



数据链路层：帧的旅程与以太网演进



汇报人：甘芝清 黄慧雯 林银蕊

汇报日期：2025/12/12





目录

CONTENTS



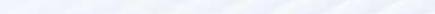
- / 01.数据链路层定位与使命
- / 02.帧封装与透明传输
- / 03.差错检测机制
- / 04.PPP协议全景
- / 05.传统以太网与CSMA/CD
- / 06.以太网扩展与星型崛起
- / 07.高速以太网速览
- / 08.虚拟局域网的概念
- / 09.本章回顾与展望





数据链路层定位与使命

01



数据链路层：TCP/IP 的“夹心”层

在五层模型中承上启下，其核心使命是在 相邻节点 间提供 可靠 的 数据传输服务。

下接物理层

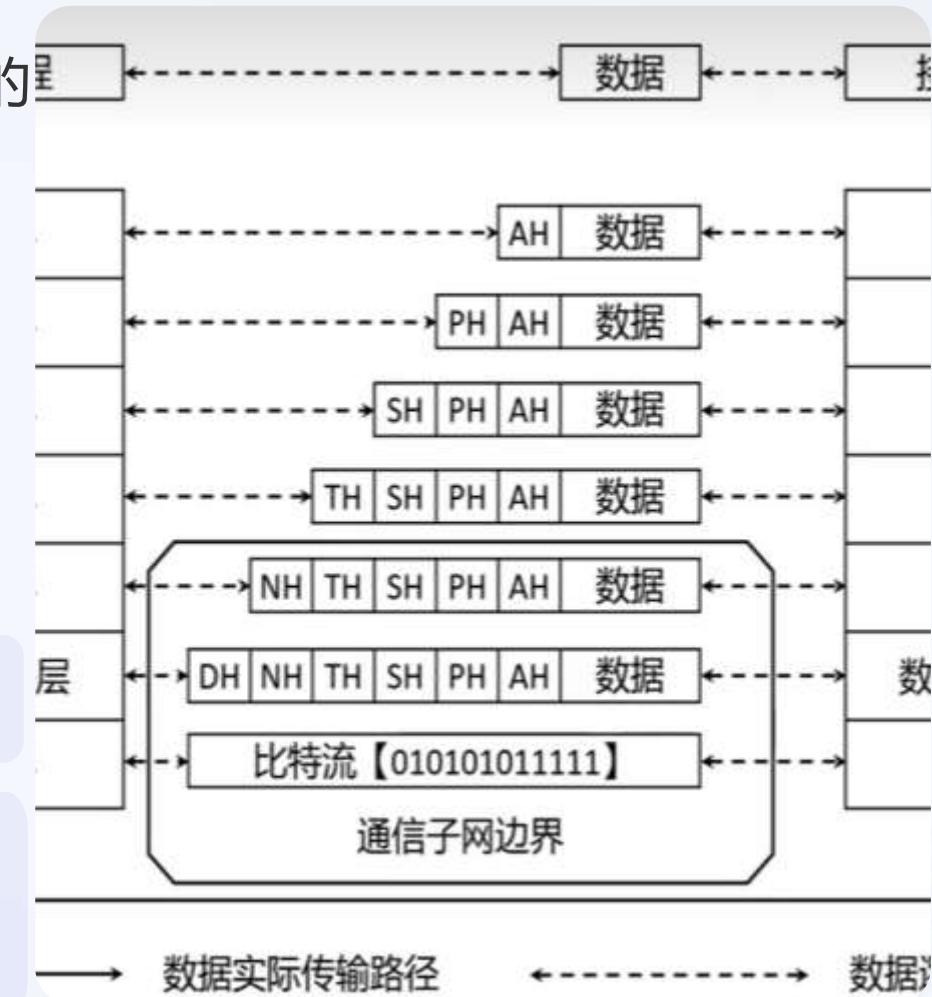
负责在物理介质上无差错地传输比特流，是 “哑巴搬运工” 。

上承网络层

负责源主机到目的主机的路径选择与分组交付，是 “智能调度员” 。

链路：指一条无源的点到点物理线路段，中间没有任何交换节点。

数据链路：除了物理线路外，还必须包含通信协议来控制数据传输。即：链路 + 协议 = 数据链路



五大核心功能：帧的生命周期

数据链路层通过一条“可靠传输流水线”，确保数据帧在节点间的安全、高效传输。





帧封装与透明传输

02



帧定界：让比特流会说话

封装成帧的核心是为数据添加“边界”，使接收方能从连续的比特流中准确识别出一个完整的帧。



透明传输的挑战

当数据内部恰好出现与帧定界符相同的比特模式时，如何解决“假警报”问题？

透明传输：数据不踩“雷区”

