

基于 TI 以太网 Retimer 芯片在网络系 统应用简述

Name

Sales and Marketing/KAT/Zhang Chi

ABSTRACT

在复杂网络的传输系统中，以太网作为提高设备之间的数据传输能力的作用，提供一个可以使局域网、广域网和城域网之间的数据高速传输的渠道，因此得到广泛应用。在以太网中，由于典型的高速信号传输时，会带来串扰、插入损耗、回波损耗、符号间干扰和抖动等非理想情况，此类信道会影响信号完整性，因此包含 CDR 电路的 Retimer 器件，及相应的 Redriver 器件在高速信号完整性的补偿中，起到了至关重要的作用。本文结合 28G Retimer 器件 DS280DF810，针对 Retimer 器件在以太网中的重点功能 Link Training、Gear Box 和 FEC，从有线网络和系统应用角度分析并总结。

Contents

1	基于网络拓扑结构的高速信号器件分析	2
1.1	网络拓扑结构	2
1.2	高速信号器件作用及分类	3
1.2.1	Redriver 器件功能分析	3
1.2.2	Retimer 器件功能分析	5
2	Retimer 的典型应用场景	6
3	Retimer 重要功能分析	7
3.1	Link Training	8
3.2	Gear Box	9
3.3	FEC 10	10
4	参考文献	10

Figures

Figure 1.	基于终端应用的 5G 通信网络拓扑架构图	2
Figure 2.	Redriver 输入输出曲线中 Linear 和 Non-linear 对应区域	4
Figure 3.	抖动传输图在 CDR 带内和带外的传输	6
Figure 4.	Retimer 在交换机上背板及前面板的应用场景	7
Figure 5.	Retimer 典型产品 DS280DF810 的内部结构	7
Figure 6.	Link Training transmission signal	8
Figure 7.	Link Training progress	9
Figure 8.	Gear Box 功能应用实例	10

1 基于网络拓扑结构的高速信号器件分析

在网络传输中，以太网一直是连接计算机、电话、路由器、交换机和通过有线连接在网络上的其他互联网设备的重要渠道，使得局域网和广域网的高速传输得以实现，以支持数据中心不断增长的数据需求和计算量。使用以太网网络多年来，通信运营商一直在增强和改善他们的网络，以满足对 5G 时代物联网、通话视频和其他多媒体应用不断增长的需求的能力。这种以应用为中心的需求正在推动向 400 Gbps 和 800 Gbps 光传输网络速度的迁移，以便适应更快的数据传输，减少延迟时间。而由数据速率快速增长所带来的高速信号完整性问题也受到了越来越多的重视，本小节将会对 TI 的典型产品 Redriver 和 Retimer 两种器件基于实际网络拓扑架构进行深入分析。

1.1 网络拓扑结构

网络拓扑在实际应用中有多重结构，将不同的网络结点相互连接，实现最终的网络互连，常见的有星形结构、环形结构、总线型结构和分布型结构等等。无论从大型的运营商网络，到小型的企业组网，所有的网络结构都可以简化成三层模型：接入层，汇聚层和核心层。接入层负责连接终端客户；汇聚层负责基于策略的连接，控制流量限速，带宽保证；核心层负责数据处理和转发。了解这三层模型后，便可以理解基本的网络模型架构。

