

定协议，它们使用这些原则实现了链路层服务。

我们看到链路层的基本服务是将网络层的数据报从一个结点（主机、交换机、路由器，WiFi 接入点）移动到一个相邻的结点。我们看到，在通过链路向相邻结点传输之前，所有链路层协议都是通过将网络层数据报封装在链路层帧中来操作的。然而，除了这个共同的成帧功能之外，我们知道了不同的链路层协议提供截然不同的链路接入、交付和传输服务。造成这些差异的部分原因是链路层协议必须工作在很多种链路类型上。一个简单的点对点链路具有单个发送方和接收方，并通过单一“线路”通信。一个多路访问链路在许多发送方和接收方之间共享；因此，对多路访问信道的链路层协议有一个协调链路接入的协议（它的多路访问协议）。在 MPLS 的情况下，连接两个相邻结点（例如，在 IP 意义上的两台相邻的 IP 路由器，它们是到某个目的地的下一跳 IP 路由器）的“链路”，其本身可能实际上就是一个网络。从某种意义上来说，将一个网络视为一条“链路”的想法没有什么可奇怪的。例如，连接家庭调制解调器/计算机到远端调制解调器/路由器的一条电话链路，实际上是一条穿过精密而复杂的电话网络的路径。

在链路层通信所依据的原理中，我们研究了差错检测和纠正技术、多路访问协议、链路层寻址、虚拟化（VLAN）以及扩展的交换局域网和数据中心网络的构造方法。今天对链路层的许多关注在于这些交换网络。在差错检测/纠正场景中，为了对帧通过链路传输时可能发生的比特翻转进行检测并在某些情况下进行纠正，我们研究了在帧的首部增加附加比特的方法。我们讨论了简单的奇偶校验和检验和方案，以及更健壮的循环冗余检测。然后我们转向多路访问协议主题。我们确定和学习了协调访问广播信道的 3 大类方法：信道划分方法（TDM、FDM）、随机接入方法（ALOHA 协议和 CSMA 协议）和轮流方法（轮询和令牌传递）。我们学习了电缆接入网，发现它使用了多种这些多路访问方法。我们看到让多个结点共享单个广播信道的结果，是需要在链路层提供结点地址。我们知道物理地址和网络层地址是非常不同的，而且在因特网场景中，一个专门的协议（ARP，即地址解析协议）用于在这两种寻址形式之间进行转换，并且详细学习了极为成功的以太网协议。然后我们研究了共享一个广播信道的结点是怎样形成一个局域网的，以及多个局域网怎样能够互联形成一个更大的局域网，即互联这些本地结点完全不需要网络层路由选择的干预。我们也知道了多个虚拟局域网是怎样能够产生一个单一的物理局域网体系结构的。

通过关注当 MPLS 网络互联 IP 路由器时是如何提供链路层服务的和展望今天用于大型数据中心的网络设计，我们结束了链路层的学习。通过识别在获取一个简单的 Web 网页时所需要的许多协议，我们完成了本章（实际上是前 5 章）。在学习了链路层后，我们沿协议栈向下的旅程现在结束了！当然，物理层位于数据链路层之下，但是物理层的细节也许最好留给另外一门课程（例如，在通信理论而不是计算机网络课程中）去学习。然而我们在本章和第 1 章（在 1.2 节中讨论了物理媒体）中已经接触了物理层的几个方面。当我们在下一章中学习无线链路特性时，将再次考虑物理层。

尽管我们沿协议栈向下的旅程已结束，但我们计算机网络的学习仍然没有结束。在后面的 4 章中我们将讨论无线网络、多媒体网络、网络安全和网络管理。这 4 个主题不便放进任何一层中；实际上每个主题跨越了多个层次。因此理解这些主题（在某些网络教材中被列为高级主题）需要对协议栈所有层次都有坚实的基础，我们对链路层的学习已经完成了这样的基础！