尽量适配现有的 PHY 芯片。

在一种可能的实现方式中，第一解交织方式的解交织深度为 $4 \times RS$ 。

在一种可能的实现方式中，上述以太网设备可以包括以下至少一项：PHY 芯片，转发设备，或可插拔模块。

第三方面，提供了一种接收数据的方法，该方法由以太网设备执行。该以太网设备可以是以太网芯片，交换机、路由器等以太网转发设备，以及以太网中可插拔的光模块或电模块等等。在数据发送侧的以太网设备中的 PMA 子层执行交织变换后，数据接收侧的以太网设备中的 PMA 子层需要执行与之相对应的交织变换，以将数据流的交织方式变换为与其他子层中执行的解交织过程相适配的交织方式，避免对 PHY 芯片的改动。例如，以太网 PHY 芯片中对数据流执行 $2 \times RS$ 解交织，则 PMA 子层中可将获取到的数据流的交织方式变换为 $2 \times RS$ 交织，以使得 PHY 芯片中对数据流执行 $2 \times RS$ 解交织能够获得正确的数据流。具体的，该数据接收侧的以太网设备的 PMA 子层获取数据流，对该数据流执行第三数据处理过程以获得交织后的数据流，其中，第三数据处理过程包括对所述数据流进行交织，所述交织的交织类型为符号交织或卷积交织。其中，PMA 子层获得的数据流可以是一个数据流也可以是多个数据流，该数据流的数量与 PMA 子层与上一子层间的数据通道数量有关，进而，交织可以是指一个数据流内的交织，也可以是多个数据流之间的交织。

在一种可能的实现方式中,所述符号交织以 10 比特为粒度。

在一种可能的实现方式中,所述交织后的数据流由物理编码子层 PCS 或数据终端设备扩展子层 DTE_XS 进行解交织。

在一种可能的实现方式中,所述交织的交织深度为 $2 \times RS$ 。当以太网 PHY 芯片中将对数据流执行 $2 \times RS$ 解交织时,PMA 子层中可将获取到的数据流的交织方式变换为 $2 \times RS$ 交织,以使得 PHY 芯片中对数据流执行 $2 \times RS$ 解交织后能够获得正确的数据流。

在一种可能的实现方式中,所述第三数据处理过程包括:通过第一解交织方式进行解交织,该第一解交织方式的解交织类型具体为符解号交织或卷积解交织,以获得解交织后的数据流。

在一种可能的实现方式中,所述第三数据处理过程包括:比特多路解复用或符号组多路解复用。其中,比特多路解复用的粒度为 1 比特,符号组多路解复用的粒度可以是 20 比特或 40 比特。

在一种可能的实现方式中,所述第三数据处理过程包括:对齐标志 AM 锁定和去偏斜。

PMA 子层获取的数据流来自数据传输方向上的上一个子层,该上一个子层例如可以是 PMD 子层。通过上述比特多路解复用或符号组多路解复用,以及对齐标志锁定和去偏斜,可以对来自上一个子层的数据流进行恢复。可选的,在上述比特多路解复用或符号组多路解复用,以及对齐标志锁定和去偏斜的处理中还可以实现第一解交织方式的处理,即通过比特多路解复用或符号组多路解复用,以及对齐标志锁定和去偏斜的处理对来自上一个子层的数据流进行恢复,并实现解交织。

在一种可能的实现方式中,所述第三数据处理过程包括:比特多路复用或符号组多路复用。其中,比特多路复用的粒度为 1 比特,符号组多路复用的粒度可以是 20 比特或 40 比特。通过该比特多路复用或符号组多路复用,PMA 子层输出的数据流数量能够适配 PMA 与数据传输方向上的下一个子层间的数据通道数量。可选的,该比特多路复用或符号组多路复用的处理可以在上述通过第三交织方式进行解交织的处理之后执行,或者,该比特多路复用或符号组多路复用的处理也可以包括在上述通过第三交织方式进行解交织的处理过程中。

在一种可能的实现方式中,所述以太网设备包括以下至少一项:物理层 PHY 芯片,转发设备,或可插拔模块。

第四方面,提供了一种以太网设备,包括至少一个模块;该至少一个模块用于执行如上述第一方面或第一方面的任一可选方式所提供的方法;或者,该至少一个模块用于执行如上述第二方面或第二方面的任一可选方式所提供的方法;或者,该至少一个模块用于执行如上述第三方面或第三方面的任一可选方式所提供的方法。其中,该至少一个模块可以基于软件、硬件或软件和硬件的结合实现,该模块可以基于具体实现进行任意组合或分割。

第五方面,提供了一种以太网设备,包括存储器和处理器;该存储器用于存储计算机程序;该处理器用于执行该存储器中存储的计算机程序以使得该以太网设备执行如上述第一方面或第一方面的任一可选方式所提供的方法,或者,执行如上述第二方面或第二方面的任一可选方式所提供的方法;或者,该至少一个模块用于执行如上述第三方面或第三方面的任一可选方式所提供的方法。

第六方面,提供了一种以太网设备,包括主控板和接口板,该主控板或该接口板用于

实现如上述第一方面或第一方面的任一可选方式所提供的方法，或者，该主控板或该接口板用于实现如上述第二方面或第二方面的任一可选方式所提供的方法；或者，该至少一个模块用于执行如上述第三方面或第三方面的任一可选方式所提供的方法。

- 5 第七方面，提供了一种通信系统，该系统通信系统包括以太网设备，所述以太网设备用于执行如上述第一方面或第一方面的任一可选方式所提供的方法，或者，执行如上述第二方面或第二方面的任一可选方式所提供的方法；或者，该至少一个模块用于执行如上述第三方面或第三方面的任一可选方式所提供的方法。

- 10 第八方面，提供了一种计算机可读存储介质，该计算机可读存储介质中存储有计算机程序，该计算机程序被执行时实现如上述第一方面或第一方面的任一可选方式所提供的方法；或者，实现如上述第二方面或第二方面的任一可选方式所提供的方法；或者，实现如上述第三方面或第三方面的任一可选方式所提供的方法；或者，该至少一个模块用于执行如上述第三方面或第三方面的任一可选方式所提供的方法。

- 15 第九方面，提供了一种计算机程序产品，该计算机程序产品包括程序或代码，该程序或代码被执行时实现如上述第一方面或第一方面的任一可选方式所提供的方法；或者，实现如上述第二方面或第二方面的任一可选方式所提供的方法；或者，实现如上述第三方面或第三方面的任一可选方式所提供的方法；或者，该至少一个模块用于执行如上述第三方面或第三方面的任一可选方式所提供的方法。

- 20 第十方面，提供了一种芯片，该芯片运行时实现如上述第一方面或第一方面的任一可选方式所提供的方法；或者，实现如上述第二方面或第二方面的任一可选方式所提供的方法；或者，实现如上述第三方面或第三方面的任一可选方式所提供的方法。该芯片可以是控制芯片或转发芯片，该芯片包括可编程逻辑电路和/或程序指令；或者，该至少一个模块用于执行如上述第三方面或第三方面的任一可选方式所提供的方法。

上述第二方面至第十方面的技术效果可以参考第一方面的技术效果，这里不做赘述。

25 附图说明

为了更清楚地说明本申请的技术方案，下面将对实施例中所使用的附图作简单地介绍。显而易见地，下面附图只是本申请的一些实施例的附图，对于本领域普通技术人员来说，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同样能实现本申请的其他技术方案和附图。

- 30 图 1(a)为本发明实施例提供的一种随机误码示意图；
图 1(b)为本发明实施例提供的一种随机误码示意图；
图 2 为本发明实施例提供的一种交织器处理过程示意图；
图 3 为本发明实施例提供的一种数据发送的方法流程示意图；
图 4(a)为本发明实施例提供的一种以太网设备的物理层的实现方式的示意图；
35 图 4(b)为本发明实施例提供的一种以太网设备的物理层的实现方式的示意图；
图 4(c)为本发明实施例提供的一种以太网设备的物理层的实现方式的示意图；
图 5 为本发明实施例提供的一种交织的数据处理过程的示意图；
图 6 为本发明实施例提供的一种交织的数据处理过程的示意图；
图 7(a)为本发明实施例提供的一种复用的数据处理过程的示意图；

- 图 7(b)为本发明实施例提供的一种复用的数据处理过程的示意图;
- 图 7(c)为本发明实施例提供的一种复用的数据处理过程的示意图;
- 图 8(a)为本发明实施例提供的一种数据接收的方法流程示意图;
- 图 8(b)为本发明实施例提供的一种数据接收的方法流程示意图;
- 5 图 9(a)为本发明实施例提供的一种 PMA 子层数据发送和接收的方法流程示意图;
- 图 9(b)为本发明实施例提供的一种 PMA 子层数据发送和接收的方法流程示意图;
- 图 9(c)为本发明实施例提供的一种 PMA 子层数据发送和接收的方法流程示意图;
- 图 9(d)为本发明实施例提供的一种 PMA 子层数据发送和接收的方法流程示意图;
- 图 10 为本发明实施例提供的一种以太网设备的结构示意图;
- 10 图 11 为本发明实施例提供的一种以太网设备的结构示意图;
- 图 12 为本发明实施例提供的一种以太网设备的结构示意图;
- 图 13 为本发明实施例提供的一种通信系统的示意图。

具体实施方式

- 15 在通信传输过程中, 由于环境干扰和系统误差等多种原因, 数据接收端所收到的数据与数据发送端所发出的数据之间极有可能存在不一致, 这种不一致又称为误码, 可以看出, 在通信传输过程中的误码问题不可避免。误码会引起很多问题, 例如, 当网络中的各种设备之间交互的关键控制信号存在误码时, 可能会导致系统崩溃、数据丢失等严重问题, 另外, 误码的存在会在很大程度上影响网络通信时延, 进而影响消费者观看视频、网络游戏以及通话等活动的体验。因此, 误码率 BER 一直是通信系统的重要性能指标。数据接收
- 20 端的 BER 数值越小, 代表网络传输可靠性越高。