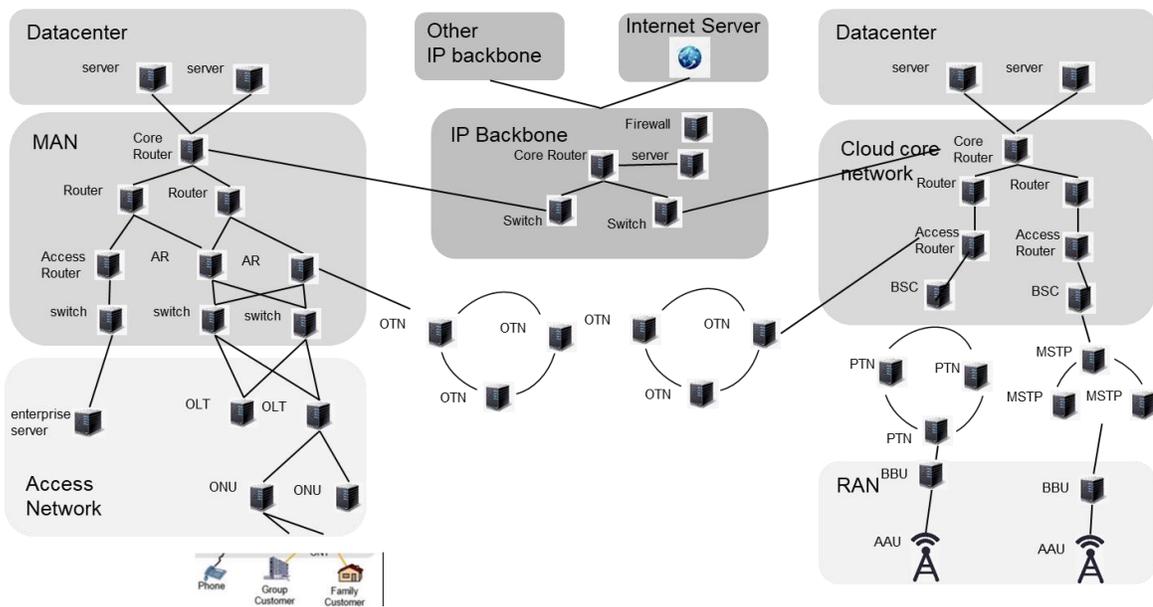


Figure 1. 基于终端应用的 5G 通信网络拓扑架构图

本文为了更加清晰地梳理出网络结构，会以典型运营商网络为例进行分析。如 Figure 1 所示，是通信运营商的 5G 传输网络架构，左侧为有线网络，右侧是无线网络，其基本架构都是以三层网络结构为基础进行理解：接入网，汇聚网和骨干网。

有线网络中的接入网是直接连接终端用户的网络层，日常所见的设备，便是光猫。光猫是 ONU（optical network unit 光网络单元）一种，实现了光电转换及上网的功能。ONU 具有四点作用：

- 选择接收 OLT（optical line terminal 光线路终端）发送的数据。
- 响应 OLT 发出的管理命令，并作相应的调整。
- 对用户的以太网数据进行缓存，并在 OLT 分配的发送窗口中向上行方向发送。
- 其他用户管理功能

通过 ONU，网络数据汇聚到 OLT 上。OLT 设备是一种重要的局端设备，主要功能是上联上层网络，完成网络的上行接入，并且通过 ODN（optical distribution network 光分配网）网络下连用户端设备 ONU，实现对用户端设备 ONU 的控制、管理和测距等功能。ONU 和 OLT 组成了我们熟知的 PON（passive optical network 无源光网络）。接入网由于是直接对接终端用户，光口速率较低，通常为 100G、40G 及以下，因此分配到每条 lane 中，速率是 25G、12.5G 和 10G，对应至应用器件则是 DS280DF810、DS125DF1610、DS125MB203 和 DS110DF410。

有线中的汇聚网是将不同接入网的数据，通过路由器和交换机进行汇聚，最终传输至数据中心的骨干网。局域网，城域网都属于汇聚网的一种。汇聚网对应的光口速率相对于接入网会更大，通常是 200G 和 100G，分配至每条 lane 中，则是 56G 和 25G，对应的器件通常为 DS560DF810 和 DS280DF810。

骨干网作为最终的数据中心，由路由器、交换机和储存数据的服务器组成，由于其数据量最大，对应光口应为 800G、400G 和 200G，对应 TI 的器件应为 DS560DF810 和 DS280DF810。

无线网络侧与有线网络的不同之处，在于接入网部分。无线接入网是通过 AAU 或 RRU 实现无线接入，最后由 BBU（building baseband unit 基带处理单元）以及 BSC（baseband station control 基站控制器）进行数据处理，PTN（packet transport network 分组传送网）负责 BBU 到 BSC 之间的数据转发。由于 BBU 自身吞吐量和主芯片处理能力的限制，PTN 对应光口通常为 200G 或 100G，速率是 25G 和 12.5G，对应至应用器件则是 DS280DF810、DS125DF1610。

1.2 高速信号器件作用及分类

在典型的高速串行链路中，数据传输的通道，通常是背板上短距离的 PCB 走线，设备间的连接线缆，或是长距离的传输光缆，在这些通道传输中，由于串扰、插入损耗、回波损耗、符号间干扰和抖动等非理想因素而导致信号的完整性受到影响。此时可以用于解决以上高速信号完整性问题的 Retimer 和 Redriver 器件，在网络传输中尤为重要。

