



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”。

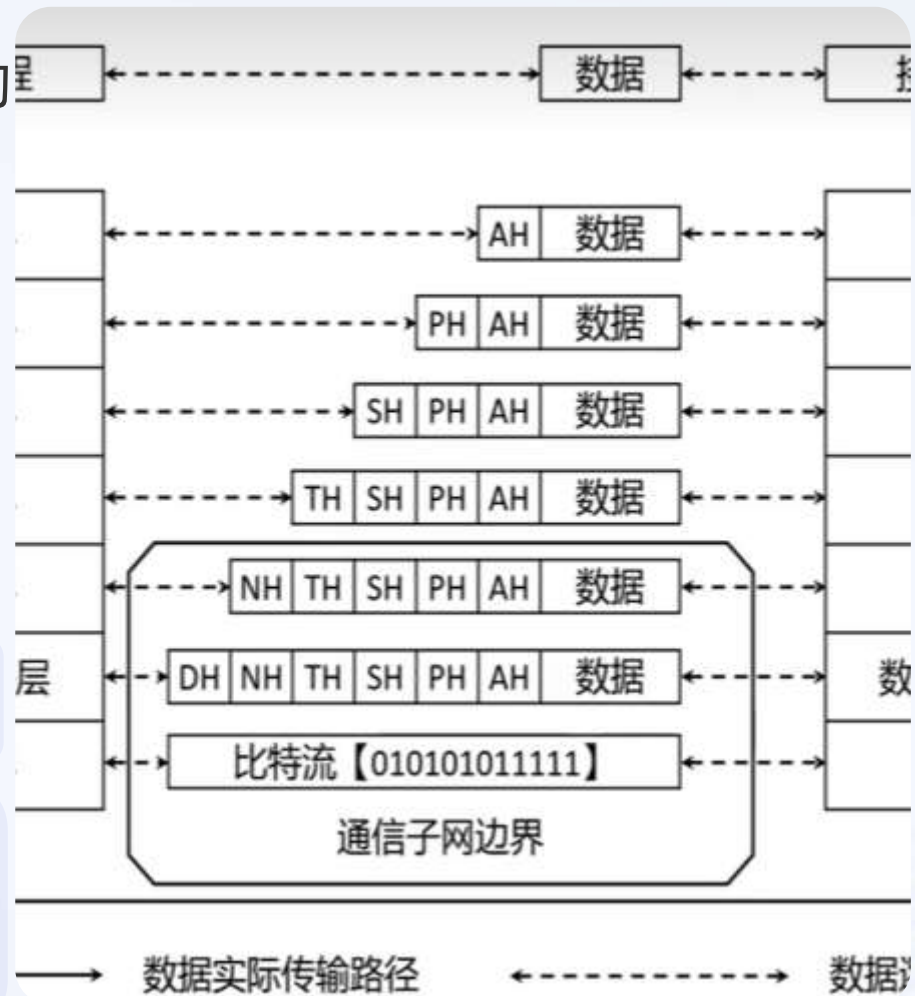


上承网络层

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。



帧封装与解封装



透明传输



差错控制



流量控制

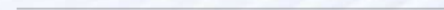


链路管理



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。

帧首部
(SOH)

数据

帧尾部
(EOT)



