# 第一章 企业网络发展历程

## 企业组网基本概念

**1. 核心目标**

* 互联互通：将分散的设备和用户连接成统一网络（如办公网、数据中心网络）。
* 业务支撑：为应用（ERP、视频会议、云服务）提供稳定、安全的传输通道。
* 分层设计：核心层（高速交换）、汇聚层（策略执行）、接入层（用户接入）。
* 典型拓扑：星型（简单易管理）、冗余环型（可靠性）、树型（分层扩展），SD-WAN技术逐渐普及。

**2. 关键设备**

* 防火墙（如深信服NGAF）：实现网络边界安全防护、入侵检测、VPN加密隧道。
* 交换机（核心/接入层）：VLAN划分、STP防环、端口聚合提升带宽。
* 路由器：广域网互联（ISP链路）、动态路由协议（OSPF、BGP）。
* 无线控制器（AC）：AP集中管理、无缝漫游、带宽负载均衡。

**3. 技术延展**

* SD-WAN（深信服aTrust）：优化多链路（如专线+互联网）利用率，提升SaaS（软件即服务，是一种云计算服务模型，允许用户通过互联网访问和使用由第三方提供商托管的应用程序）访问体验。
* 零信任架构（深信服Sangfor Access）：按需认证+动态权限，应对BYOD（Bring Your Own Device）和远程办公安全挑战。

## 网络性能关键指标及影响

表1.1 网络性能关键指标及影响

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **指标** | **定义** | **问题表现** | **解决方案（深信服相关）** |
| 带宽 | 单位时间传输数据量（Mbps） | 视频卡顿、文件下载慢 | 升级专线带宽、部署QoS策略（AD业务引流） |
| 时延 | 数据往返所需时间（ms） | 实时音视频会议卡顿、远程操作延迟高 | 选用低时延链路、部署SD-WAN链路优化 |
| 抖动 | 时延的波动范围 | VoIP通话断续、视频画面马赛克 | 启用QoS流量整形、部署缓存机制 |
| 丢包率 | 丢失数据包占比 | TCP重传导致应用响应慢、实时业务中断 | 检查物理线路、启用前向纠错（FEC）技术 |
| 吞吐量 | 实际有效数据传输速率 | 带宽充足但应用速度慢（协议效率低） | 优化传输协议（如TCP窗口调整） |
| 可用性 | 网络可服务时间比例（99.9%） | 业务不可用导致经济损失 | 部署双机热备、链路冗余（路由器多WAN） |

**1. 带宽（Bandwidth）**

定义：

* 描述单位时间内（通常为秒）网络链路可传输的最大数据量，单位为 Mbps/Gbps。
* 关键点：带宽是“管道容量”，但实际有效传输速率需考虑协议开销（如TCP/IP包头约占比10-20%）。

影响因素：

* 链路类型：专线（高带宽低延迟） vs 互联网（共享带宽，波动大）。
* 协议效率：小包（如VoIP）传输时，协议开销占比更高。
* 设备性能：低端路由器的转发能力可能无法达到标称带宽。

故障现象及案例：

* 现象：用户下载速度慢、视频会议频繁缓冲。
* 案例：某教育机构直播上课时，视频频繁卡顿（带宽为100Mbps但实际并发用户数超500，每个用户需至少2Mbps）。
* 诊断：流量监控（深信服AC）显示带宽利用率峰值达98%，且存在大量P2P下载占用带宽。

解决方案：

* 短效：通过深信服上网行为管理（AC）限制P2P、视频类应用的带宽。
* 长效：升级链路（专线升级至500Mbps），并部署SD-WAN多链路负载均衡，实现带宽叠加。

**2. 时延（Latency）**

定义：

* 数据包从发送端到接收端的单向传输时间（单向时延），或往返时间RTT（Round-Trip Time），单位ms。
* 等级参考：

≤50ms：适用于实时交互（VoIP、视频会议）。

50-200ms：容忍度较高场景（网页浏览、文件传输）。

>200ms：可能引发TCP重传，影响用户体验。

影响因素：

* 物理距离：光缆传输速度约为光速的2/3，跨大洋时延显著增加（如中美海底光缆RTT约150ms）。
* 网络拥塞：路由器队列排队导致时延抖动。
* 协议处理：防火墙深包检测（DPI）会增加处理时延。

故障现象及案例：

* 现象：远程桌面操作卡顿、金融交易系统报单延迟。
* 案例：某跨国企业使用基于TCP的ERP系统，上海访问美国服务器的RTT达300ms，导致SQL查询响应超时。
* 诊断：使用Traceroute工具发现数据经过多跳公网路由器（跨国运营商拥塞）。

解决方案：

* SD-WAN智能选路（深信服aTrust）：绕过拥塞节点，选择低时延路径。
* 协议优化：启用TCP加速（如深信服AD的TCP单边加速技术）。

**3. 抖动（Jitter）**

定义：

* 时延的波动范围（最大时延减最小时延），单位ms，是实时流媒体的关键指标。
* 关键点：抖动越大，接收端需要更大的缓冲（Buffer），但会增加端到端时延。

影响因素：

* 网络拥塞：突发流量导致队列缓冲波动。
* 无线干扰：Wi-Fi信道冲突引发数据重传。
* QoS策略缺失：未对实时流量（如语音）进行优先级标记。

故障现象及案例：

* 现象：VoIP通话断续（对方声音忽快忽慢）、视频会议画面撕裂。
* 案例：某酒店无线网络下客房IPTV频繁卡顿，实测抖动达100ms（因多个AP信道重叠）。
* 诊断：使用无线分析工具（如WirelessMon）发现2.4GHz频段信道利用率超80%。