- 为了确保通信系统的高可靠性, 行业内通常会对通信系统的 BER 提出明确要求。例如, 电机电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)标准 802.3bs 中要求数据接收端所接收的数据在进入介质访问控制(media access control, MAC)子层时的 BER 应当低于 1×10^{-13} 。然而, 网络中的数据在完成在网络链路中的传输后进入数据接
- 25 收端时, 其 BER 通常可达 2.4×10^{-4} 。此时, 数据接收端可以采用 FEC 对数据流中的误码进行纠正, 以将其恢复为发送的数据。FEC 可以消除大部分的误码, 使得处理后的数据 BER 大幅降低。

- FEC 的效果与误码分布有关, 当两条数据流的误码分布情况不同时, 即便它们的纠前
- 30 BER 相同, 它们的纠后 BER 也会存在差异。其中, 纠前 BER 指进行 FEC 之前的 BER, 纠后 BER 指经过 FEC 之后的 BER。误码的分布情况主要可以分为两类: 随机误码(random error)和非随机误码(non-random error)。为了形象说明, 图 1(a)和图 1(b)中对随机误码和非随机误码进行了示例, 其中 b 表示数据正确的比特位, x 表示出现误码的比特位。随机误码表现为误码分布随机, 如图 1(a), 非随机误码表现为多个误码集中出现在较短的数据序列上, 如图 1(b), 因而, 非随机误码又可称为突发误码(burst error)。突发误码在实际通信网络中普遍存在, 例如, 判决反馈均衡(Decision Feedback Equalization, DFE)导致的连续误码, 以及无线信息的多径效应引发快衰落所导致的连续误码等等。如上所示, 图 1(a)和图 1(b)中数据当前的 BER 相同, 但不同的误码分布情况将导致这些数据在经过
- 35

FEC 后的 BER 产生差异。在大多数通信传输条件下，基于相同的纠前 FEC，突发误码会导致比随机误码更好的纠后 BER。

针对突发误码的情况，为了进一步降低纠后 FEC，通常会引入交织器。交织器的使用方式如图 2 所示。图 2 中，Tx 为数据发送端中待输入 FEC 编码器的数据，这些数据在数据发送端经过 FEC 编码器编码后输入至交织器进行交织，交织器输出的数据经过通信信道传输至数据接收端，数据在数据接收端输入解交织器进行解交织，然后进入 FEC 解码器进行解码，Rx 为数据接收端中 FEC 解码器输出的数据，经过 FEC 和交织处理，Rx 中的 BER 将大幅降低。上述交织器可以设置在以太网设备的 PCS 中，例如，以太网 PHY 芯片中的 PCS，即由 PCS 对数据执行交织。

如前所述，随着互联网技术的发展，以太网数据传输速率不断提升，导致数据接收端的 BER 进一步增加，此时，PCS 执行的交织往往无法满足降低 BER 的需求。此时，如果重新设计 PCS 的电路，则意味着重新设计以太网 PHY 芯片，这将导致高额的成本。

本申请提出了一种发送数据的方法，该方法由数据发送侧的以太网设备执行。该方法中扩展了以太网设备的 PMA 子层的功能，在 PMA 子层内对数据执行交织，具体的，PMA 子层获取经过 FEC 编码的数据流，对该数据流执行数据处理过程 1 以获得交织后的数据流，其中，数据处理过程 1 包括通过第一交织方式进行交织，该第一交织方式的交织类型具体为符号交织或卷积交织。通过该方法，由 PMA 子层对数据流执行符号交织或卷积交织，PMA 子层执行交织的具体方式可以灵活设计，确保满足网络中对于降低 BER 的实际需求。并且，由于 PMA 子层的扩展相对简单，对于 PMA 子层的设计无需改动现有 PCS，甚至当 PMA 子层位于可插拔模块中时，对 PMA 子层的设计无需改动现有以太网物理 PHY 层的主芯片，从而在尽量节约研究与开发成本的情况下，满足高速率数据传输场景下降低 BER 的需求。

图 3 为本申请实施例一种数据传输方法 300 的流程示意图。该方法例如可以包括：

步骤 301、以太网设备的物理介质连接 PMA 子层获取数据流，该数据流是经过前向纠错 FEC 编码的数据流。

其中，以太网设备可以是以太网芯片，交换器、路由器等以太网转发设备，以及以太网中可插拔的光模块或电模块等等。此时，该以太网设备为数据发送侧的以太网设备。容易理解的是，在某些时刻，该以太网设备也可以作为数据接收侧的以太网设备，执行数据接收侧的方法。

在本申请实施例中，以太网物理层可以根据主要功能进一步划分为多个子层，这些子层包括但不限于：PCS、PMA 子层、物理介质相关（physical medium dependent, PMD）子层等。这些子层的具体实现方式可以为电子电路。其中，PCS 负责对数据进行编码、扰码等处理，并且，FEC 编码也在 PCS 中进行。本申请实施例中的以太网物理层的实现方式可以有三种，第一种方式如图 4(a)所示，其中以太网物理层包括 PCS、PMA 子层和 PMD 子层，3 个子层均包括在 PHY 芯片内。这种方式通常适用于铜缆传输、背板传输以及光电合封（co-packaging optics, CPO）传输场景。第二种方式如图 4(b)所示，其中以太网物理层包括 PCS、PMA 子层和 PMD 子层，PCS 和一个 PMA 子层包括在 PHY 芯片内，另一个 PMA 子层和 PMD 子层包括在可插拔光模块或可插拔电模块中，该可插拔光模块或可插拔电模块在电路实现上独立于 PHY 芯片，并且通过接口与 PHY 芯片连接，图 4(b)所示

接口类型为 AUI，可以理解的是，该接口类型还可以包括其他类型，例如 CEI。这种方式通常适用于光纤传输或电传输场景，也适用于采用级联码的场景。第三种方式如图 4(c)所示，其中以太网物理层包括 PCS、PMA 子层、PMD 子层、DTE_XS 和物理层设备扩展子层（physical layer device extender sublayer, PHY_XS）构成，DTE_XS 和第一个 PMA 子层包
5 括在 PHY 芯片内，第二个 PMA 子层、PHY_XS、PCS、第三个 PMA 子层和 PMD 子层包括在可插拔光模块或可插拔电模块中，该可插拔光模块或可插拔电模块同样在电路实现上独立于 PHY 芯片，并且通过接口与 PHY 芯片连接，图 4(c)所示接口类型为 AUI，可以理解的是，该接口类型还可以包括其他类型，例如 CEI。

在本申请实施例中，通过第一交织方式进行交织的 PMA 子层可以是上述图 4(a)中的
10 PMA 子层，上述图 4(b)中位于可插拔光模块或可插拔电模块中的 PMA 子层，图 4(c)中位于 PHY 芯片中的 PMA 子层，或者图 4(c)中位于可插拔光模块或可插拔电模块中的第二个 PMA 子层，即与 PCS 和 PMD 相邻的 PMA 子层。

当通过第一交织方式进行交织的 PMA 子层为位于可插拔光模块或可插拔电模块中的 PMA 子层时，为了实现本申请实施例中的方法，仅需在可插拔模块中的 PMA 子层中进行
15 设计，而无需对 PHY 芯片进行改动，能够兼容现有的 PHY 芯片。并且同一 PHY 芯片可以匹配多种不同的可插拔光模块或可插拔电模块，实现多种不同的交织方式的扩展。当未来以太网数据传输速率进一步提升时，可以通过直接更换可插拔模块实现纠错性能的升级。

当通过第一交织方式进行交织的 PMA 子层为位于 PHY 芯片中的 PMA 子层时，为了实现本申请实施例中的方法，仅需对芯片中的 PMA 子层进行重新设计，仍然能够重复利用
20 现有的 PCS。如前所述，PCS 功能复杂，而 PMA 子层相对简单，更容易实现扩展，因而通过本申请实施例中的方法能够实现对 PHY 芯片的修改尽量减少。

在一种可选方式中，通过第一交织方式进行交织的 PMA 子层获取数据流，可以是指该 PMA 子层从数据流传输方向上的上一个子层获得数据流。结合上述三种物理层实现方
25 式，上一个子层可以是 PCS、PMA 或 DTE_XS。当该 PMA 子层与上一个子层在电路实现上相互分离时，该 PMA 子层通过接口从上一个子层获取数据流，其中接口可以是 AUI 或 CEI 等。

在一种可选方式中，PMA 子层获取数据流的接口的速率为以下至少一项：200Gbps 或 400Gbps，或其他速率值，在此不做限定。

30 在一种可选方式中，PMA 子层获取的数据流可以是一个数据流也可以是多个数据流。

在一种可选方式中，PMA 子层在获取数据流后，可以先对单条数据流进行拆分。例如，当 PMA 子层接收数据流的接口的速率为 400Gbps，可以先将其拆分为两组数据流，然后由 PMA 子层分别进行交织。从而，便于后续可插拔模块中执行 breakout 处理。