字节填充

在数据中出现的每个定界符或转义符前，都插入一个 **ESC字符**。接收方再将其删除。

数据: A SOH B EOT C
发送: A ESC SOH B ESC EOT C

零比特填充

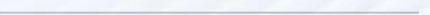
在数据中出现的每连续 **5个1** 后，自动插入一个 **0**。接收方再将其删除。

数据: 011011111101
发送: 01101111**0**101



差错检测机制

03



差错检测：给帧加“数字指纹”

循环冗余检验 (CRC) 是数据链路层广泛使用的检错技术。

发送端

将帧视为多项式 $M(x)$ ，用约定生成多项式 $G(x)$ 做模2除法，将余数 $R(x)$ 作为帧检验序列 (FCS) 附加在帧后发送。



接收端

用相同的 $G(x)$ 对收到的帧做模2除法。若余数为 0，则认为帧无差错，接受。

注意：CRC只能做到无差错接受，即丢弃错误帧，并不能纠错。



PPP协议全景

04



PPP协议

点对点通信的“瑞士军刀”

以其简单、透明和多协议的特性，成为拨号、光纤等点对点链路的通信标准。



封装方法

将IP数据报封装到串行链路



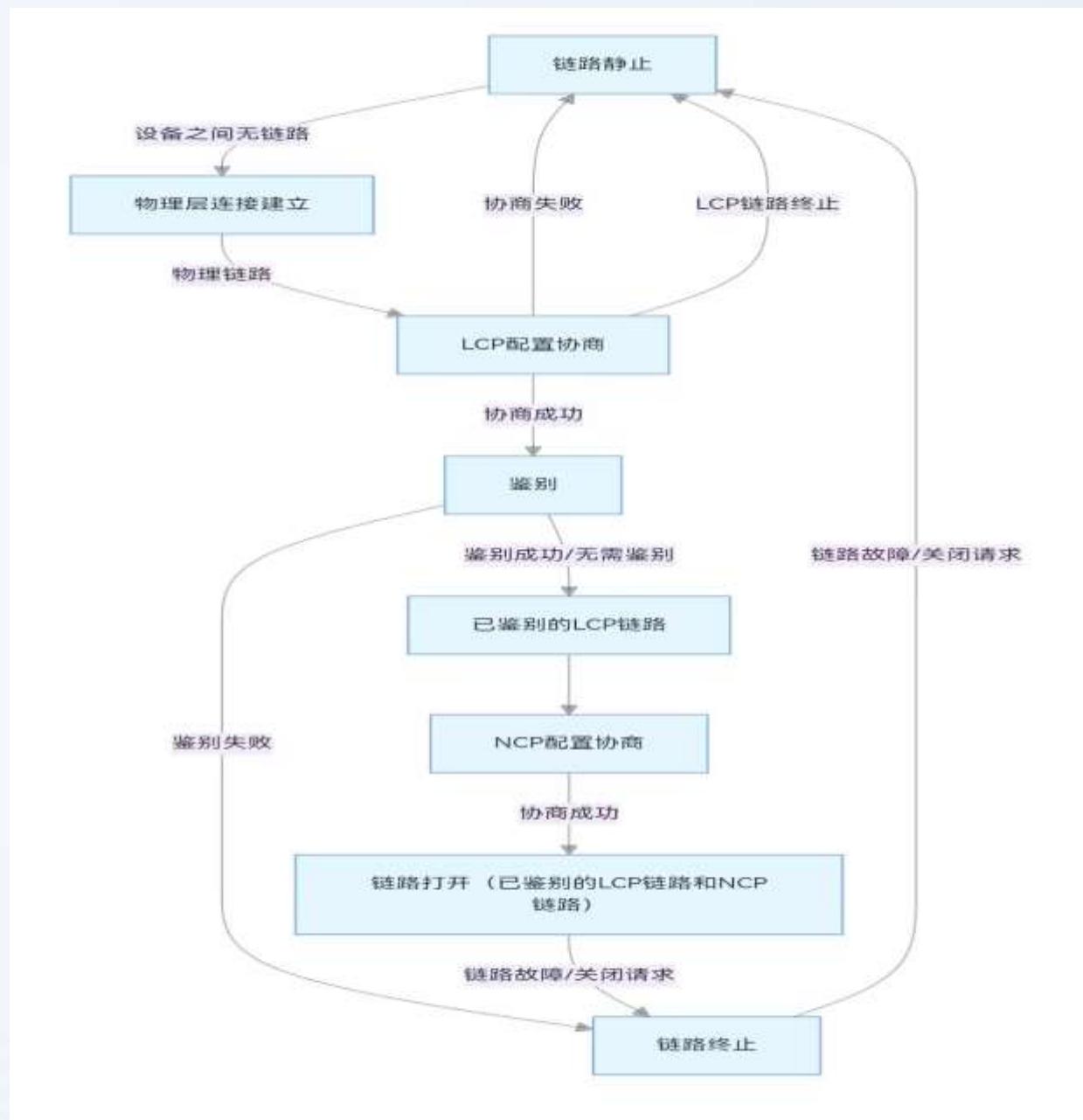
LCP

链路控制协议，协商参数



NCP

网络控制协议，支持多协议



PPP的工作状态



PPP帧格式：逐字段拆解



字段	长度	说明
标志 (F)	1B	帧的起始和结束标记，固定为0x7E
地址 (A)	1B	点对点链路无需寻址，固定为0xFF