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: 0110111110101



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



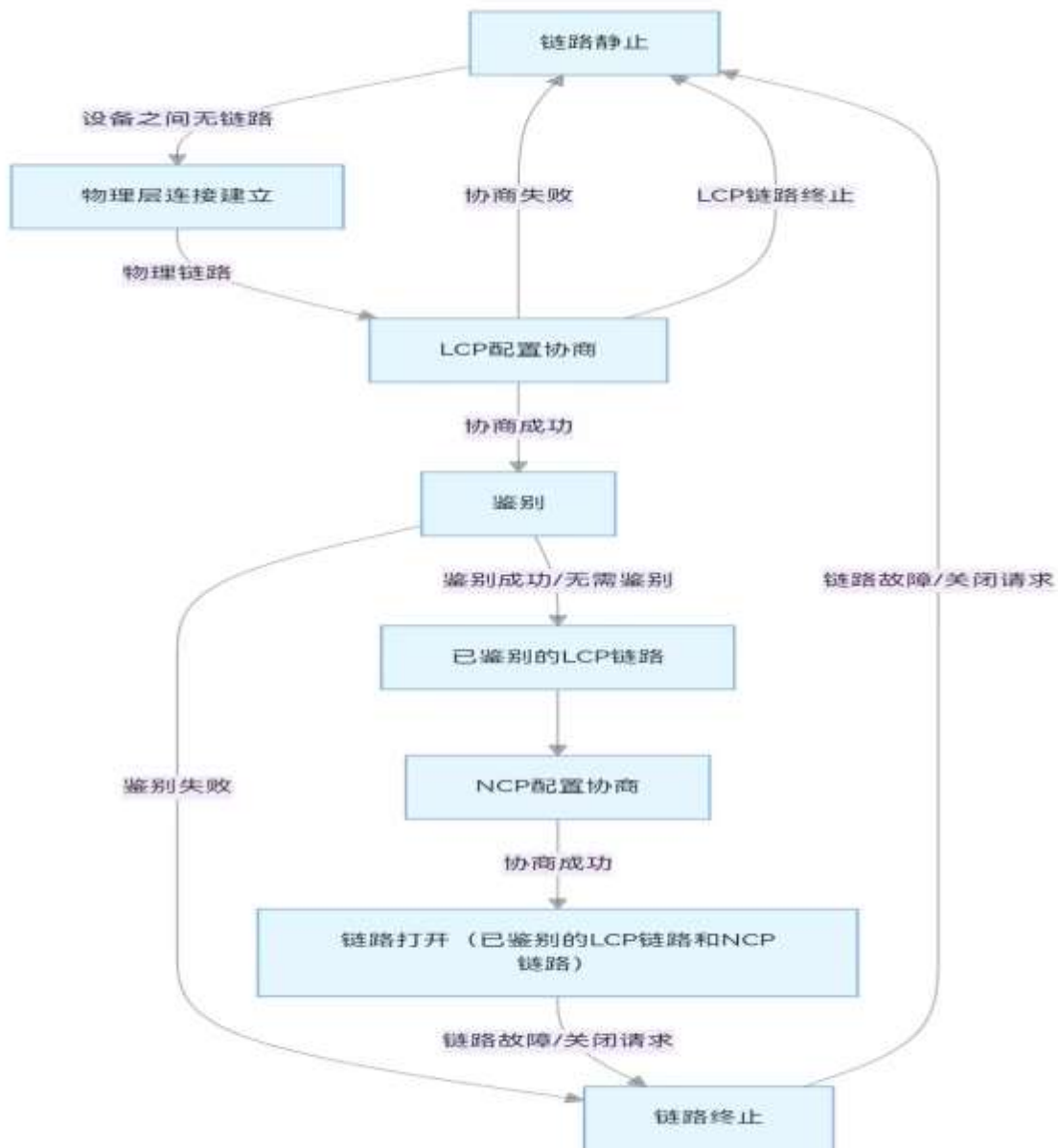
LCP

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	$\leq 1500\text{B}$	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**一组互联的计算机构成**，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