在高速信号网络传输中，通常有两种类型器件可以补偿信号完整性，分别是 Redriver（又名 repeater）和 Retimer。

1.2.1 Redriver 器件功能分析

Redriver 是一个模拟器件，它通过 Rx 侧的均衡器功能对衰减信号进行补偿，或是选择性地提供 Tx 线性均衡以补偿输出端的信道损耗。Redriver 内部电路结构包含 CTLE（continuous time linear equalizer 连续时间线性均衡器），没有 CDR（clock and data recovery 时钟数据恢复）电路，仅通过均衡电路进行实现补偿。

Redriver 只有在通过其均衡器功能正确补偿信道损耗时才能清除 ISI（Inter-Symbol Interference 符号间干扰）相关的确定性抖动，任何均衡不足或过度均衡都会导致额外的确定性抖动。此外，任何随机和非 ISI 相关的确定性抖动都会从 Redriver 输入传递到输出。如果需要纠正非 ISI 确定性抖动或随机抖动，则需要使用 Retimer 而不是 Redriver。Redriver 可以进一步分为两种类型，Linear 和 Non-linear Redriver（也称为 Limiting 和 Non-limiting Redriver）。如 Figure 2 所示，在 Redriver 的输入输出电压曲线中，输出跟随输入线性变化的区域为 linear，输出没有跟随输入变化，而被压缩的区域为 non-linear 区域

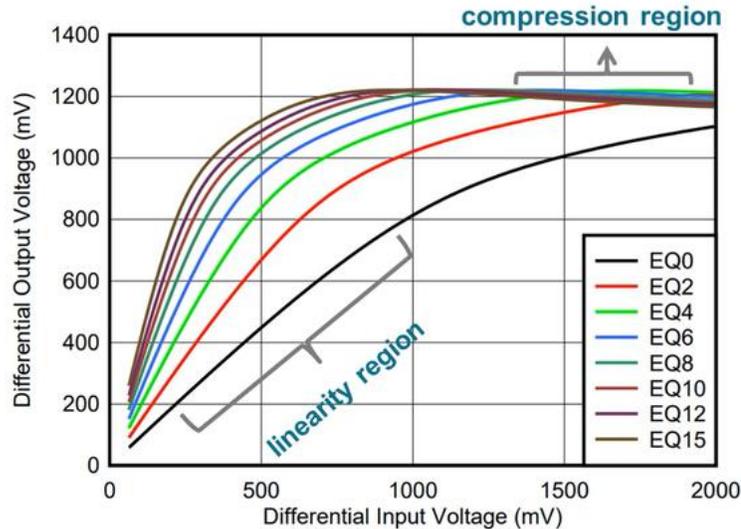


Figure 2. Redriver 输入输出曲线中 Linear 和 Non-linear 对应区域

1.2.1.1 Linear Redriver 简述

Linear Redriver 的输出信号幅度在一定范围的输入或输出幅度下是其输入信号幅度的近线性函数，实际上是信号路径中的一个无源元件，它不会产生频率相关的损耗，而是提供频率相关的增益。无论输出形状如何，在线性区域，输出与输入信号幅度图显示为一条直线，则 Redriver 在该输入和输出幅度中被称为线性范围。均衡增益决定了这条线的斜率，斜率越陡，增益越大。输入和输出之间的这种线性范围持续到某个输入幅度，压缩区域就标志着输出保持稳定的线性区域的结束。

Linear Redriver 透明地通过源信号的所有电气特性，就像无源通道一样，前提是信号在线性范围内。Redriver 不解决系统中的反射和串扰问题，反射和串扰从输入传递到输出。Redriver 还会随着主信号一起放大串扰，因此不会提高信噪比。透明传输在系统级对延迟的影响最小，每个通道运行独立，支持单个通道 FEC（前向纠错功能）和 Link Training 直通，常见应用例如 100 GbE 和 40 GbE CR4/KR4、50 GbE 和 25 GbE CR、10 GbE KR。