协议	2B	标识信息部分承载的数据类型
信息	≤1500B	承载的上层协议数据单元



传统以太网与CSMA/CD

05



局域网的概念



局域网（LAN）是一种在**较小地理范围**内（如办公楼、校园）使用的计算机网络，通常由**一组互连的计算机构成**，具有**高数据传输率、低延迟、低误码率**的特点，采用**共享传输介质**进行通信。

以太网诞生：总线拓扑的革命

诞生于1970年代的Xerox实验室，最初通过同轴电缆将多台计算机连接在一根总线上，形成“一人讲、众人听”的广播式网络。

- ⌚ **10 Mbps 速率**: 最初的标准，开启了局域网时代。
- 〽 **曼彻斯特编码**: 自带时钟同步，简化接收端设计。
- 〽 **总线型拓扑**: 所有站点共享同一传输介质。



CSMA/CD：先听后讲，边讲边听

载波监听多点接入/碰撞检测 (CSMA/CD) 是以太网解决共享介质冲突的核心协议

。



1. 载波监听

发送前先“听”信道，若忙则等待，若闲则发送。



2. 多点接入

多个站点连接在同一总线上，都可尝试发送数据。



3. 碰撞检测

边发送边“监听”，一旦检测到冲突，立即停止发送。

退避算法：冲突后的“礼貌”

第n次冲突后，站点随机等待 0 到 $2^n - 1$ 个时隙后再重传，上限为1023。

该机制把重传时间**随机化**，避免多站点再次同步碰撞，体现“礼貌重传”思想，用概率策略维持系统稳定性与公平性。

第1次	0 到 1	[0, 1]
第2次	0 到 3	[0, 3]
第3次	0 到 7	[0, 7]
...		
第n次	0 到 $2^n - 1$	[0, $2^n - 1$]