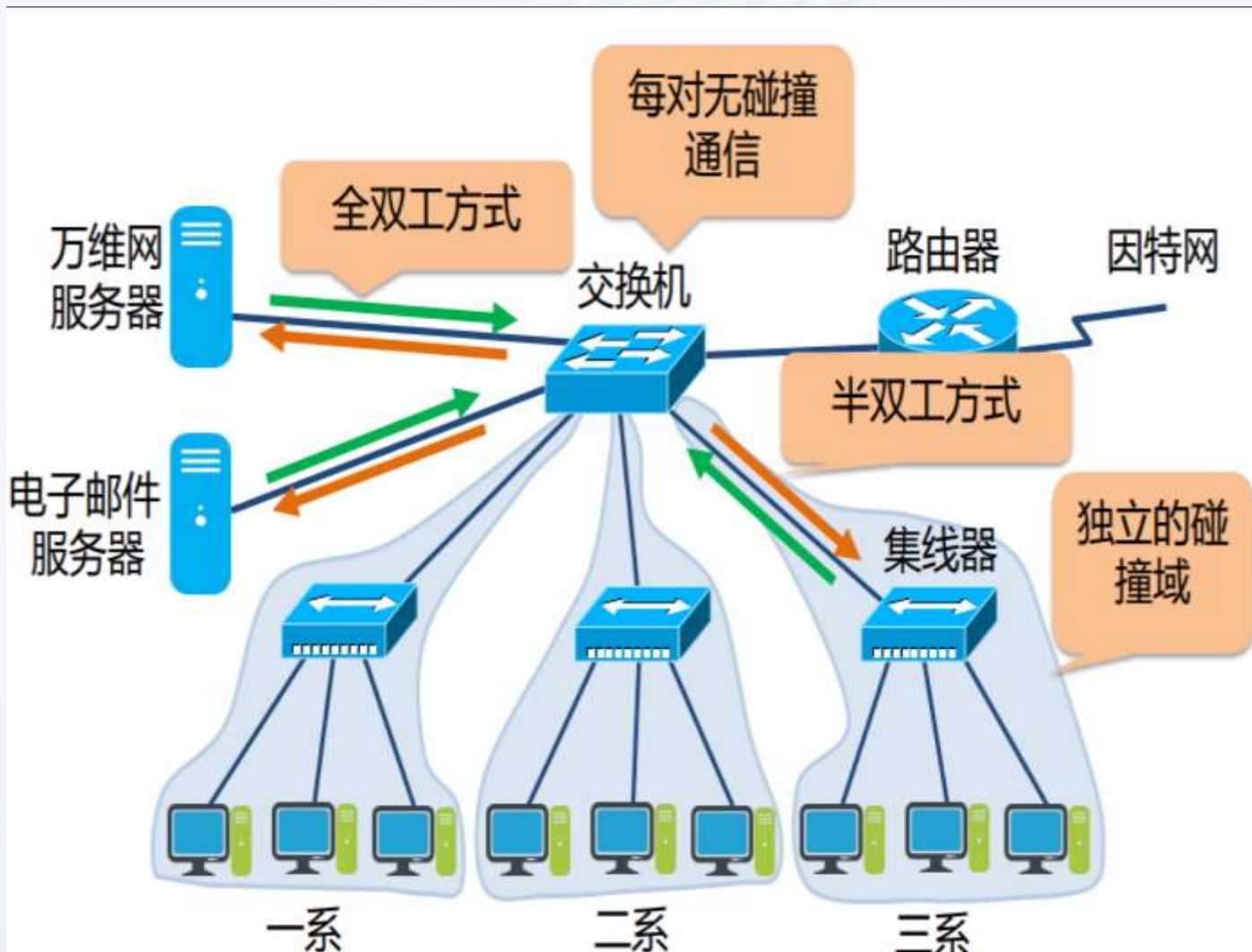


以太网的概念与工作原理

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。

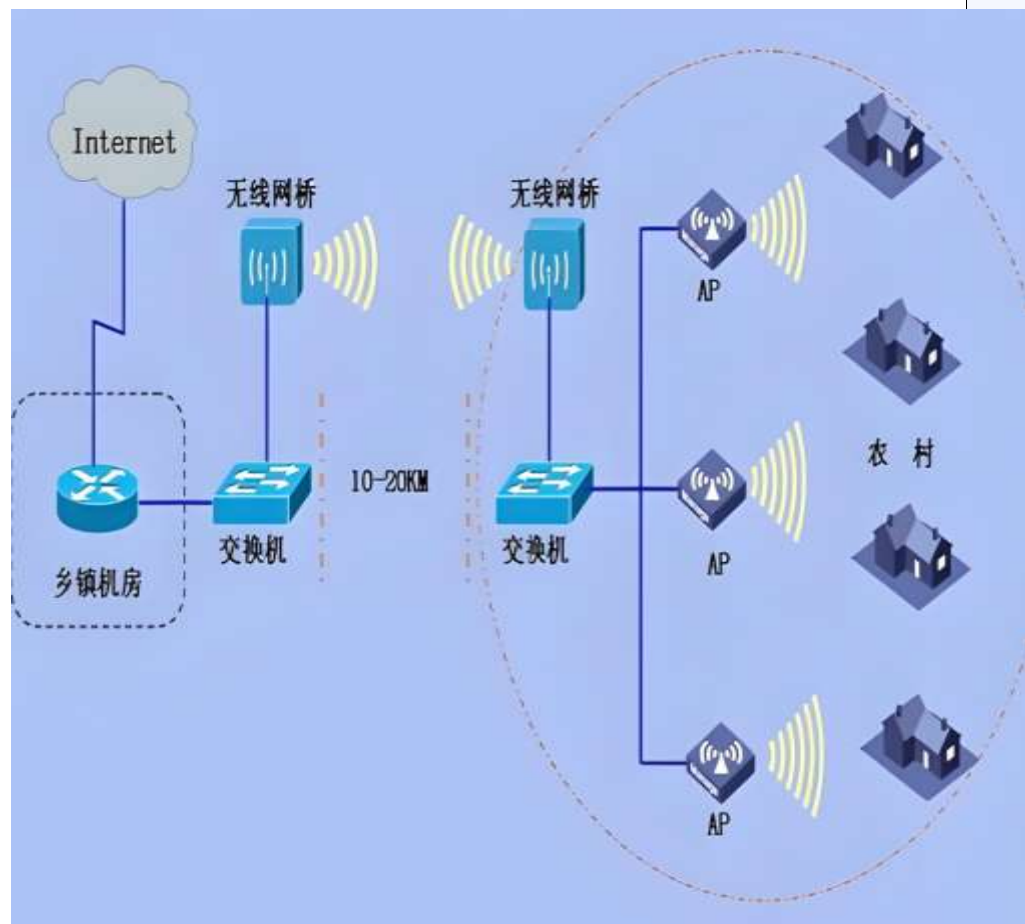
数据以**广播**方式发送，所有站点都能接收，但只有目标地址匹配的站点才会处理。



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。
- 📢 **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