对于 Linear Redriver，在信号的传输过程中，由于损耗随着数据速率的增加而增加，具有较高频率分量将比具有低频分量的信号衰减得更多。高频和低频之间的这种损耗差异导致相邻符号相互干扰，这称为符号间干扰或 ISI。输出预加重和/或去加重可用于补偿 ISI。使用预加重来提升信号的高频分量。去加重用于衰减信号的低频分量。预加重和去加重都是通过最小化信号高频和低频之间的损耗差异来工作的。

Linear Redriver 相对于 Non-linear Redriver 的优点有，如果接受侧器件 SerDes 使用 DFE (decision feedback equalizer 决策反馈均衡器) 来均衡信号，线性模式可能优于限制模式，DFE 电路在处理线性信号时通常表现最佳；Linear Redriver 可以实现摆幅的调节，Non-linear Redriver 对于摆幅的调节就会受到限制。

1.2.1.2 Non-linear Redriver 简述

当输出信号幅度在相当大的幅度内不是输入的线性函数时，Redriver 被称为 Non-linear driver 或 Limiting Redriver。其 Tx 具有附加功能，可使信号输出与输入信号呈非线性关系，这些功能通常包括输出摆幅控制和 FIR (Finite Impulse Response 有限长单位冲激响应滤波器) 设置。

non-linear Redriver 具有输出摆幅控制和 FIR 功能，会破坏通道并干扰 Link Training。如果摆幅在 Linear Redriver 的线性范围内，Redriver 可以接受一定程度的过均衡，此时过均衡有效地成为发射器预加重。但对于 Non-linear Redriver，这种过度均衡会导致额外的抖动。Non-linear Redriver 还具有优于 Linear Redriver 的优势。由于 Linear Redriver 输出是其输入的函数，因此 Linear Redriver 要求其输入端的源信号直流电平符合工业规范。如果使用 Non-linear Redriver，输出不是其接收输入的函数。即使源信号本身不符合规范，也可以调整 Non-linear Redriver 输出电压摆幅和去加重或预加重，以使其输出信号符合特定的行业规范。

1.2.2 Retimer 器件功能分析

Retimer 是在 Redriver 基础上增加了 CDR 电路，通过从输入信号恢复时钟信号，进而恢复数据信号的原理，不但补偿了传输损耗，而且同时解决了由于串扰、回波损耗、符号间干扰和抖动的问题。同时因为有额外的 CDR 电路，Retimer 的延时、功耗和电路面积都要有所增加。本文重点针对 Retimer 的应用，以 DS280DF810 为例进行分析。

在实际系统中，当数据信号从一个 ASIC 传输到另一个 ASIC 时，抖动源可能来自通路的各个方面，包括来自电路板走线的插入损耗、连接器接口处的信号反射以及来自相邻信号的串扰噪声。抖动是系统速度和性能的瓶颈，限制了链路范围和可实现的误码率。Retimer 使用它的 CDR 来检测输入数据并产生一个周期性和同步的时钟，然后由采样器决策电路使用，采样器根据其输入电压电平输出 1 或 0。其输入数据的采样时钟由 CDR 从数据恢复后提供，这种使用干净恢复时钟的重定时功能允许输出重现输入数据，但得到的相应抖动要比 Redriver 小得多。因此，Retimer 可以重置系统输入数据链路的抖动预算。

Retimer 中的 CDR 是由 PLL 实现的相应功能模块，内部的 PLL 最常使用的是基于相位和频率检测的 PFD 模型。初始环路数据由频率检测器控制，通过比较 f_{out} 和 f_{in} 并进行反馈，可以减少环路内的频率增量。一旦 f_{out} 减去 f_{in} 足够小，相位检测器就会接管。基于相位和频率检测的 CDR 的主要优点是可实现更宽的频率引入范围和更快的 CDR 锁定采集时间。当 CDR 被锁定时，VCO 输出频率已被拉高以匹配输入频率。此外，VCO 频率线性地跟踪其控制电压。CDR 锁定后，输出数据与输入数据有严格的相位关系，输出电压跟踪相位变化。

传输抖动是 CDR 输出抖动的度量，作为其输入抖动频率的函数。传输抖动在很大程度上取决于 CDR 带宽，其中带宽通常指的是抖动传输 3dB 截止点处。

抖动传递图可以根据抖动频率分为三个部分，如 Figure3 所示。在阻带内，CDR 有效地阻止了输入抖动传播到输出；在衰减带内，CDR 衰减从输入到输出的抖动；最后，在其通带内，CDR 跟踪输入周期性抖动，输入抖动简单地通过 Retimer。另一个比较重要的参数是抖动峰值，定义为在通带衰减带截止频率处抖动传输的增加或提升。因此，我们讨论的抖动传输的关键参数是 CDR 环路带宽、通带、衰减带和阻带以及抖动峰值。