以太网扩展与星型崛起

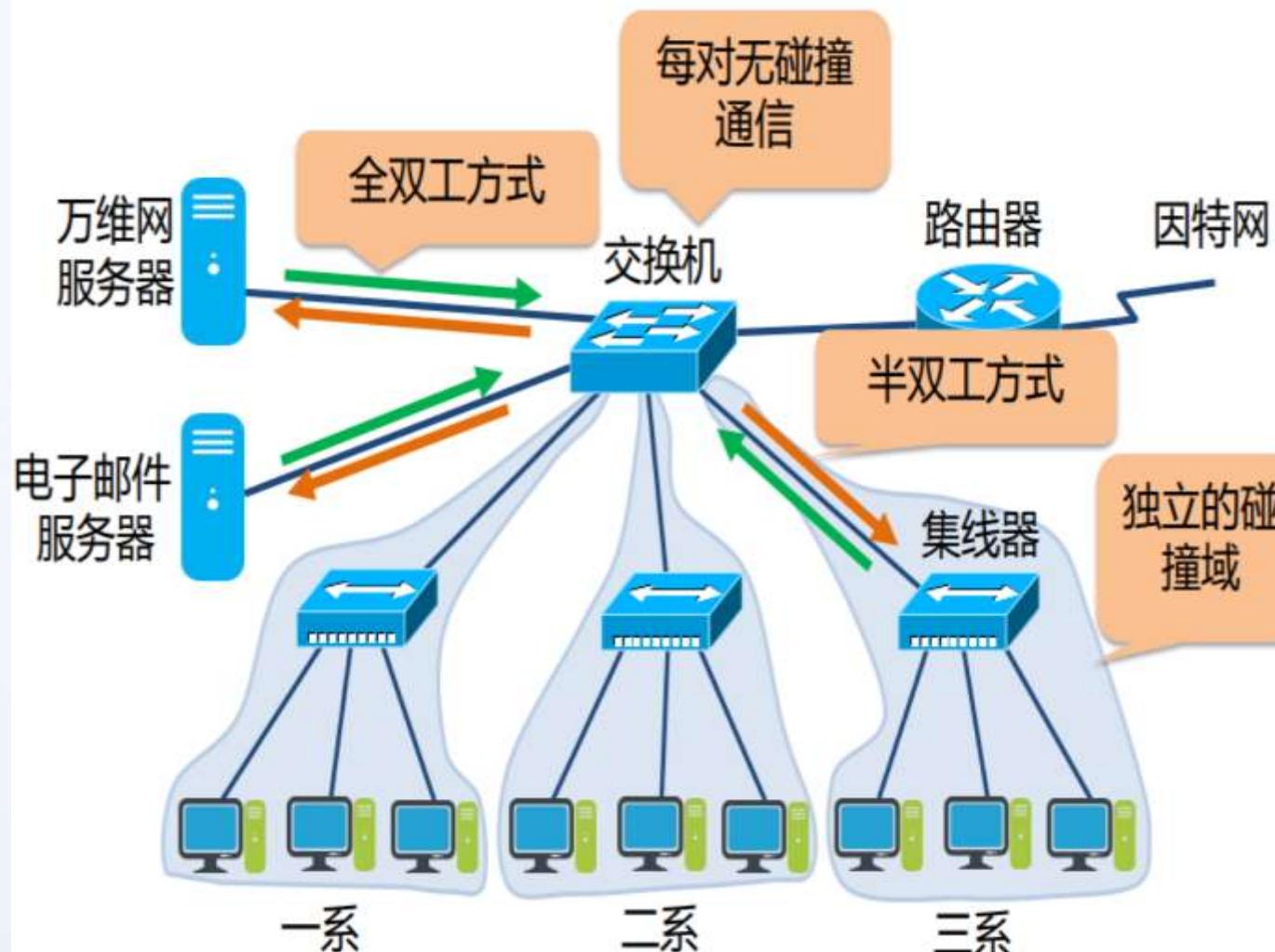
06

以太网的概念与工作原理

以太网是一种基带局域网技术，采用 CSMA/CD 的协议在共享介质上上传输数据。

核心是以太网帧格式，包括目的地址、源地址、类型/长度、数据、帧检验序列等字段。

数据以广播方式发送，所有站点都能接收，但只有目标地址匹配的站点才会处理。



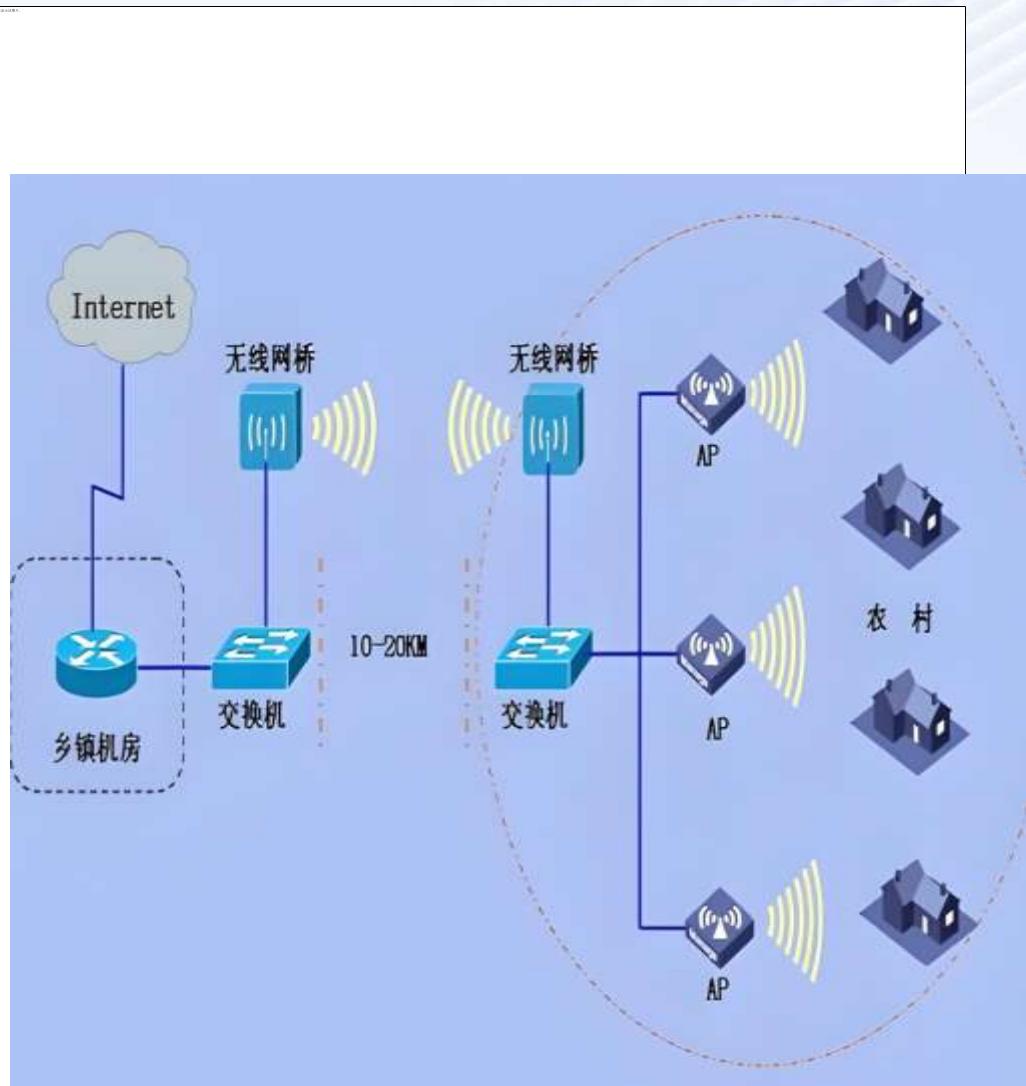
Hub物理扩展：碰撞域放大器

集线器在物理层简单放大信号，虽延长距离却把多个网段合并成更大碰撞域。



网桥：智能的分段器

网桥根据 **MAC地址** 转发帧，能隔离冲突，将一个大碰撞域分割成多个小的。



- ✿ **自学习：**通过观察帧的源地址和入端口，动态建立地址表。
- ▽ **过滤：**若目的地址和源地址在同一端口，则丢弃帧。
- **转发：**若目的地址在另一端口，则将帧转发到该端口。
- speaker **广播：**若目的地址未知，则将帧广播到所有其他端口。