步骤 302、所述 PMA 子层对所述数据流执行数据处理过程 1，以获得交织后的数据流，
35 第一数据处理过程 1 包括通过第一交织方式进行交织。

如前所述，PMA 子层获取的数据流可以是一个数据流也可以是多个数据流，相应的，上述通过第一交织方式进行交织，可以是数据流内的交织，也可以是数据流之间的交织。

在本申请实施例中，交织方式可以具有多种属性。交织类型是交织方式的一种属性，上述第一交织方式的交织类型为符号交织或卷积交织。其中，符号交织，也可以称为分组

交织 (block interleaver)。符号交织和卷积交织的在纠错性能方面基本一致，但达到同等纠错性能的情况下，两种方式的时延和功耗可能不同。

交织深度也是交织方式的一种属性，交织深度指示参与交织的 FEC 码字数量，参与交织的 FEC 码字数量会影响纠错性能。

5 图 5 示例性地给出了符号交织的数据处理方式的示意图。

如图 5 所示，从待交织的数据流中获取多个 FEC 编码后的码字作为参与交织的码字，如图中的 codewordA, codewordB, codewordC, codewordD 等。当参与交织的码字来自同一个数据流时，即数据流内的交织，当参与交织的码字来自不同数据流时，即数据流之间的交织。其中每个码字包括 p 个 FEC 编码后的符号 (symbol)，每个符号包括 q 个比特，也即每个码字包括 $p \times q$ 个比特。例如，每个符号的长度可以为 10 比特，即以 10 比特为粒度的符号交织。如图中从待交织的数据流中选取 4 个码字参与交织，即交织深度为 4 个码字，当该码字为 RS 码字时，可称作交织深度为 $4 \times \text{RS}$ 。将这 4 个码字以符号为粒度进行交替并分发为 n 条 lane 上的 n 条数据流输出，使得每条数据流相邻的符号来自不同的码字，即来自上述 4 个码字的符号交替出现，则形成交织后数据序列，即图中所示的 interleaved lane 1 至 interleaved lane n 。

图 6 示例性地给出了卷积交织的一种数据处理方式的示意图。卷积交织涉及多种设计参数，包括延时行数 (delay line number)、延时块长度 (delay block length)、延时块数量 (delay block number) 等。如图 6 所示，从待交织的数据流中获取多个 FEC 编码后的码字参与交织，包括 cwA, cwB, cwC, cwD 等。交织深度为 4 个码字，即从待交织的数据流中选取 4 个码字，即上述的 cwA, cwB, cwC, cwD，延时行数为 4，即从上到下的 4 行数据 line 0, 1, 2, 3。图 6 中 D 代表延时块，每个延时块由移位寄存器 (LFSR) 组成，可暂时存储一定数据，并且每个延时行上的延时块数量不同。交织器的输入、输出侧各有一个可切换连接的开关，用于连接某条延时行。FEC 码字的数据以延时块长度为粒度按列进入卷积交织器，如图 6 中 a, b, c, d 所示。其中，当 FEC 码字长度与延时块长度相同时，进入卷积交织器的粒度也即 FEC 码字的长度，当 FEC 码字长度与延时块长度不相同，在进入卷积交织器时，需要 FEC 码字数据调整为以延时块长度为粒度进入卷积交织器。当输入侧每输入一个延时块长度的数据，同时输出侧会输出一个延时块长度的数据，之后两侧的可切换连接开关会切换到下一条延时行，按照 {line 0, line 1, line 2, line 3, line 0, line 1, line 2, line 3, line 0, line 1, ...} 的顺序轮询。此外，图 6 中输出侧 x 表示延时块内存储的 4 个码字之前的数据。并且，虽然图 6 中以一条数据流的卷积交织为例，但多条数据流之间的卷积交织与图 6 中所示的过程相似，区别在于参与交织的码字来源于多条数据流，在此不再赘述。

在本申请实施例中，PMA 子层执行的第一交织方式可以通过上述符号交织或卷积交织实现。可选的，PMA 子层在执行交织的过程中需要保留对齐标志 (alignment marker, AM) 35 的可用性，以便于在数据接收侧仍然能够根据 AM 进行数据同步。

在一种可选方式中，PMA 子层从上一个子层获取的数据流可以是已经执行过交织的数据流，也就是说，PMA 子层之前的其他子层可能已经对数据流进行过交织。具体的，PMA 子层获取的数据流为执行数据处理过程 2 后获得的数据流，该数据处理过程 2 包括通过第二交织方式进行交织。该数据处理过程 2 可以由 PMA 子层之前的其他子层执行，

如前所述,执行该数据处理过程 2 的子层可以与 PMA 子层直接相邻,也可以非直接相邻,即中间间隔其他子层。可选的,可以由 PCS 或 DTE_XS 执行第二交织方式。该第二交织方式也可以通过上述符号交织或卷积交织实现。也就是说,PMA 子层执行交织,与在前的其他子层执行交织之间并不冲突。尤其是,当 PMA 子层位于可插拔光模块或可插拔电模块中时,无需对 PHY 芯片中的 PCS 或 DTE_XS 进行改动,能够兼容现有的 PHY 芯片,只需在可插拔模块中的 PMA 子层中进行设计以满足网络中降低 BER 的需求即可。当 PMA 子层位于 PHY 芯片时,也能够重复利用现有的 PCS 或 DTE_XS,而仅需对芯片中的 PMA 子层进行重新设计,通过相对简单的扩展来满足网络中降低 BER 的需求。

在一种可选方式中,第一交织方式与第二交织方式可以不同,即通过 PMA 子层的交织进行交织变换(interleave change),在某种程度上说,可以认为 PMA 子层的交织覆盖了在前的其他子层的交织。通过这种交织变换,使得新的纠错设计能够在 PMA 子层中灵活地实现,更好地满足不断增长的以太网数据传输速率所带来的降低 BER 的需求,无需对在前的其他子层进行改动,甚至可能无需对整个以太 PHY 层的主芯片进行改动。

在一种可选方式中,上述交织变换具体为:第一交织方式与第二交织方式的交织深度不同。以 PCS 执行 $2 \times RS$ 交织为例,PMA 子层执行的交织深度可以为 $4 \times RS$,即 PMA 子层实现了更深的交织,能够满足单条物理通道速度达到 200Gbps 场景下的纠错需求。

在一种可选方式中,第一交织方式与第二交织方式的交织类型可以相同也可以不同。例如,PMA 子层与 PCS 均执行 10 比特粒度的符号交织。又例如,PCS 子层执行符号交织,而 PMA 子层执行卷积交织。

在一种可选方式中,在通过第一交织方式进行交织之前,在 PMA 子层中可以针对第二交织方式解交织,或者,在 PMA 子层中也可以不针对第二交织方式解交织。也就是说,PMA 子层可以先针对在前的其他子层所执行的交织进行解交织,再执行 PMA 子层内的交织。或者,PMA 子层也可以不针对在前的其他子层所执行的交织进行解交织,而直接执行 PMA 子层内的交织。以 PCS 执行 $2 \times RS$ 交织为例,在 PMA 子层中先等待获得 2 个码字的数据,然后再与后续到达的 2 个码字的数据开始做交织,参与交织的码字数量总计为 4 个,即交织深度为 $4 \times RS$ 。

在一种可选方式中,PMA 子层对数据流执行的数据处理过程 1 中,还包括比特多路复用或符号组多路复用。如前所述,PMA 子层在数据处理后将数据输出至下一个子层,例如 PMD 子层,因而,PMA 子层中需要确保输出数据适配与下一个子层间连接的通道数量。具体的,通过比特多路复用或符号组多路复用可以将待输出的数据处理为适配与下一个子层间连接的通道数量。该比特多路复用或符号组多路复用可以包含在上述第一交织方式对应的数据处理过程中,即由 PMA 子层执行交织过程中,同时考虑到与下一个子层间连接的通道数量,将数据同时进行比特多路复用或符号组多路复用。该比特多路复用或符号组多路复用也可以在上述第一交织方式对应的数据处理过程之后,即 PMA 子层先执行交织过程,然后对数据进行比特多路复用或符号组多路复用,以使得数据流适配与下一个子层间连接的通道数量。

图 7(a)至图 7(c)示例性地给出了符号组多路复用的数据处理方式的示意图。例如,参与复用的初始数据流为两条,分别为 data stream 1 和 data stream 2,其中,参与复用的初始数据流的数量可以是任意数量,在此不做限定。在符号组多路复用中,将每条数据流以

符号为粒度进行划分，符号的长度例如可以是 20 比特或 40 比特，每条数据流中的至少 2 个符号可以组成符号组（symbol-group），然后将来自两条数据流的数据以符号组为粒度轮询交替复用至一个通道，如图 7(a)中的 muxed lane，该 muxed lane 对应子层间接口中的一个通道。容易理解的是，当两子层间接口包括 4 条通道时，采用图 7(a)所示的方式进行复用，将由 8 条数据流复用至 4 条 muxed lane。在本申请实施例中，PMA 子层所执行的符号组多路复用中，输入的数据流数量以及复用后的通道数量可以根据实际情况而定，在此不做限制。并且，在符号组多路复用中，在将来自两条数据流的数据以符号组轮询交替复用至一个通道时，还可以包括对其中一条数据流中的数据位置进行交换，例如，将 2 个符号的位置前后互换，如图 7(b)所示，或者，将其中一条数据流中的数据位置延后 1 个符号以形成错位等其他操作，如图 7(c)所示，其中 x 为由于延后而出现的前面或后面的 symbol。在比特多路复用中，参与复用的数据流以 1 个比特为粒度进行划分，其他操作与符号组多路复用相似，在此不再赘述。

在一种可选方式中，在 PMA 子层执行卷积交织之前，也可以增加一个对数据流进行比特多路复用或符号组多路复用的步骤，以调整卷积交织时的数据流数量，其具体操作可以参考上述图 7(a)至图 7(c)所示，在此不再赘述。