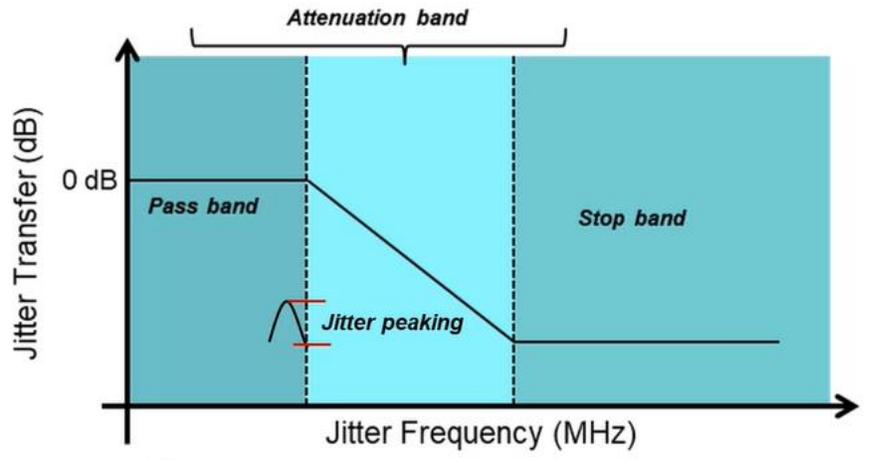


Figure 3. 抖动传输图在 CDR 带内和带外的传输

CDR 总输出抖动等于传输抖动加上产生的抖动。产生的抖动是 CDR 设备固有的周期性抖动，由固有噪声参数驱动，例如热噪声、BJT 噪声或 MOSFET 闪烁噪声。与传输抖动类似，作为频率函数生成的抖动取决于 CDR 环路带宽。

抖动容限限制通常通过网络行业标准规定，例如以太网和 PCI Express。抖动容限测试涉及将某种形式的周期性抖动应用于被测 CDR，然后评估其 BER (bit error ratio 误码率) 性能。抖动容限通常被指定为质量要求，作为频率的函数，以 UI (unit interval 单位间隔) 表示，在 CDR 中，我们一般采用查看眼图的方式，来间接确定抖动容限是否满足系统要求。

2 Retimer 的典型应用场景

互联网的最初概念是一种可以快速、可靠和安全地从一所大学向另一所大学交换数据的网络，以太网由此产生。IEEE 随后在以太网的基础上进行了扩展，采用了新的速度（数据速率）、物理介质（电缆 NN

在实际交换机设备中，如 Figure 4 所示，高速信号调理器件通常在以下位置，连接主板和线卡板的靠近背板处，前面板上交换芯片至光口连接处。无论是背板还是前面板，具体还需要取决于客户实际的走线长度，

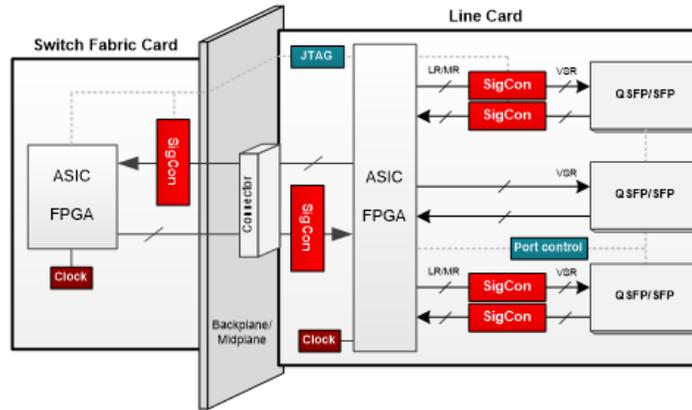


Figure 4. Retimer 在交换机上背板及前面板的应用场景

在背板的应用中，由于背板上连接的主板和线卡板的速率是固定不变的，因此不需要 Gear Box（Gear Box 作用是将一个速率的多个串行数据流转换为另一种速率的多个数据流）改变速率，也不需要 Link Training 进行不同速率自动适应匹配。与背板应用不同的是，在前面板应用中，需要 Gear Box 和 Link Training 等功能，来适应光口不同的速率匹配。关于 Gear Box、Link Training 和 FEC 功能会在下一小节详细介绍。