交换机：星型全双工时代

交换机是多端口网桥，为每对端口提供独享带宽，并支持全双工通信，彻底改变了以太网的面貌。

共享式以太网

总线型, 半双工, CSMA/CD

共享带宽

冲突频繁

扩展性差



交换式以太网

星型, 全双工, 无冲突

速率独享

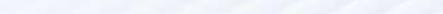
全双工通信

易于维护



高速以太网速览

07



快速以太网：百兆平民化

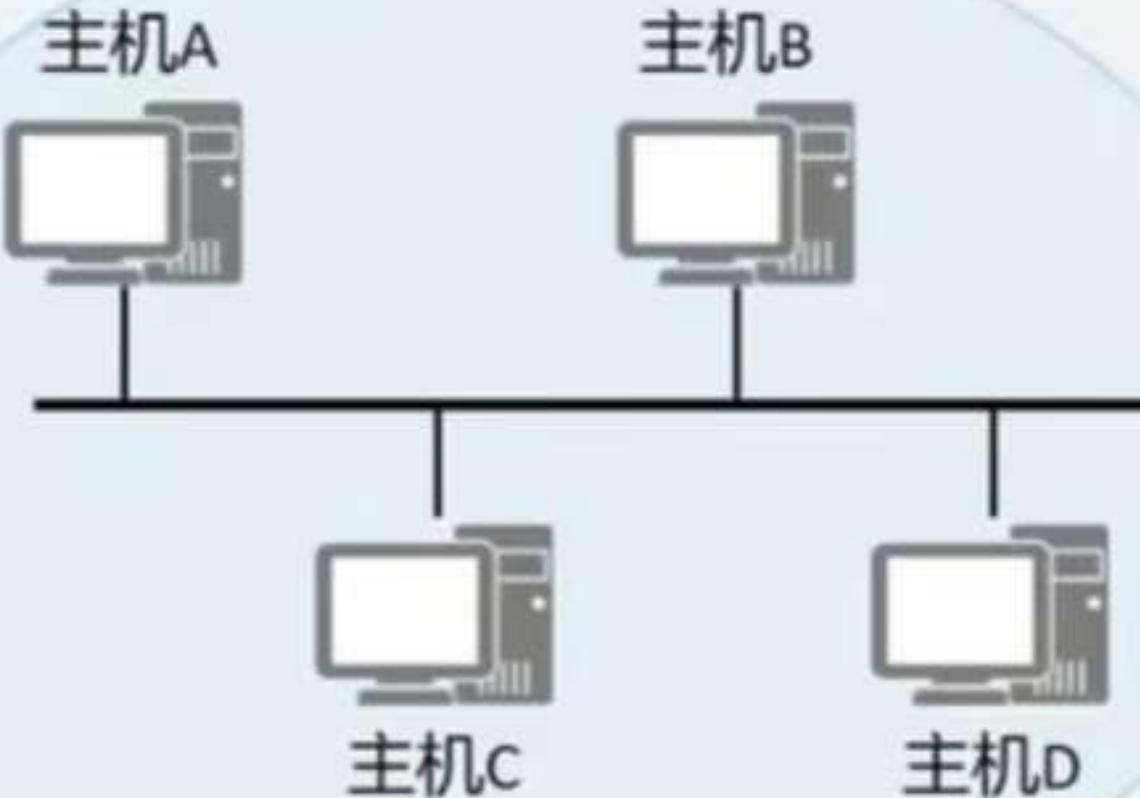
将速率提升至100Mbps，同时保持了与传统以太网的完全兼容性，实现了平滑过渡。

100BASE-TX

使用2对5类UTP双绞线，最大距离100米，成为桌面连接的主流。

100BASE-FX

使用2对光纤，最大距离可达2公里，解决了楼宇间互联问题。



早期的以太网

千兆以太网：载波延伸与分组突发

为兼容传统以太网的 **64字节最小帧**，千兆以太网引入了两种关键技术。

载波延伸

将冲突检测时间从64字节扩展到 **512字节**，通过填充无用数据（PAD）实现。

数据 (64B) | PAD (填充至512B)