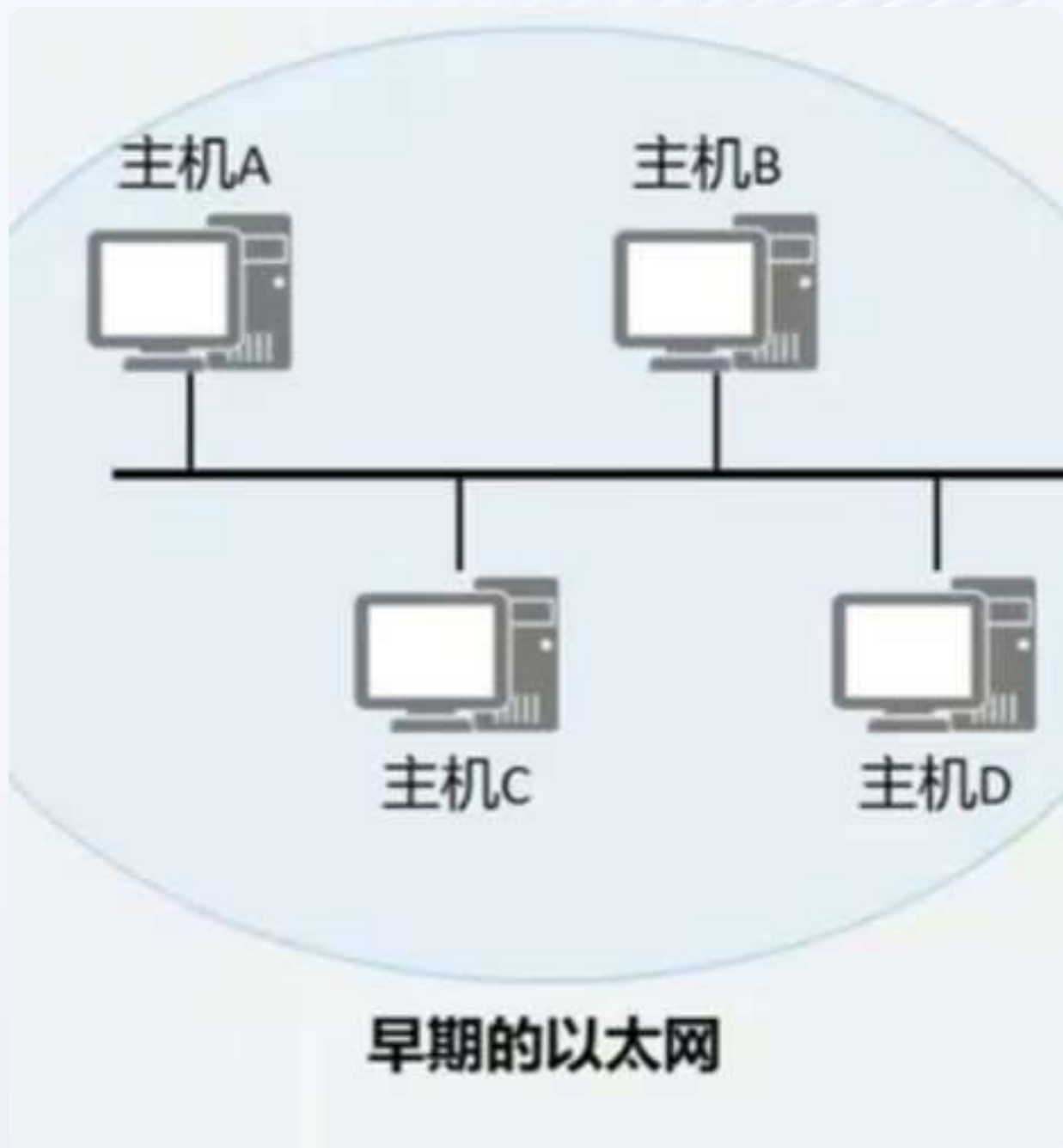
将速率提升至100Mbps，同时保持了与传统以太网的**完全兼容性**，实现了平滑过渡。