3 Retimer 重要功能分析

Retimer 的功能是通过从输入信号恢复时钟，从而恢复数据，并通过均衡功能补偿高速信号损耗。

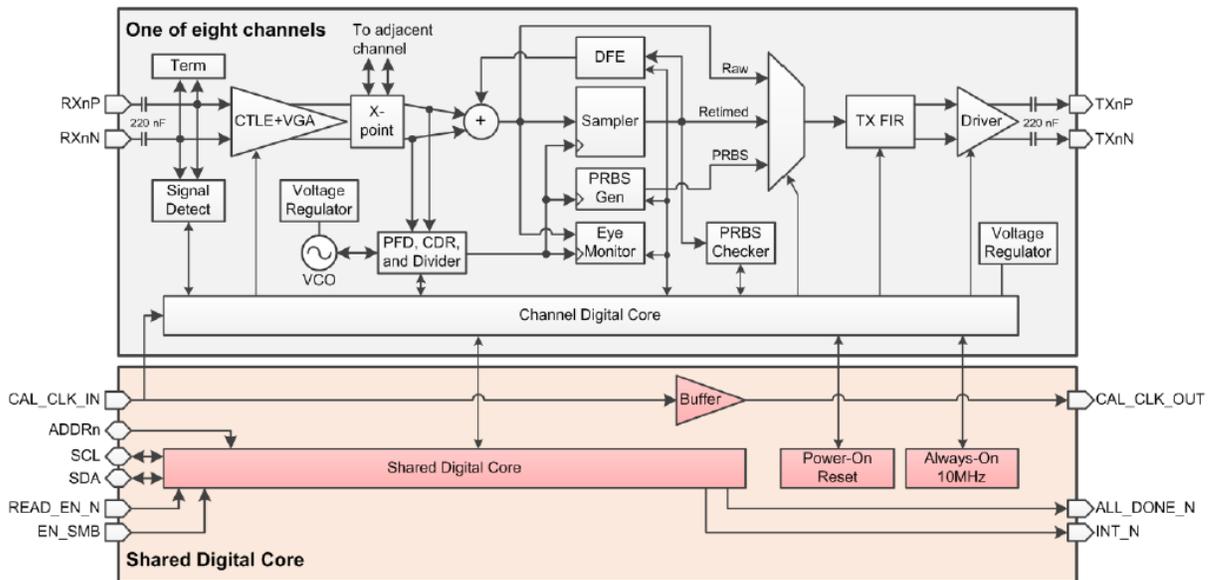


Figure 5. Retimer 典型产品 DS280DF810 的内部结构

如 Figure 5 所示，为 DS280DF810 的内部架构图，包括了 Rx 和 Tx 均衡部分，CDR 电路，以及其它辅助功能。其中 Rx 接收侧由 CTLE+DFE 组成均衡能力的电路；Tx 发射侧由 3 阶的 FIR 实现均衡调节高速信号的功能；CDR 的功能是通过将输入信号的时钟恢复出来，从而恢复数据的电路，上一小节已详细介绍过，不再赘述；其他辅助功能电路则是 cross-point (x-point)，可以灵活分配通道信号（实现通道直通，相邻通道信号交换，通道信号复制扩展，两通道信号控制选择其一）；PRBS generator 和 PRBS checker 功能，是在 Retimer 器件 DS280DF810 内部集成了 PRBS generator 和 checker，方便实际应用时做物理层的检查，但是需要注意的是，PRBS 不能自发自收；眼图检查，DS280DF810 内部有眼图检查，既可以画出实际的眼图曲线，又可以通过寄存器读出眼高和眼宽，以确定眼图张开情况。

在实际 Retimer 应用中，除了上述提到的 DS280DF810 可实现的功能外，还会提到 Link Training, Gear Box 和 FEC。这些功能通常在内部集成 PHY 架构的产品中同时实现，而 DS280DF810 是纯粹的模拟电路，不包含数字的 PHY 架构，因此不能支持这些功能。以下小节将详细分析每个功能的要求和应用场景，以及在这些场景下，DS280DF810 的优劣势对比。