分组突发

允许站点连续发送多个短帧，共享一次争用期，提高传输效率。



帧1 | 帧2 | 帧3 | 帧4 | 帧5 | 共享争用期

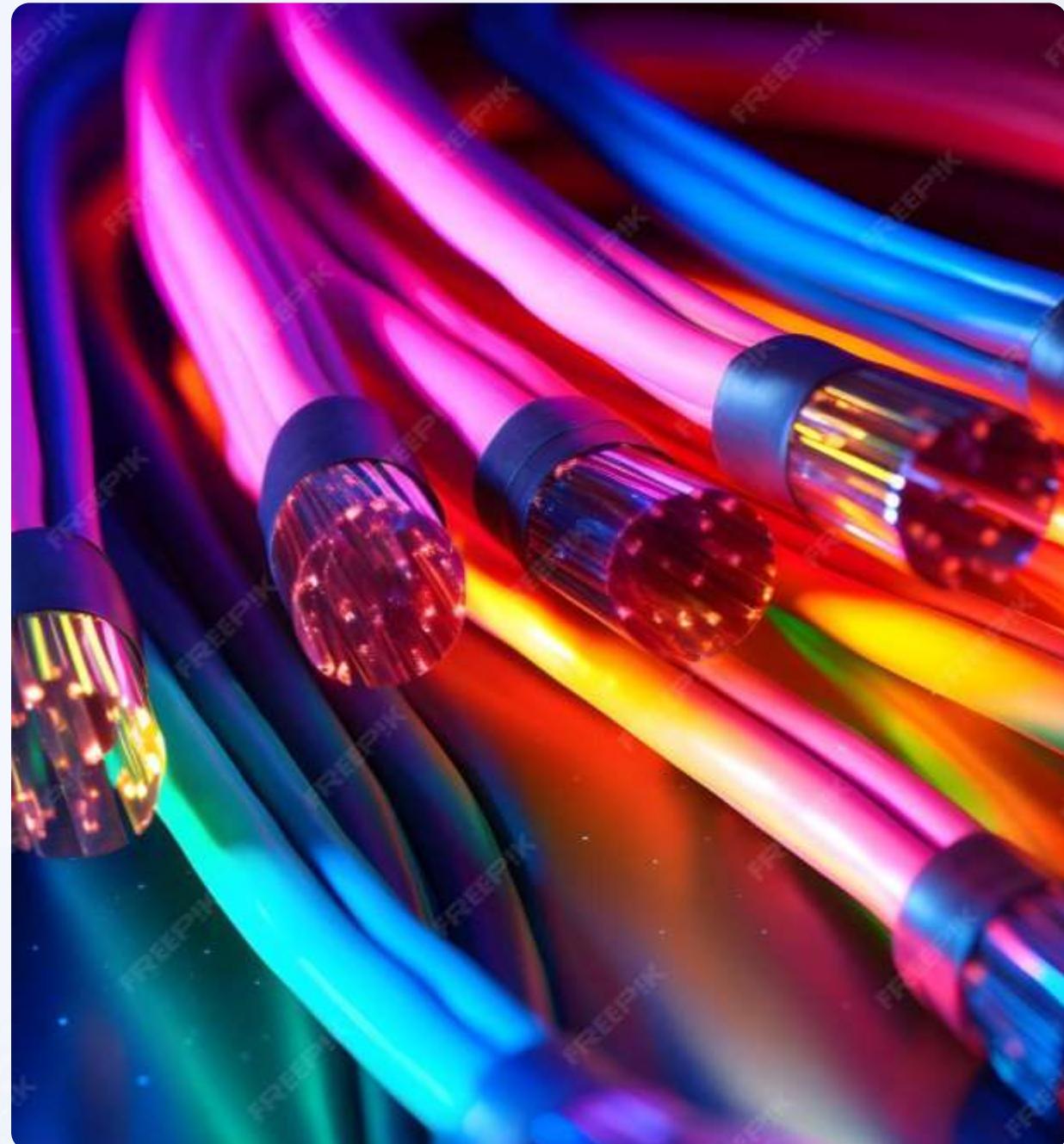
万兆以太网：告别 CSMA/CD

万兆以太网 (10GbE) 是一次革命，它只工作在全双工光纤上，彻底告别了 CSMA/CD 协议，使以太网从局域网走向城域甚至广域网。

只使用光纤：提供长距离、高带宽、抗干扰的传输。

只工作在全双工：无共享介质，自然无冲突，无需 CSMA/CD。

帧格式不变：保持了与传统以太网的兼容性，实现“无处不在的以太”。



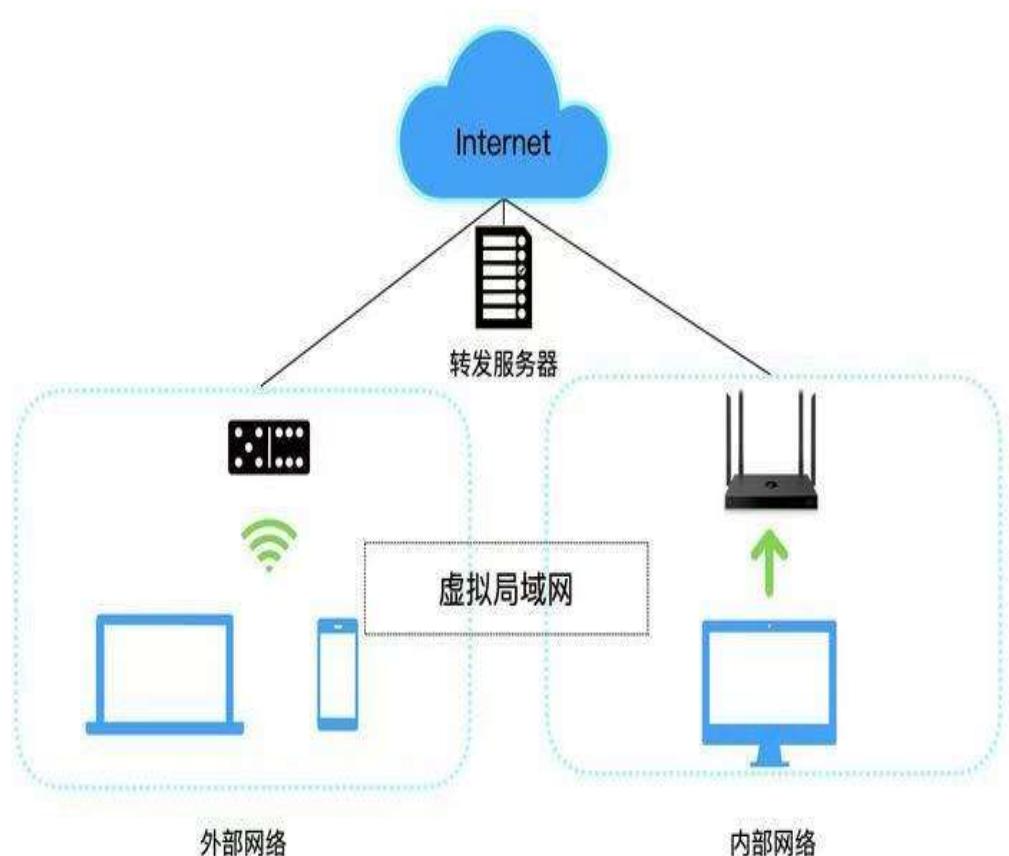


虚拟局域网的概念

08

虚拟局域网 (VLAN)

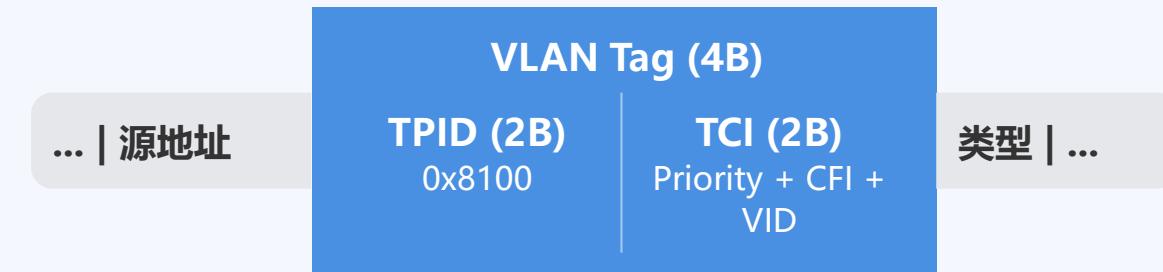
一种通过 **软件配置** 将局域网设备划分到不同逻辑组的技术。



- 🛡 **提高安全性**: 隔离广播域，限制不同部门间的直接通信。
- ⚙️ **简化管理**: 逻辑分组不受物理位置限制，便于调整。
- ➡️ **减少广播风暴**: 将广播限制在VLAN内部，提升网络性能。

VLAN 的帧格式 (802.1Q 标记)

在标准以太网帧的源地址和类型字段之间插入 4 字节的 VLAN 标记。



VLAN ID (VID)

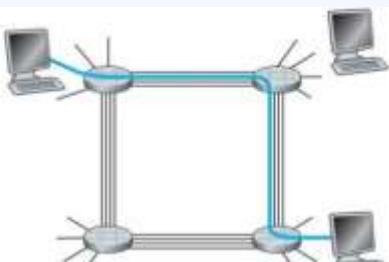
12 位，可表示 **4096** 个不同的 VLAN。

VLAN 的通信

同一VLAN内部

source & destination:

- In diagram, each link has four circuits.