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。

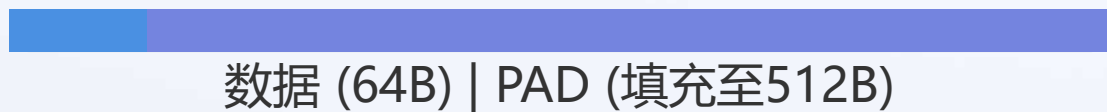


千兆以太网：载波延伸与分组突发

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。



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。



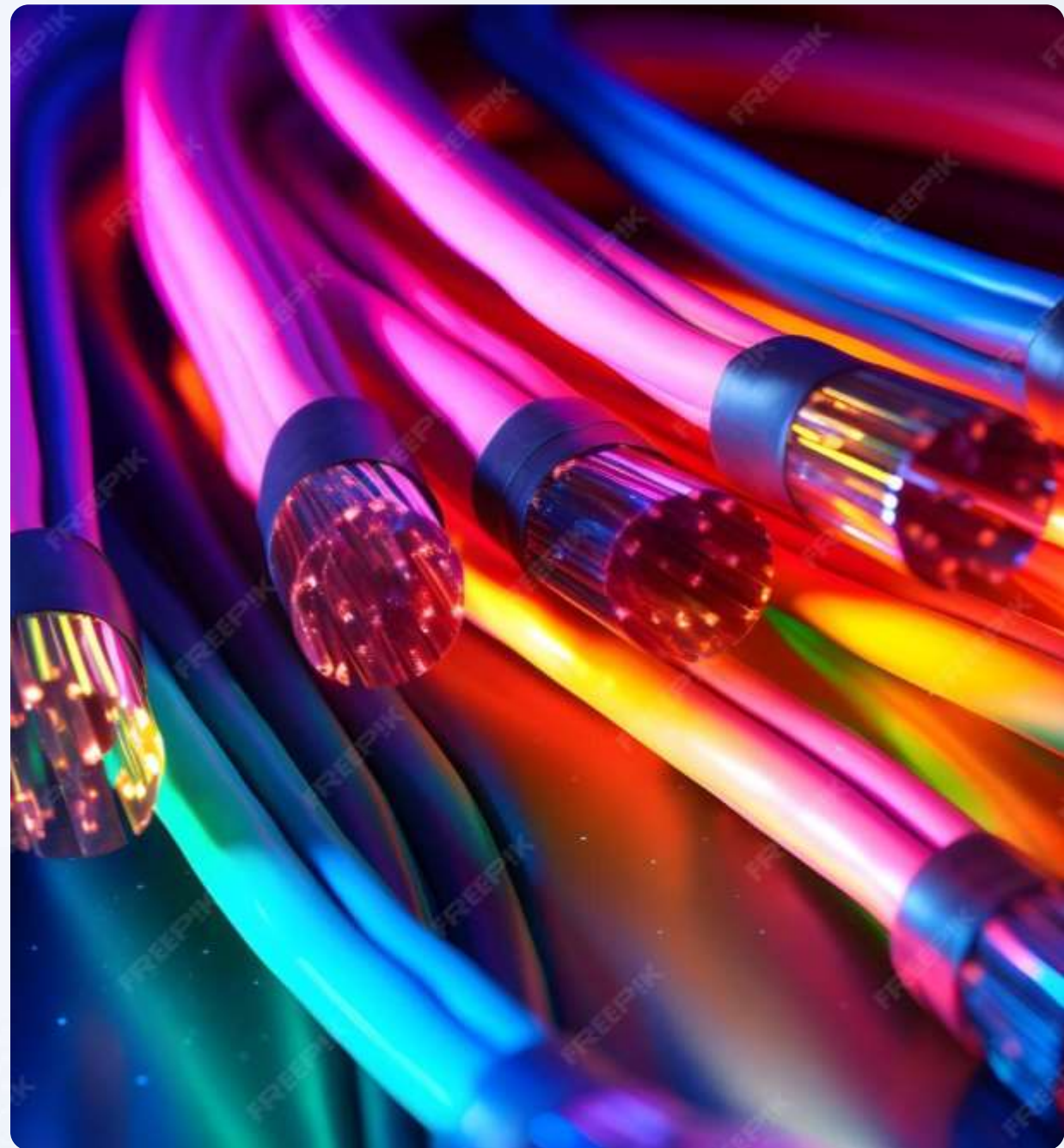
万兆以太网：告别 CSMA/CD

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”。





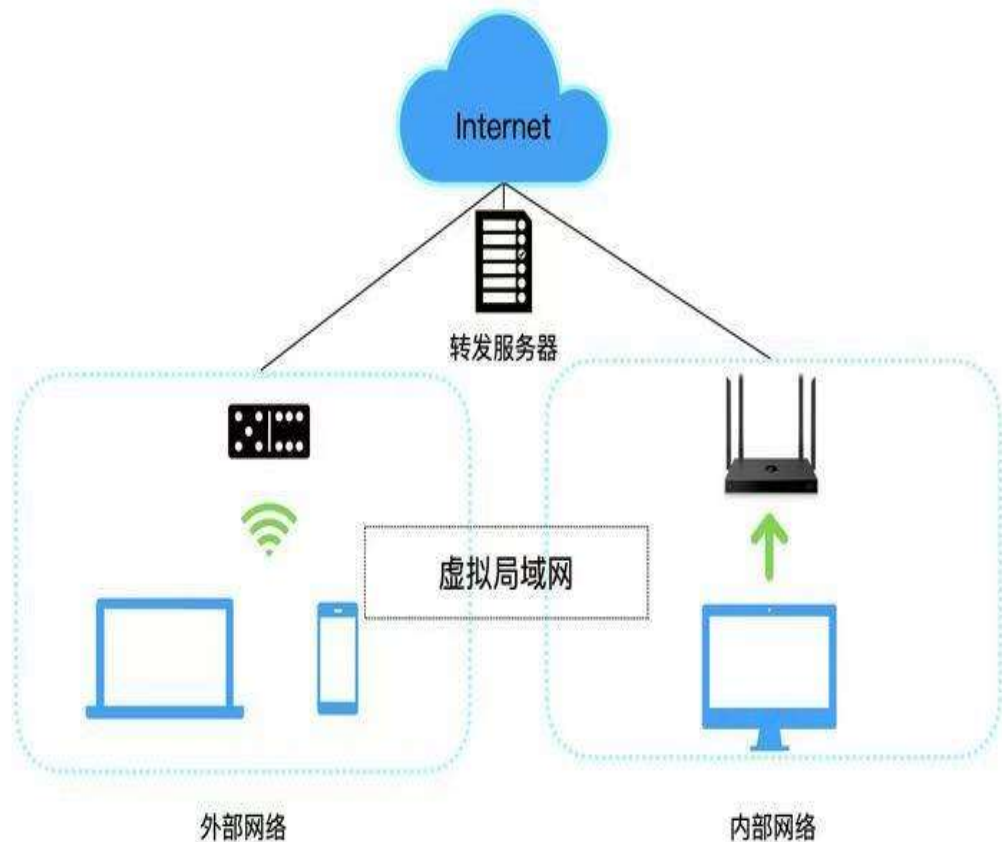
虚拟局域网的概念

08



虚拟局域网 (VLAN)

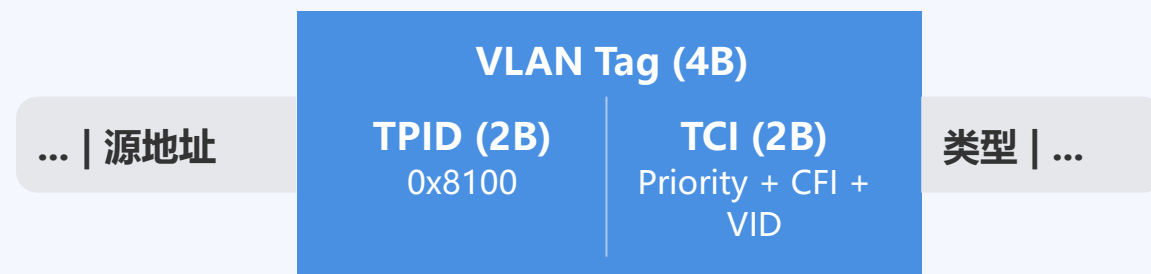