3.1 Link Training

Link Training 是一个训练过程，通过发送低频信号进行握手，其中 Rx 接收端 ASIC 请求远端链路更新其 Tx EQ 设置数值，以找到整个接收端 ASIC 链路对于高速信号补偿能力最有利的 Tx EQ。支持 Link Training 的 Retimer 有效地将链路分成收发两段，然后在这两段中独立实施链路训练。Link Training 根据规范自动处理的过程，使设计人员无需手动设置，可以自动寻找到有效的 Tx EQ。对于 Rx 也是同样的方法寻找合适的 EQ 值。

支持 Link Training 要求 Retimer 是双向的，并且具有协议感知引擎来解析控制字段，并在 Retimer 平分的两个链路段中相应地更新均衡设置参数。但是支持 Link Training 必须需要有更多通道，以支持双向传输，这也增加了相应的功耗。Link Training 适用于任何需要支持无源 DAC（直接连接铜线）或连接背板的应用，例如-CR 和 -KR 规范，但是不适用于任何其他接口，例如，它不适用于光学应用。

在 linear Redriver 中，可以支持 Link Training 功能。因为 linear Redriver 能够保留原有信号的幅度和均衡值，是将来自源、linear Redriver 和同步的整个通道包含在 Link Training 中，通过根据同步请求更改源幅度和预加重电平来完成的，不会干扰任何 Link Training 的实现。



Figure 6. Link Training transmission signal

在 Link Training 期间，链路的两个端点将交换信号，如图 Figure 6 所示。它包含：

- 帧标记：允许 Rx 识别链接训练信号的开始
- 系数更新：建议在链路另一端使用新的“均衡器”设置（链接伙伴）
- 状态报告：发送信号和握手 Tx 的当前“均衡器”设置
- 训练模式：Rx 将用来确定更新后的设置是否改善了测试模式的测试模式。

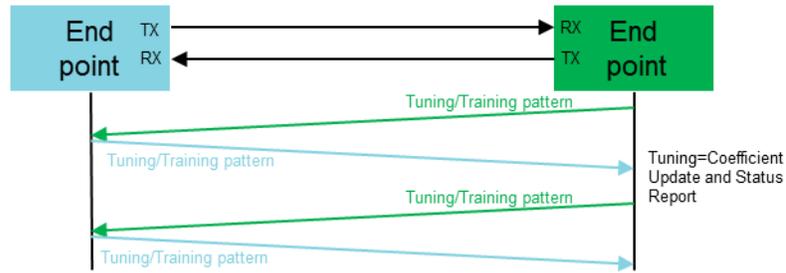


Figure 7. Link Training progress

如 Figure 7 所示，是两个终端设备 Link Training 的过程，通过不断地参数调整，RX 链路测试，寻找到合适的 Tx 的均衡数值。

在 TI 的器件中，Redriver 可以做到直通 Link Training，通过让 Rx ASIC 不向远端链路伙伴请求 Tx EQ 来解决，并不需要单向 Redriver 自身支持，但是 Retimer 器件由于其将收发分成两段，中间需要 CDR 电路重新锁定，因此不能支持透传 Link Training。但是只要波特率保持不变，在训练序列期间从 NRZ 转换到 PAM4，DS280DF810 就不会产生 CDR 失锁现象，从而造成任何毛刺，这种特殊场景也可以支持 Link Training。

为了可以找到折中的办法实现客户需求，TI 提出了一种称为“Assisted Link Training”的潜在解决方案，用于与 Retimer Rx 接口的源 Tx 特性没有系统级控制时，使没有 LT 数字协议的 Retimer 能够在 LT 场景中运行。

在 IEEE802.3 标准中，主机 ASIC 允许对于 50G-PAM4，要求第三方供应商为每个规范的主机入口通道提供 Tx preset 选项，以在默认情况下启用一些默认的 pre 或 post tap。此选项有三种预定义，不需要 Retimer 的干预。

Preset 1: No Tx EQ Applied

Preset 2: 4dB PreTap1, 3dB PostTap

Preset 3: 6dB PreTap1, 0dB PostTap

当 Tx 选择 preset1、2 或 3 时，Retimer 不会干扰 Link Training 模式或程序（例如 NRZ 到 PAM4 的转换）。这种是特殊的实现 Link Training 的方法，预设值固定，因此应用场景有限，需要和客户确认是否可以接受这种预先设置 pre 和 post tap 的应用。