在一种可选方式中，PMA 子层对数据流执行的数据处理过程 1 中，还可以包括一项或多项其他处理，例如，比特多路解复用（bit demux）或符号组多路解复用（symbol-group demux），AM 锁定和去偏斜（deskew）等。如前所述，PMA 子层获取的数据流来自上一个子层，该上一个子层例如可以是 PCS，DTE_XS 或另一个 PMA 子层等等。PMA 子层与上一个子层之间可以在电路上分离或不分离，当 PMA 子层与上一个子层之间在电路上分离时，两者之间可以通过接口连接，接口类型包括但不限于 AUI 或 CEI 等。在通过由上一个子层向 PMA 子层发送之前，这些数据流可能经过比特多路复用或符号组多路复用，以适配子层间的通道数量，并且，在通过接口传输时，这些数据流中的数据也可能产生失锁或偏斜，因此，需要在 PMA 子层中对接收到的数据流进行恢复。例如，在图 4(b)所示的以太网物理层的实现方式中，位于可插拔模块中的 PMA 子层通过 AUI 接收数据流，该数据流在 PHY 芯片中的 PMA 子层中进行了比特多路复用或符号组多路复用，在可插拔模块中的 PMA 子层首先需要针对性地进行相应的比特多路解复用或符号组多路解复用，并且，对通过 AUI 接口传输时而产生失锁或偏斜的数据进行 AM 锁定和去偏斜，从而恢复出上一个子层发送至通道的数据流，例如，当上一个子层为 PCS 层时，即恢复出 PCS lane 数据流。可选的，上述比特多路解复用或符号组多路解复用，以及对齐标志锁定和去偏斜的处理，可以在上述通过第一交织方式进行交织的处理之前执行，即 PMA 子层首先对来自上一个子层的数据流进行恢复，再进行后续的交织。可选的，其中比特多路解复用的粒度为 1 比特，符号组多路解复用的粒度可以是 20 比特或 40 比特。可选的，在上述去偏斜处理中，可以将数据对齐至 AM，也可以将数据对齐至符号边界，例如，将数据以齐至 10 比特粒度的符号边界，或将数据以齐至 20 比特粒度的符号边界，或将数据以齐至 40 比特粒度的符号边界。

在一种可选方式中，PMA 子层还可以再次执行 FEC 编码，以提升数据纠错性能。

在一种可选方式中，上述由 PMA 子层执行交织后获得的数据流的单条物理通道速率为 200Gbps。容易理解的是，该 200Gbps 为可在本领域常规范围内浮动的数值，而不是指

通道速率在任何时刻的准确数值。

以上为数据发送侧的以太网设备所执行的方法的描述，数据接收侧的以太网设备需要执行与数据发送侧相配合的方法。图 8(a)示出了一种接收数据的方法，在数据发送侧的以太网设备中的 PMA 子层执行交织后，数据接收侧的以太网设备中的 PMA 子层需要与之相适应的执行解交织过程。该方法由以太网设备执行，该以太网设备可以是以太网芯片，交换器、路由器等以太网转发设备，以及以太网中可插拔的光模块或电模块等等。该数据接收侧的以太网设备的 PMA 子层获取数据流，对该数据流执行数据处理过程 31 以获得解交织后的数据流，其中，数据处理过程 31 包括通过第一解交织方式进行解交织，该第一解交织方式的解交织类型具体为符号解交织或卷积解交织。在该方法中，由于 PMA 子层的扩展相对简单，对于 PMA 子层的设计无需改动现有 PCS，甚至当 PMA 子层位于可插拔模块中时，对 PMA 子层的设计无需改动现有以太物理 PHY 层的主芯片，从而在尽量节约研究与开发成本的情况下，满足高速率数据传输场景下降低 BER 的需求。

图 8(a)为本申请实施例中一种数据传输方法的流程示意图。该方法例如可以包括：

步骤 8011、以太网设备的 PMA 子层获取数据流，该数据流是经过前向纠错 FEC 编码的数据流。

其中，以太网设备可以是以太网芯片，交换器、路由器等以太网转发设备，以及以太网中可插拔的光模块或电模块等等。此时，该以太网设备为数据接收侧的以太网设备。容易理解的是，在某些时刻，该以太网设备也可以作为数据发送侧的以太网设备，执行数据发送侧的方法。

该数据接收侧的以太网设备中以太网物理层的实现方式同样可以参考如图 4(a)，图 4(b)，和图 4(c)所示的实现方式，在此不做赘述。

在本申请实施例中，通过第一解交织方式进行解交织的 PMA 子层可以是上述图 4(a)中的 PMA 子层，上述图 4(b)中位于可插拔光模块或可插拔电模块中的 PMA 子层，图 4(c)中位于 PHY 芯片中的 PMA 子层，或者图 4(c)中位于可插拔光模块或可插拔电模块中的第二个 PMA 子层，即与 PCS 和 PMD 相邻的 PMA 子层。

在一种可选方式中，PMA 子层获取数据流，可以是指该 PMA 子层从数据流传输方向上的上一个子层获得数据流。结合上述三种物理层实现方式，上一个子层可以是 PMD。当该 PMA 子层与上一个子层在电路实现上相互分离时，该 PMA 子层通过接口从上一个子层获取数据流，其中接口可以是 AUI 或 CEI 等。

在一种可选方式中，PMA 子层获取的数据流可以是一个数据流也可以是多个数据流。

步骤 8012、PMA 子层对数据流执行数据处理过程 31，以获得解交织后的数据流，数据处理过程 31 包括通过第一解交织方式进行解交织。

如前所述，PMA 子层获取的数据流可以是一个数据流也可以是多个数据流，相应的，上述通过第一解交织方式进行交织，可以是数据流内的解交织，也可以是数据流之间的解交织。

在本申请实施例中，第一解交织方式的解交织类型为符号解交织或卷积解交织。符号解交织或卷积解交织的数据处理过程为上述图 5 及图 6 所示的数据处理过程相对应的解交织过程，其具体细节在此不再赘述。

在一种可选方式中，与第一交织方式相对应，该第一解交织方式的解交织以 10 比特

为粒度，或者说，PMA 子层执行的是 10-比特符号解交织。

在一种可选方式中，该接收侧的 PMA 子层执行的数据处理过程 31 中，也包括比特多路复用或符号组多路复用，以使得输出的数据流数量能够适配 PMA 子层与数据传输方向上的下一个子层间的数据通道数量。其具体实现方式与发送侧的 PMA 子层中的比特多路复用或符号组多路复用类似，在此不再赘述。其中，比特多路复用的粒度为 1 比特，符号组多路复用的粒度可以是 20 比特或 40 比特。可选的，该比特多路复用或符号组多路复用的处理可以在上述通过第三交织方式进行解交织的处理之后执行，或者，该比特多路复用或符号组多路复用的处理也可以包括在上述通过第三交织方式进行解交织的处理过程中。

在一种可选方式中，PMA 子层对数据流执行的数据处理过程 31 中，还包括比特多路解复用或符号组多路解复用，其中，比特多路解复用的粒度为 1 比特，符号组多路解复用的粒度可以是 20 比特或 40 比特。

在一种可选方式中，PMA 子层对数据流执行的数据处理过程 31 中，还包括 AM 锁定和去偏斜。

通过上述比特多路解复用或符号组多路解复用，以及对齐标志锁定和去偏斜，可以对来自上一个子层的数据流进行恢复。例如，上一个子层为 PMD。可选的，在上述比特多路解复用或符号组多路解复用，以及对齐标志锁定和去偏斜的处理中实现通过第一解交织方式有解交织处理之前执行，即通过上述比特多路解复用或符号组多路解复用，以及对齐标志锁定和去偏斜的处理对来自上一个子层的数据流进行恢复，并进行解交织。

在一种可选方式中，PMA 子层对数据流执行数据处理过程 31 中的解交织之后，还可以通过第二交织方式对解交织后的数据流再次进行交织，以获得再次交织后的数据流。这是为了配合现有的接收侧的以太网设备中的 PCS 或 DTE_XS 的解交织处理，使得无需对现有的 PCS 或 DTE_XS 进行改进，以尽量适配现有的 PHY 芯片。

在一种可选方式中，第一解交织方式的解交织深度为 $4 \times RS$ 。

在一种可选方式中，PMA 子层还可以执行 FEC 解码，以提升数据纠错性能。

此外，接收侧以太网设备中的更多实现细节可以与上述发送侧以太网设备相配合，在此不再赘述。

图 8(b)示出了另一种接收数据的方法，该方法由以太网设备执行，该以太网设备可以是以太网芯片，交换机、路由器等以太网转发设备，以及以太网中可插拔的光模块或电模块等等。在数据发送侧的以太网设备中的 PMA 子层执行交织后，数据流的交织方式发生了变换，数据接收侧的以太网设备中的 PMA 子层需要执行与之相对应的交织变换，以将数据流的交织方式变换为与其他子层中执行的解交织过程相适配的交织方式，避免对 PHY 芯片的改动。例如，以太网 PHY 芯片中对数据流执行 $2 \times RS$ 解交织，则 PMA 子层中可将获取到的数据流的交织方式变换为 $2 \times RS$ 交织，以使得 PHY 芯片中对数据流执行 $2 \times RS$ 解交织能够获得正确的数据流。该数据接收侧的以太网设备的 PMA 子层获取数据流，对该数据流执行数据处理过程 32 以获得交织后的数据流，其中，数据处理过程 32 包括对上述数据流进行交织，所述交织的交织类型为符号交织或卷积交织。在该方法中，在数据接收侧的以太网设备中的 PMA 子层执行交织，以将数据流的交织方式变换为与其他子层中执行的解交织过程相适配的交织方式，即实现交织变换，能够在提升纠错性能，满足网络中降低 BER 需求的同时，避免对 PHY 芯片的改动。

图 8(b)为本申请实施例中一种数据传输方法的流程示意图。该方法例如可以包括：

步骤 8021、以太网设备的 PMA 子层获取数据流，所述数据流是经过前向纠错 FEC 编码的数据流。

其中，以太网设备可以是以太网芯片，交换器、路由器等以太网转发设备，以及以太网中可插拔的光模块或电模块等等。此时，该以太网设备为数据接收侧的以太网设备。容易理解的是，在某些时刻，该以太网设备也可以作为数据发送侧的以太网设备，执行数据发送侧的方法。