一种通过 **软件配置** 将局域网设备划分到不同逻辑组的技术。



- 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)

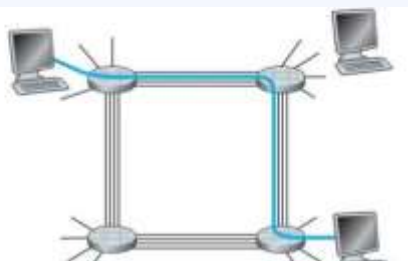
12位，可表示 **4096** 个不同的VLAN。

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

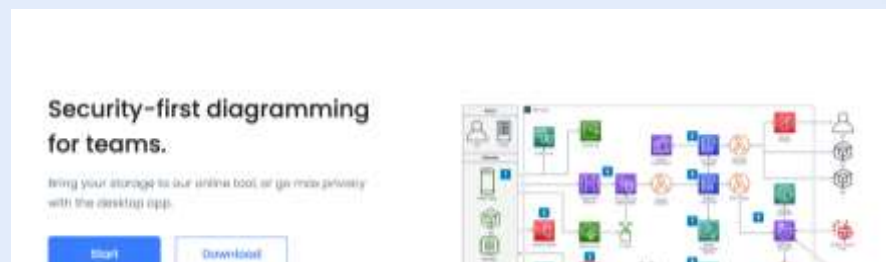


直接通过二层交换机转发，广播被限制在本VLAN。



需路由

不同VLAN之间



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

•
10Mbps

总线型, CSMA/CD

•
100Mbps

星型, 集线器

•
1Gbps

网桥/交换机

•
10Gbps+

全双工光纤

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