3.2 Gear Box

Gear Box 是一种逻辑功能或一种在输入和输出之间映射数据的设备，本质上是一种多路复用器/多路分解器，用于将一个速率的多个串行数据流转换为另一种速率的多个数据流，串行到并行和并行到串行 (SerDes) 转换器是该设备的核心。在 ASIC 或 FPGA 连接到背板或电缆时非常有用，如 Figure 8 示，Gear Box 可以将 4 个 53 Gbits/s 通道转换为 8 个 25 Gbits/s 通道，反之亦然。

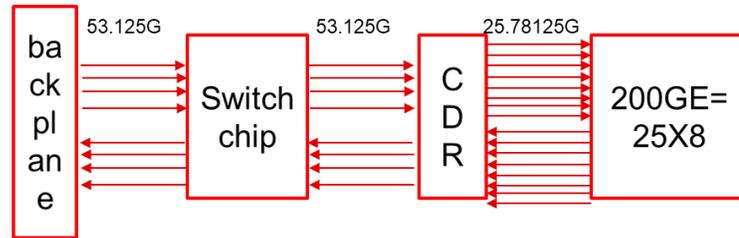


Figure 8. Gear Box 功能应用实例

Gear Box 将频率 a 的 n 位转换为频率 b 的 m 位。因此从并行数据转换为并行数据，位转换与频率之比为 $n/m=b/a$ 。SerDes（串行器/解串器）是一种特殊形式的 Gear Box，具有两个频率： $n/1=b/1$ 。这是一个并行输入串行输出电路。Gear Box 本身也是将数据打乱重新根据新的内部时钟，生成新的频率的功能。而 bit mux 是一种特殊的 Gear Box，其仅能实现倍频，即频率 a 的 n 位转换为频率 $2a$ 的 $n/2$ 位，简单来说是通过 NRZ 转为 PAM 4 的原理实现倍频功能转换，其内部参考钟不变。

TI 的器件 DS560DF810 因为只有一个内部参考时钟，所以仅支持 BIT MUX 功能。BIT MUX 仅仅是将 NRZ 信号和 PAM 4 信号之间的转换，因此只能实现速率的 2 倍或是减半，不能实现任一频率之间的转换。在实际应用中，Gear Box 功能多集成在 PHY 架构里，从而集成至拥有 PHY 架构的 Retimer 芯片中。在目前常用的 200GE 光口速率中，因为在靠近背板侧的 PCB 面积有限，SerDes 选用高速率 4 条 lane 的 53G，会更比 8 条 lane 的 25G 节省走线面积。同时由于交换芯片 53G 和光口速率 25G 支持速率不匹配，且没有倍数关系，因此需要 Gear Box。但是在未来的 400GE 光口速率中，其交换芯片和光口速率将会匹配至 53G，Gear Box 的应用将不再需要。

3.3 FEC

FEC 是一种通过在有效数据和数据加扰之上添加额外编码来显著降低 BER 的方法。只要比特错误的数量低于每个符号的特定阈值，这种编码就可以为远端接收器提供一种纠正比特错误的方法，从而避免重传。FEC 几乎用于每个 25GbE+ 的应用场景，是系统实现中的必备条件。举例来说，以实现 50G PAM4 应用的 $BER = 1E-15$ 。FEC 与加扰一起在物理层中进行，它通常是 ASIC 本身支持的功能。

支持 FEC 的 Retimer 可以使用独立于 ASIC 的新编码模式重新生成或终止生成，这对于支持非整数 Gear Box 转换特别有用。FEC 由于需要一直处于开启状态，因此会占用功耗，和大量的数字电路资源，以便在设备的整个任务模式操作过程中使用不同的编码方案 decode/recode 数据。此外，FEC 支持显著增加了链路延迟，通常，由于 FEC 可以在 ASIC 链路部分中实现，因此 Retimer 中 FEC 支持有些多余，特殊情况下需要和 Gear Box 功能共同配合，才会集成在 Retimer 内部。

4 参考文献

1. DS280DF810 datasheet
2. DS280BR810 datasheet

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2021，德州仪器 (TI) 公司