该数据接收侧的以太网设备中以太网物理层的实现方式同样可以参考如图 4(a)，图 4(b)，和图 4(c)所示的实现方式，在此不做赘述。

在本申请实施例中，通过第一解交织方式进行解交织的 PMA 子层可以是上述图 4(a)中的 PMA 子层，上述图 4(b)中位于可插拔光模块或可插拔电模块中的 PMA 子层，图 4(c)中位于 PHY 芯片中的 PMA 子层，或者图 4(c)中位于可插拔光模块或可插拔电模块中的第二个 PMA 子层，即与 PCS 和 PMD 相邻的 PMA 子层。

在一种可选方式中，PMA 子层获取数据流，可以是指该 PMA 子层从数据流传输方向上的上一个子层获得数据流。结合上述三种物理层实现方式，上一个子层可以是 PMD。当该 PMA 子层与上一个子层在电路实现上相互分离时，该 PMA 子层通过接口从上一个子层获取数据流，其中接口可以是 AUI 或 CEI 等。

在一种可选方式中，PMA 子层获取的数据流可以是一个数据流也可以是多个数据流。

步骤 8012、所述 PMA 子层对所述数据流执行数据处理过程 32，以获得交织后的数据流，数据处理过程 32 包括对所述数据流进行交织。

如前所述，PMA 子层获取的数据流可以是一个数据流也可以是多个数据流，相应的，上述交织，可以是数据流内的交织，也可以是数据流之间的交织。

在本申请实施例中，所述交织的交织类型为符号交织或卷积交织。符号交织或卷积交织的数据处理过程参考上述图 5 及图 6 所示的数据处理过程，其具体细节在此不再赘述。

在一种可选方式中，所述符号交织以 10 比特为粒度。

在一种可选方式中，交织后的数据流由 PCS 或 DTE_XS 进行解交织。

在一种可选方式中，交织的交织深度为 $2 \times RS$ 。当以太网 PHY 芯片中的 PCS 或 DTE_XS 将对数据流执行 $2 \times RS$ 解交织时，PMA 子层中可将获取到的数据流的交织方式变换为 $2 \times RS$ 交织，以使得 PHY 芯片中对数据流执行 $2 \times RS$ 解交织后能够获得正确的数据流。

在一种可选方式中，数据处理过程 32 包括：通过第一解交织方式进行解交织，该第一解交织方式的解交织类型具体为符号解交织或卷积解交织，以获得解交织后的数据流。该第一解交织方式的解交织可以为 $4 \times RS$ 。关于通过第一解交织方式进行解交织的过程的更多细节可参考图 8(a)所示的数据传输方法中的相关描述，在此不再赘述。

在一种可选方式中，数据处理过程 32 包括：比特多路解复用或符号组多路解复用。其中，比特多路解复用的粒度为 1 比特，符号组多路解复用的粒度可以是 20 比特或 40 比特。

在一种可选方式中，数据处理过程 32 包括：对齐标志 AM 锁定和去偏斜。

PMA 子层获取的数据流来自数据传输方向上的上一个子层，该上一个子层例如可以是 PMD 子层。通过上述比特多路解复用或符号组多路解复用，以及对齐标志锁定和去偏

斜,可以对来自上一个子层的数据流进行恢复。可选的,在上述比特多路解复用或符号组多路解复用,以及对齐标志锁定和去偏斜的处理中还可以实现第一解交织方式的处理,即通过比特多路解复用或符号组多路解复用,以及对齐标志锁定和去偏斜的处理对来自上一个子层的数据流进行恢复,并实现解交织。

- 5 在一种可选方式中,数据处理过程 32 包括:比特多路复用或符号组多路复用。其中,比特多路复用的粒度为 1 比特,符号组多路复用的粒度可以是 20 比特或 40 比特。通过该比特多路复用或符号组多路复用,PMA 子层输出的数据流数量能够适配 PMA 与数据传输方向上的下一个子层间的数据通道数量。可选的,该比特多路复用或符号组多路复用的处理可以在上述通过第三交织方式进行解交织的处理之后执行,或者,该比特多路复用或符号组多路复用的处理也可以包括在上述通过第三交织方式进行解交织的处理过程中。

在一种可选方式中,PMA 子层还可以执行 FEC 解码,以提升数据纠错性能。

此外,接收侧以太网设备中的更多实现细节可以与上述发送侧以太网设备相配合,在此不再赘述。

- 15 并且,在图 8(a)或图 8(b)所示的方法中,接收侧以太网设备中,在该 PMA 子层中的交织变换后,数据流可以直接为 AUI lane 数据,或者 PCS lane 数据。

本申请实施例中的接收侧和发送侧 PMA 子层所执行的主要步骤可以在图 9(a)至图 9(d)中进行举例说明。

- 20 当适用于如图 4(b)所示的物理层的实施方式中时,PMA 子层位于可插拔光模块或可插拔电模块中,且与上一个子层通过接口连接,数据发送侧的 PMA 子层执行的主要步骤如图 9(a)中左侧所示,数据接收侧的 PMA 子层执行的主要步骤如图 9(a)中右侧所示,图中箭头指示数据传输方向。

- 25 在数据发送侧,PMA 通过前 2 个步骤,即比特多路解复用或符号组多路解复用、AM lock 及 Deskew,恢复出 PCS Lane 数据。随后的交织步骤,即 Distribution and interleave,通过 PCS Lane 数据重新进行新的符号交织或卷积交织。交织步骤可以有不同的实现方法:可以先把 PCS 中执行的交织进行解交织以恢复成完整的 RS 码字,再收齐 4 个码字进行符号交织或卷积交织,并分发成需要的 lane 数量;也可以不解交织即不恢复成完整 RS 码字,直接将 PCS Lane 数据按照特定顺序排列得到输出所需的 lane 数量。上述交织步骤可以参考图 5 及图 6 所示的方法的相关描述,在此不再赘述。并且,图 9(a)中还有一个步骤符号组对多路复用或比特多路复用,用于将数据合成为下一个子层需要的数据通道数量。图 30 9(a)中的其他细节可参考上述图 3 所示的数据发送方法中的相关描述,在此不再赘述。并且,在数据接收侧的各个步骤与数据发送侧相对应,并且可参考上述图 8(a)或图 8(b)所示的数据接收方法的相关描述,在此不再赘述。

- 35 当适用于如图 4(b)所示的物理层的实施方式中时,PMA 子层位于可插拔光模块或可插拔电模块中,且与上一个子层通过接口连接,数据发送侧的 PMA 子层执行的主要步骤也可以如图 9(b)中左侧所示,数据接收侧的 PMA 子层执行的主要步骤也可以如图 9(b)中右侧所示,图中箭头指示数据传输方向。与图 9(a)相比,图 9(b)中所示步骤的主要区别在于,符号组对多路复用或比特多路复用的过程包含在交织步骤中,交织之后分发出的 lane 数量即等于下一个子层需要的 lane 数量。该 lane 数量可能是物理通道数量,也可能等于 PCS lane 数量。因此不再需要单独的 mux 的步骤。在数据接收侧的各个步骤与数据发送侧

相对应，在此不再赘述。

当适用于如图 4(b)所示的物理层的实施方式中时，PMA 子层位于可插拔光模块或可插拔电模块中，且与上一个子层通过接口连接，数据发送侧的 PMA 子层执行的主要步骤也可以如图 9(c)中左侧所示，数据接收侧的 PMA 子层执行的主要步骤也可以如图 9(c)中右侧所示，图中箭头指示数据传输方向。与图 9(a)相比，图 9(c)中所示步骤的主要区别在于，PMA 层执行了 FEC 编码步骤。在数据接收侧的各个步骤与数据发送侧相对应，在此不再赘述。

当适用于如图 4(b)所示的物理层的实施方式中时，PMA 子层位于可插拔光模块或可插拔电模块中，且与上一个子层通过接口连接，数据发送侧的 PMA 子层执行的主要步骤也可以如图 9(d)中左侧所示，数据接收侧的 PMA 子层执行的主要步骤也可以如图 9(d)中右侧所示，图中箭头指示数据传输方向。与图 9(b)相比，图 9(d)中所示步骤的主要区别在于，PMA 层执行了 FEC 编码步骤。在数据接收侧的各个步骤与数据发送侧相对应，在此不再赘述。

当适用于如图 4(a)或图 4(c)所示的物理层的实施方式中时，PMA 子层与上一个子层并非通过接口连接，PMA 子层可直接获取 lane 数据。因此，与图 9(a)至图 9(d)相比，当适用于如图 4(a)或图 4(c)所示的物理层的实施方式中时，数据接收侧的 PMA 子层执行的主要步骤将不包括比特多路解复用或符号组多路解复用、AM lock 及 Deskew 这两个步骤，类似的，数据发送侧的 PMA 子层执行的主要步骤也将不包括比特多路解复用或符号组多路解复用、AM lock 及 Deskew 这两个步骤。其他步骤与图 9(a)至图 9(d)类似，在此不再赘述。

以上介绍了本申请实施例的发送数据和接收数据的方法，与上述方法对应，本申请实施例还提供了发送数据和接收数据的以太网设备。

图 10 是本申请实施例提供的一种以太网设备的结构示意图，该以太网设备可用于发送数据或接收数据，该以太网设备可以是图 3 所示的发送数据方法中的以太网设备。基于图 9 所示的结构，该以太网设备能够执行图 3 所示的方法中的全部或部分操作。应理解到，该以太网设备可以包括比所示结构更多的附加结构或者省略其中所示的一部分结构，本申请实施例对此并不进行限制。如图 10 所示，该以太网设备包括：