- call gets 2nd circuit in top link and 1st circuit in right link.
- dedicated resources: no sharing
- circuit-like (guaranteed) performance



直接通过二层交换机转发，广播被限制在本VLAN。

需路由
→
←

不同VLAN之间

Security-first diagramming
for teams.

bring your storage to our online tool or go more privately
with the desktop app.



需要通过**三层设备（路由器或三层交换机）**进行路由。



本章回顾与展望

09



三层问题一条线：链路层的公共底座

数据链路层通过解决三个基本问题，为上层提供了可靠的链路服务，
这是任何链路层技术的公共底座。



封装成帧
加头加尾，界定边界



透明传输
字节/零比特填充，安全穿越



差错检测
CRC校验，数字指纹

从共享到交换：以太网的演进之路



以太网的发展史是一部在“兼容”与“性能”之间不断权衡的历史，最终交换式以太网以其卓越的性能胜出。

未来展望：以太网新 边界

当以太网进入工业、车载、广域，下一站
将如何重写“帧”的边界？

400G/800G：更高带宽的持续演进。

TSN：时间敏感网络，确定性时延。

融合：以太网与IP层的更深度融合。

SDN：软件定义网络，更灵活的控制。





THANK YOU FOR READING!

感谢您的观看

汇报人：甘芝清 黄慧雯 林银蕊

汇报日期：2025/12/12