PMA 电路，用于获取数据流，所述数据流是经过前向纠错 FEC 编码的数据流；对所述数据流执行第一数据处理过程，以获得交织后的数据流，所述第一数据处理过程包括通过第一交织方式进行交织；其中，所述第一交织方式的交织类型为符号交织或卷积交织。

在一些可能的实现方式中，所述符号交织以 10 比特为粒度。

在一些可能的实现方式中，所述第一数据处理过程还包括：比特多路复用或符号组对多路复用。

在一些可能的实现方式中，在所述通过第一交织方式进行交织之前，所述第一数据处理过程还包括：比特多路解复用或符号组多路解复用。

在一些可能的实现方式中，在所述通过第一交织方式进行交织之前，所述第一数据处理过程还包括：对齐标志 AM 锁定和去偏斜。

在一些可能的实现方式中，所述数据流为执行第二数据处理过程后获得的数据流，所述第二数据处理过程包括通过第二交织方式进行交织。

在一些可能的实现方式中，所述第一交织方式与所述第二交织方式的交织深度不同。

在一些可能的实现方式中，所述第二交织方式的交织深度为 $2 \times RS$ 。

在一些可能的实现方式中，所述第一数据处理过程还包括：针对所述第二交织方式的解交织。

- 5 在一些可能的实现方式中，所述第二数据处理过程由物理编码子层 PCS 或数据终端设备扩展子层 DTE_XS 执行。

在一些可能的实现方式中，所述第一交织方式的交织深度为 $4 \times RS$ 。

在一些可能的实现方式中，所述交织后的数据流的通道速率为 200 吉比特每秒 Gbps。

- 10 在一些可能的实现方式中，所述 PMA 电路接收所述数据流的接口的速率为以下至少一项：200Gbps 或 400Gbps。

在一些可能的实现方式中，所述 PMA 电路从连接单元接口 AUI 或通用电气接口 CEI 获取所述数据流。

在一些可能的实现方式中，所述 PMA 电路向物理介质相关 PMD 子层发送所述交织后的数据流。

- 15 其中，关于该以太网设备所执行的操作的具体描述可参考上述图 3 所示方法实施例的具体描述，在此不再赘述。

该以太网设备可以是以太网芯片，交换机、路由器等以太网转发设备，以及以太网中可插拔的光模块或电模块等等。

- 20 当该以太网设备为以太网芯片时，该以太网芯片可以通过图 4(a)所示的结构实现。该以太网设备中的 PMA 电路对应图 4(a)所示的 PMA 子层。可选的，该以太网设备中还包括 PCS 和 PMD 子层。

当该以太网设备为可插拔的光模块或电模块时，该可插拔的光模块或电模块可以通过图 4(b)或图 4(c)所示的结构实现。该以太网设备中的 PMA 电路对应图 4(b)所示的 PMA 子层或图 4(c)所示的 PMD 层相邻的 PMA 子层。可选的，该以太网设备中还包括 PMD 子层。

- 25 当该以太网设备为交换机、路由器等以太网转发设备时，该以太网设备可以包括以太网芯片、或可插拔的光模块或电模块，其中的以太网芯片、或可插拔的光模块或电模块能够执行图 3 的方法中的全部或部分操作。

- 30 图 10 是本申请实施例提供的一种以太网设备的结构示意图，该以太网设备可用于发送数据或接收数据，该以太网设备可以是图 8(a)所示的接收数据方法中的以太网设备。基于图 9 所示的结构，该以太网设备能够执行图 8(a)所示的方法中的全部或部分操作。应理解到，该以太网设备可以包括比所示结构更多的附加结构或者省略其中所示的一部分结构，本申请实施例对此并不进行限制。如图 10 所示，该以太网设备包括：

- 35 PMA 电路，用于获取数据流，所述数据流是经过前向纠错 FEC 编码的数据流；对所述数据流执行第三数据处理过程，以获得解交织后的数据流，所述第三数据处理过程包括通过第一解交织方式进行解交织；其中，所述第一解交织方式的解交织类型为符号解交织或卷积解交织。

在一些可能的实现方式中，所述符号解交织以 10 比特为粒度。

在一些可能的实现方式中，所述第三数据处理过程包括：比特多路复用或符号组多路复用。

在一些可能的实现方式中,所述第三数据处理过程包括:比特多路解复用或符号组多路解复用。

在一些可能的实现方式中,所述第三数据处理过程包括:对齐标志 AM 锁定和去偏斜。

5 在一些可能的实现方式中,在所述 PMA 电路对所述数据流执行第三数据处理过程之后,所述方法还包括:所述 PMA 电路通过第二交织方式对所述解交织后的数据流进行交织,以获得再次交织后的数据流。

在一些可能的实现方式中,所述再次交织后的数据流由物理编码子层 PCS 或数据终端设备扩展子层 DTE_XS 进行解交织。

在一些可能的实现方式中,所述第一解交织方式的交织深度为 $4 \times RS$ 。

10 在一些可能的实现方式中,所述 PMA 电路获取数据流,包括:所述 PMA 电路从物理介质相关 PMD 子层发送所述交织后的获取所述数据流。

其中,关于该以太网设备所执行的操作的具体描述可参考上述图 8(a)所示方法实施例的具体描述,在此不再赘述。

15 该以太网设备可以是以太网芯片,交换器、路由器等以太网转发设备,以及以太网中可插拔的光模块或电模块等等。

当该以太网设备为以太网芯片时,该以太网芯片可以通过图 4(a)所示的结构实现。该以太网设备中的 PMA 电路对应图 4(a)所示的 PMA 子层。可选的,该以太网设备中还包括 PCS 和 PMD 子层。

20 当该以太网设备为可插拔的光模块或电模块时,该可插拔的光模块或电模块可以通过图 4(b)或图 4(c)所示的结构实现。该以太网设备中的 PMA 电路对应图 4(b)所示的 PMA 子层或图 4(c)所示的 PMD 层相邻的 PMA 子层。可选的,该以太网设备中还包括 PMD 子层。

当该以太网设备为交换器、路由器等以太网转发设备时,该以太网设备可以包括以太网芯片、或可插拔的光模块或电模块,其中的以太网芯片、或可插拔的光模块或电模块能够执行图 8(a)所示的方法中的全部或部分操作。

25 图 10 是本申请实施例提供的一种以太网设备的结构示意图,该以太网设备可用于发送数据或接收数据,该以太网设备可以是图 8(b)所示的接收数据方法中的以太网设备。基于图 9 所示的结构,该以太网设备能够执行图 8(b)所示的方法中的全部或部分操作。应理解到,该以太网设备可以包括比所示结构更多的附加结构或者省略其中所示的一部分结构,本申请实施例对此并不进行限制。如图 10 所示,该以太网设备包括:

30 PMA 电路,用于获取数据流,所述数据流是经过前向纠错 FEC 编码的数据流;所述 PMA 子层对所述数据流执行第三数据处理过程,以获得交织后的数据流,所述第三数据处理过程包括对所述数据流进行交织;其中,所述交织的交织类型为符号交织或卷积交织。

在一些可能的实现方式中,所述符号交织以 10 比特为粒度。

35 在一些可能的实现方式中,所述交织后的数据流由物理编码子层 PCS 或数据终端设备扩展子层 DTE_XS 进行解交织。

在一些可能的实现方式中,所述交织的交织深度为 $2 \times RS$ 。

在一些可能的实现方式中,所述第三数据处理过程还包括:比特多路解复用或符号组多路解复用。

在一些可能的实现方式中,所述第三数据处理过程还包括:对齐标志 AM 锁定和去偏

斜。

在一些可能的实现方式中，所述第三数据处理过程还包括：比特多路复用或符号组多路复用。

其中，关于该以太网设备所执行的操作的具体描述可参考上述图 8(b)所示方法实施例 5 的具体描述，在此不再赘述。

该以太网设备可以是以太网芯片，交换机、路由器等以太网转发设备，以及以太网中可插拔的光模块或电模块等等。

当该以太网设备为以太网芯片时，该以太网芯片可以通过图 4(a)所示的结构实现。该以太网设备中的 PMA 电路对应图 4(a)所示的 PMA 子层。可选的，该以太网设备中还包括 10 PCS 和 PMD 子层。

当该以太网设备为可插拔的光模块或电模块时，该可插拔的光模块或电模块可以通过图 4(b)或图 4(c)所示的结构实现。该以太网设备中的 PMA 电路对应图 4(b)所示的 PMA 子层或图 4(c)所示的 PMD 层相邻的 PMA 子层。可选的，该以太网设备中还包括 PMD 子层。

当该以太网设备为交换机、路由器等以太网转发设备时，该以太网设备可以包括以太 15 网芯片、或可插拔的光模块或电模块，其中的以太网芯片、或可插拔的光模块或电模块能够执行图 8(b)所示的方法中的全部或部分操作。

参见图 12，图 12 示出了本申请另一个示例性实施例提供的以太网设备 2100 的结构示意图，图 12 所示的以太网设备 2100 用于执行上述图 3 所示的数据发送方法、或者图 8(a)或图 8(b)所示的数据接收方法所涉及的全部或部分操作。该网络设备 2100 例如是交换 20 机、路由器等以太网转发设备，该以太网设备 2100 可以由一般性的总线体系结构来实现。

如图 12 所示，以太网设备 2100 包括：主控板 2110 和接口板 2130。

主控板也称为主处理单元 (main processing unit, MPU) 或路由处理卡 (route processor card)，主控板 2110 用于对以太网设备 2100 中各个组件的控制和管理，包括路由计算、设备管理、设备维护、协议处理功能。主控板 2110 包括：中央处理器 2111 和存储器 2112。

25 接口板 2130 也称为线路接口单元 (line processing unit, LPU)、线卡 (line card) 或业务板。接口板 2130 用于提供各种业务接口并实现数据包的转发。业务接口包括而不仅限于以太网接口、POS (Packet over SONET/SDH) 接口等，以太网接口例如是灵活以太网业务接口 (Flexible Ethernet Clients, FlexE Clients)。接口板 2130 包括：中央处理器 2131、网络处理器 2132、转发表项存储器 2134 和物理接口卡 (physical interface card, PIC) 2133。

30 接口板 2130 上的中央处理器 2131 用于对接口板 2130 进行控制管理并与主控板 2110 上的中央处理器 2111 进行通信。

网络处理器 2132 用于实现报文的转发处理。网络处理器 2132 的形态可以是转发芯片。转发芯片可以是网络处理器 (network processor, NP)。在一些实施例中，转发芯片可以通过专用集成电路 (application-specific integrated circuit, ASIC) 或现场可编程门阵列 (field 35 programmable gate array, FPGA) 实现。具体而言，网络处理器 2132 用于基于转发表项存储器 2134 保存的转发表转发接收到的报文，如果报文的地址为以太网设备 2100 的地址，则将该报文上送至 CPU (如中央处理器 2131) 处理；如果报文的地址不是以太网设备 2100 的地址，则根据该目的地址从转发表中查找到该目的地址对应的下一跳和出接口，将该报文转发到该目的地址对应的出接口。其中，上行报文的处理可以包括：报文

入接口的处理，转发表查找；下行报文的处理可以包括：转发表查找等等。在一些实施例中，中央处理器也可执行转发芯片的功能，比如基于通用 CPU 实现软件转发，从而接口板中不需要转发芯片。

物理接口卡 2133 用于实现物理层的对接功能，原始的流量由此进入接口板 2130，以及处理后的报文从该物理接口卡 2133 发出。物理接口卡 2133 也称为子卡，可安装在接口板 2130 上，负责将光电信号转换为报文并对报文进行合法性检查后转发给网络处理器 2132 处理。在一些实施例中，中央处理器 2131 也可执行网络处理器 2132 的功能，比如基于通用 CPU 实现软件转发，从而物理接口卡 2133 中不需要网络处理器 2132。

可选地，以太网设备 2100 包括多个接口板，例如以太网设备 2100 还包括接口板 2140，接口板 2140 包括：中央处理器 2141、网络处理器 2142、转发表项存储器 2144 和物理接口卡 2143。接口板 2140 中各部件的功能和实现方式与接口板 2130 相同或相似，在此不再赘述。

可选地，以太网设备 2100 还包括交换网板 2120。交换网板 2120 也可以称为交换网板单元（switch fabric unit, SFU）。在网络设备 2100 有多个接口板的情况下，交换网板 2120 用于完成各接口板之间的数据交换。例如，接口板 2130 和接口板 2140 之间可以通过交换网板 2120 通信。

主控板 2110 和接口板耦合。例如，主控板 2110、接口板 2130 和接口板 2140，以及交换网板 2120 之间通过系统总线与系统背板相连实现互通。在一种可能的实现方式中，主控板 2110 和接口板 2130 及接口板 2140 之间建立进程间通信协议（inter-process communication, IPC）通道，主控板 2110 和接口板 2130 及接口板 2140 之间通过 IPC 通道进行通信。

在逻辑上，以太网设备 2100 包括控制面和转发面，控制面包括主控板 2110 和中央处理器 2111，转发面包括执行转发的各个组件，比如转发表项存储器 2134、物理接口卡 2133 和网络处理器 2132。控制面执行路由器、生成转发表、处理信令和协议报文、配置与维护网络设备的状态等功能，控制面将生成的转发表下发给转发面，在转发面，网络处理器 2132 基于控制面下发的转发表对物理接口卡 2133 收到的报文查表转发。控制面下发的转发表可以保存在转发表项存储器 2134 中。在有些实施例中，控制面和转发面可以完全分离，不在同一网络设备上。

值得说明的是，主控板可能有一块或多块，有多块的时候可以包括主用主控板和备用主控板。接口板可能有一块或多块，网络设备的数据处理能力越强，提供的接口板越多。接口板上的物理接口卡也可以有一块或多块。交换网板可能没有，也可能有一块或多块，有多块的时候可以共同实现负载分担冗余备份。在集中式转发架构下，网络设备可以不需要交换网板，接口板承担整个系统的业务数据的处理功能。在分布式转发架构下，网络设备可以有至少一块交换网板，通过交换网板实现多块接口板之间的数据交换，提供大容量的数据交换和处理能力。所以，分布式架构的网络设备的数据接入和处理能力要大于集中式架构的网络设备。可选地，网络设备的形态也可以是只有一块板卡，即没有交换网板，接口板和主控板的功能集成在该一块板卡上，此时接口板上的中央处理器和主控板上的中央处理器在该一块板卡上可以合并为一个中央处理器，执行两者叠加后的功能，这种形态网络设备的数据交换和处理能力较低（例如，低端交换机或路由器等网络设备）。具体采

用哪种架构，取决于具体的组网部署场景，此处不做任何限定。

在具体实施例中，以太网设备 2100 对应于上述图 10 或图 11 所示的以太网设备。

例如，以太网设备 2100 可以为图 10 或图 11 所示的以太网设备为交换机、路由器等以太网转发设备。此时，执行图 3、图 8(a)或图 8(b)所示的方法的以太网芯片可以位于主控板 2110 中，或者也可位于接口板 2130 或接口板 2140 中，并且，该以太网芯片具体可位于物理接口卡 2133 或 2143 中。

本申请实施例还提供了一种通信系统 3000，该报文处理系统包括：第一以太网设备和 3001 第二以太网设备 3002。可选地，第一以太网设备可以为发送侧以太网设备，执行图 3 所示的数据发送方法，第二以太网设备可以为接收侧以太网设备，执行图 8(a)或图 8(b)所示的接收数据的方法。

本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质，存储介质中存储有至少一条指令，指令由处理器加载并执行，以使计算机实现如上任一的数据发送方法或数据接收方法。

本申请实施例还提供了一种计算机程序（产品），当计算机程序被计算机执行时，可以使得处理器或计算机执行上述方法实施例中对应的各个步骤和/或流程。

本申请实施例还提供了一种芯片，包括处理器，用于从存储器中调用并运行存储器中存储的指令，使得安装有芯片的通信设备执行如上任一的数据发送方法或数据接收方法。

本申请实施例还提供另一种芯片，包括：输入接口、输出接口、处理器和存储器，输入接口、输出接口、处理器以及存储器之间通过内部连接通路相连，处理器用于执行存储器中的代码，当代码被执行时，处理器用于执行如上任一的数据发送方法或数据接收方法。

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。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计算机程序指令时，全部或部分地产生按照本申请的流程或功能。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。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，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）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。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。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））等。

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中描述的各方法步骤和模块，能够以软件、硬件、固件或者其任意组合来实现，为了清楚地说明硬件和软件的可互换性，在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各实施例的步骤及组成。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。本领域普通技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例的全部或部分步骤可以通过硬件来完成，也可以通过程序来指令相关的硬件完成，该程序可以存储于一种计算机可读存储介质

中，上述提到的存储介质可以是只读存储器，磁盘或光盘等。

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。该计算机程序产品包括一个或多个计算机程序指令。作为示例，本申请实施例的方法可以在机器可执行指令的上下文中被描述，机器可执行指令诸如包括在目标的真实或者虚拟处理器上的器件中执行的程序模块中。一般而言，程序模块包括例程、程序、库、对象、类、组件、数据结构等，其执行特定的任务或者实现特定的抽象数据结构。在各实施例中，程序模块的功能可以在所描述的程序模块之间合并或者分割。用于程序模块的机器可执行指令可以在本地或者分布式设备内执行。在分布式设备中，程序模块可以位于本地和远程存储介质二者中。

用于实现本申请实施例的方法的计算机程序代码可以用一种或多种编程语言编写。这些计算机程序代码可以提供给通用计算机、专用计算机或其他可编程的数据处理装置的处理单元，使得程序代码在被计算机或其他可编程的数据处理装置执行的时候，引起在流程图和/或框图中规定的功能/操作被实施。程序代码可以完全在计算机上、部分在计算机上、作为独立的软件包、部分在计算机上且部分在远程计算机上或完全在远程计算机或服务器上执行。

在本申请实施例的上下文中，计算机程序代码或者相关数据可以由任意适当载体承载，以使得设备、装置或者处理器能够执行上文描述的各种处理和操作。载体的示例包括信号、计算机可读介质等等。

信号的示例可以包括电、光、无线电、声音或其它形式的传播信号，诸如载波、红外信号等。

机器可读介质可以是包含或存储用于或有关于指令执行系统、装置或设备的程序的任何有形介质。机器可读介质可以是机器可读信号介质或机器可读存储介质。机器可读介质可以包括但不限于电子的、磁的、光学的、电磁的、红外的或半导体系统、装置或设备，或其任意合适的组合。机器可读存储介质的更详细示例包括带有一根或多根导线的电气连接、便携式计算机磁盘、硬盘、随机存储存取器（RAM）、只读存储器（ROM）、可擦除可编程只读存储器（EPROM 或闪存）、光存储设备、磁存储设备，或其任意合适的组合。

所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为了描述的方便和简洁，上述描述的系统、设备和模块的具体工作过程，可以参见前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的系统、设备和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的设备实施例仅仅是示意性的，例如，该模块的划分，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，例如多个模块或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另外，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、设备或模块的间接耦合或通信连接，也可以是电的，机械的或其它的形式连接。

该作为分离部件说明的模块可以是或者也可以不是物理上分开的，作为模块显示的部件可以是或者也可以不是物理模块，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络模块上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本申请实施例方案的目的。

另外，在本申请各个实施例中的各功能模块可以集成在一个处理模块中，也可以是各个模块单独物理存在，也可以是两个或两个以上模块集成在一个模块中。上述集成的模块既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能模块的形式实现。

该集成的模块如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用时，可以存储在一个计算机可读存储介质中。基于这样的理解，本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分，或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备等）执行本申请各个实施例中方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：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。

本申请中术语“第一”“第二”等字样用于对作用和功能基本相同的相同项或相似项进行区分，应理解，“第一”、“第二”、“第 n”之间不具有逻辑或时序上的依赖关系，也不对数量和执行顺序进行限定。还应理解，尽管以下描述使用术语第一、第二等来描述各种元素，但这些元素不应受术语的限制。这些术语只是用于将一元素与另一元素区别分开。例如，在不脱离各种示例的范围的情况下，第一图像可以被称为第二图像，并且类似地，第二图像可以被称为第一图像。第一图像和第二图像都可以是图像，并且在某些情况下，可以是单独且不同的图像。

还应理解，在本申请的各个实施例中，各个过程的序号的大小并不意味着执行顺序的先后，各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定，而不应对本申请实施例的实施过程构成任何限定。

本申请中术语“至少一个”的含义是指一个或多个，本申请中术语“多个”的含义是指两个或两个以上，例如，多个第二报文是指两个或两个以上的第二报文。本文中术语“系统”和“网络”经常可互换使用。

应理解，在本文中对各种所述示例的描述中所使用的术语只是为了描述特定示例，而并非旨在进行限制。如在对各种所述示例的描述和所附权利要求书中所使用的那样，单数形式“一个（“a”，“an”）”和“该”旨在也包括复数形式，除非上下文另外明确地指示。

还应理解，本文中所使用的术语“和/或”是指并且涵盖相关联的所列出的项目中的一个或多个项目的任何和全部可能的组合。术语“和/或”，是一种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 这三种情况。另外，本申请中的字符“/”，一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。

还应理解，术语“包括”（也称“includes”、“including”、“comprises”和/或“comprising”）当在本说明书中使用指定存在所陈述的特征、整数、步骤、操作、元素、和/或部件，但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元素、部件、和/或其分组。

还应理解，术语“若”和“如果”可被解释为意指“当...时”（“when”或“upon”）或“响应于确定”或“响应于检测到”。类似地，根据上下文，短语“若确定...”或“若

检测到[所陈述的条件或事件]”可被解释为意指“在确定...时”或“响应于确定...”或“在检测到[所陈述的条件或事件]时”或“响应于检测到[所陈述的条件或事件]”。

应理解，根据 A 确定 B 并不意味着仅仅根据 A 确定 B，还可以根据 A 和/或其它信息确定 B。

5 还应理解，说明书通篇中提到的“一个实施例”、“一实施例”、“一种可能的实现方式”意味着与实施例或实现方式有关的特定特征、结构或特性包括在本申请的至少一个实施例中。因此，在整个说明书各处出现的“在一个实施例中”或“在一实施例中”、“一种可能的实现方式”未必一定指相同的实施例。此外，这些特定的特征、结构或特性可以任意适合的方式结合在一个或多个实施例中。

10 以上描述仅为本申请的可选实施例，并不用以限制本申请，凡在本申请的原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种发送数据的方法，其特征在于，所述方法包括：
以太网设备的物理介质连接 PMA 子层获取数据流，所述数据流是经过前向纠错 FEC 编码的数据流；
所述 PMA 子层对所述数据流执行第一数据处理过程，以获得交织后的数据流，所述第一数据处理过程包括通过第一交织方式进行交织；
其中，所述第一交织方式的交织类型为符号交织或卷积交织。
2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述符号交织以 10 比特为粒度。
3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述第一数据处理过程还包括：比特多路复用或符号组对多路复用。
4. 根据权利要求 1-3 任一项所述的方法，其特征在于，在所述通过第一交织方式进行交织之前，所述第一数据处理过程还包括：比特多路解复用或符号组多路解复用。
5. 根据权利要求 1-4 任一项所述的方法，其特征在于，在所述通过第一交织方式进行交织之前，所述第一数据处理过程还包括：对齐标志 AM 锁定和去偏斜。
6. 根据权利要求 1-5 任一项所述的方法，其特征在于，
所述数据流为执行第二数据处理过程后获得的数据流，所述第二数据处理过程包括通过第二交织方式进行交织。
7. 根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，所述第一交织方式与所述第二交织方式的交织深度不同。
8. 根据权利要求 6 或 7 所述的方法，其特征在于，所述第二交织方式的交织深度为 $2 \times RS$ 。
9. 根据权利要求 6-8 任一项所述的方法，其特征在于，所述第一数据处理过程还包括：针对所述第二交织方式的解交织。
10. 根据权利要求 6-9 任一项所述的方法，其特征在于，
所述第二数据处理过程由物理编码子层 PCS 或数据终端设备扩展子层 DTE_XS 执行。
11. 根据权利要求 1-10 任一项所述的方法，其特征在于，所述第一交织方式的交织深度为 $4 \times RS$ 。
12. 根据权利要求 1-11 任一项所述的方法，其特征在于，所述以太网设备包括以下至

少一项：物理层 PHY 芯片，转发设备，或可插拔模块。

13. 根据权利要求 1-12 任一项所述的方法，其特征在于，所述交织后的数据流的通道速率为 200 吉比特每秒 Gbps。

14. 根据权利要求 1-13 任一项所述的方法，其特征在于，所述 PMA 子层接收所述数据流的接口的速率为以下至少一项：200Gbps 或 400Gbps。

15. 根据权利要求 1-14 任一项所述的方法，其特征在于，所述 PMA 子层从连接单元接口 AUI 或通用电气接口 CEI 获取所述数据流。

16. 根据权利要求 1-15 任一项所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：
所述 PMA 子层向物理介质相关 PMD 子层发送所述交织后的数据流。

17. 一种接收数据的方法，其特征在于，所述方法包括：
以太网设备的物理介质连接 PMA 子层获取数据流，所述数据流是经过前向纠错 FEC 编码的数据流；

所述 PMA 子层对所述数据流执行第三数据处理过程，以获得交织后的数据流，所述第三数据处理过程包括对所述数据流进行交织；

其中，所述交织的交织类型为符号交织或卷积交织。

18. 根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于，所述符号交织以 10 比特为粒度。

19. 根据权利要求 17 或 18 所述的方法，其特征在于，所述交织后的数据流由物理编码子层 PCS 或数据终端设备扩展子层 DTE_XS 进行解交织。

20. 根据权利要求 17-19 任一项所述的方法，其特征在于，所述交织的交织深度为 $2 \times RS$ 。

21. 根据权利要求 17-20 任一项所述的方法，其特征在于，所述第三数据处理过程还包括：比特多路解复用或符号组多路解复用。

22. 根据权利要求 17-21 任一项所述的方法，其特征在于，所述第三数据处理过程还包括：对齐标志 AM 锁定和去偏斜。

23. 根据权利要求 17-22 任一项所述的方法，其特征在于，所述第三数据处理过程还包括：比特多路复用或符号组多路复用。

24. 根据权利要求 17-23 任一项所述的方法，其特征在于，所述以太网设备包括以下

至少一项：物理层 PHY 芯片，转发设备，或可插拔模块。

25. 一种接收数据的方法，其特征在于，
以太网设备的物理介质连接 PMA 子层获取数据流，所述数据流是经过前向纠错 FEC 编码的数据流；

所述 PMA 子层对所述数据流执行第三数据处理过程，以获得解交织后的数据流，所述第三数据处理过程包括通过第一解交织方式进行解交织；

其中，所述第一解交织方式的解交织类型为符号解交织或卷积解交织。

26. 根据权利要求 25 所述的方法，其特征在于，所述符号解交织以 10 比特为粒度。

27. 根据权利要求 25 或 26 所述的方法，其特征在于，所述第三数据处理过程包括：比特多路复用或符号组多路复用。

28. 根据权利要求 25-27 任一项所述的方法，其特征在于，所述第三数据处理过程包括：比特多路解复用或符号组多路解复用。

29 根据权利要求 25-28 任一项所述的方法，其特征在于，所述第三数据处理过程包括：对齐标志 AM 锁定和去偏斜。

30. 根据权利要求 25-28 任一项所述的方法，其特征在于，在所述 PMA 子层对所述数据流执行第三数据处理过程之后，所述方法还包括：

所述 PMA 子层通过第二交织方式对所述解交织后的数据流进行交织，以获得再次交织后的数据流。

31. 根据权利要求 30 所述的方法，其特征在于，所述再次交织后的数据流由物理编码子层 PCS 或数据终端设备扩展子层 DTE_XS 进行解交织。

32. 根据权利要求 25-31 任一项所述的方法，其特征在于，所述第一解交织方式的交织深度为 $4 \times RS$ 。

33. 根据权利要求 25-32 任一项所述的方法，其特征在于，所述以太网设备包括以下至少一项：物理层 PHY 芯片，转发设备，或可插拔模块。

34. 根据权利要求 25-33 任一项所述的方法，其特征在于，所述 PMA 子层获取数据流，包括：

所述 PMA 子层从物理介质相关 PMD 子层发送所述交织后的获取所述数据流。

35. 一种以太网设备，其特征在于，所述以太网设备用于执行如权利要求 1-16、17-24

或 25-34 任一项所述的方法。

36. 一种芯片，其特征在于，所述芯片用于执行如权利要求 1-16、17-24 或 25-34 任一项所述的方法。

37. 一种通信系统，其特征在于，所述通信系统包括第一以太网设备和第二以太网设备，

其中，所述第一以太网设备用于执行如权利要求 1-16 任一项所述的方法，所述第二以太网设备用于执行如权利要求 17-24 任一项所述的方法，或者，

所述第一以太网设备用于执行如权利要求 1-16 任一项所述的方法，所述第二以太网设备用于执行如权利要求 25-34 任一项所述的方法。