解决方案：

* 无线优化：调整AP信道至空闲频段（如5GHz），开启无线负载均衡（深信服无线AC）。
* 流量整形：部署QoS策略，为视频流量标记DSCP优先级（EF类）。

**4. 丢包率（Packet Loss Rate）**

定义：

* 传输过程中丢失的数据包占总发送包数的百分比，即使丢包率1%也可能显著降低TCP吞吐量。
* 计算公式：（发送包数 - 接收包数） / 发送包数 × 100%

影响因素：

* 物理层故障：光纤断裂、网口接触不良。
* 网络拥塞：路由器队列溢出导致丢包。
* 安全设备误判：防火墙IP碎片重组失败或IPS误拦截合法流量。

故障现象及案例：

* 现象：文件传输中断、视频通话模糊或断开。
* 案例：某电商大促期间，核心交换机上行端口丢包率突增15%（因TCP突发流量超出交换机缓存）。
* 诊断：通过镜像抓包（Wireshark）发现大量TCP重传（Seq号不连续）。

解决方案：

* 设备调优：增大交换机缓冲区（Buffer Size），开启ECN（显式拥塞通知）。
* 链路冗余：部署深信服多线路接入网关，自动切换故障链路。

**5. 吞吐量（Throughput）**

定义：

* 网络在单位时间内实际传输的有效数据量，单位Mbps。
* 关键点：吞吐量 ≤ 带宽（受协议效率、设备性能、丢包率等多因素影响）。

影响因素：

* 协议开销：TCP/IP头部（20B）+ 以太网帧（18B），小包传输效率低（如总帧长64B：有效数据仅约9%）。
* 窗口大小：TCP接收窗口（RWIN）过小限制吞吐量。
* 设备转发能力：低端交换机使用“存储-转发”（Store-and-Forward）模式会增加处理时延。

故障现象及案例：

* 现象：带宽足够但FTP传输速度不达标、数据库同步缓慢。
* 案例：某银行异地备份中心传输效率仅为理论带宽的30%，因TCP窗口大小默认值（64KB）未优化。
* 诊断：使用iperf3测试，发现吞吐量受窗口限制（带宽延迟积BDP = 带宽 × RTT）。

解决方案：

* 调整TCP参数：增大接收窗口（RWIN）、启用窗口缩放（Window Scaling）。
* 硬件加速：启用深信服防火墙的硬件Offload功能（如SSL解密加速芯片）。

**6. 可用性（Availability）**

定义：

* 网络在指定时间段内可正常服务的时间占比，常用“n个9”表示（如99.99%对应年故障时间52分钟）。
* 计算公式：可用性 = (总时间 - 故障时间) / 总时间 × 100%

影响因素：

* 单点故障：核心交换机/防火墙无冗余。
* 人为误操作：错误配置ACL或路由策略。
* 外部攻击：DDoS导致服务瘫痪。

故障现象及案例：

* 现象：业务间歇性中断、用户无法访问关键系统。
* 案例：某制造企业因单台防火墙故障导致全网断网2小时（可用性下降至99.7%）。
* 诊断：防火墙HA心跳线未正确配置，主备切换失败。

解决方案：

* 高可用架构：部署防火墙双机热备（深信服NGAF支持Active/Standby模式，即双机热备模式，通过两台NGAF防火墙组成主备关系，主设备（Active）处理业务流量，备设备（Standby）实时同步状态但无流量转发。）。
* DDoS防护：启用流量清洗服务（深信服云图与本地设备联动）。

## 企业组网发展阶段问题与解决方案

**1. 小型企业（初始组网）**

* 问题：单台设备性能瓶颈（如路由器转发能力不足）、广播风暴。
* 解决：划分VLAN隔离广播域、升级多核防火墙（如深信服NGFW）。

**2. 中型企业（网络扩张）**

* 问题：多分支机构互联成本高、链路带宽浪费。
* 解决：部署SD-WAN（aTrust）实现智能选路、带宽汇聚和SaaS加速。

**3. 大型企业（数字化转型）**

* 问题：东西向流量激增（数据中心内部）、安全策略难以统一。
* 解决：部署微隔离（深信服EDR联动）、流量可视化分析（日志审计平台）。

**4. 企业上云阶段**

* 问题：混合云网络复杂（本地IDC + 公有云）、安全策略不一致。
* 解决：构建云安全资源池（深信服云镜）、统一管理边界防护策略。

细分：

1. 企业初创阶段：

需求：基础边界防护、端点防护

2. 业务增长阶段：

需求：区域隔离、分级防护、用户认证、行为管理、泄密追踪、移动接入安全

3. 业务扩张阶段：

4. 稳态与敏态业务阶段：

5. 运营管理与服务支撑阶段：

## 家庭组网常用设备与服务

**1. 设备清单：**

* 光猫：光纤信号转换（ISP提供）。
* 无线路由器：NAT转换、无线覆盖（2.4G/5G双频）。
* 电力猫/无线中继器：扩展信号覆盖范围。

NAS设备：家庭私有云存储（如群晖）。

**2. 核心服务：**

* DHCP：自动分配IP地址（避免手动配置错误）。
* UPnP：自动端口映射（支持P2P下载、游戏联机）。
* 家长控制：限制设备上网时间和内容（如深信服家庭版安全网关）。

# 第二章 OSI七层模型

## OSI七层模型的意义

1. 模块化通信：将复杂的网络通信抽象为分层结构，每层专注于特定功能，简化开发与维护。

2. 标准化接口：各层定义标准协议，实现跨厂商设备兼容（如HTTP协议统一全球Web交互）。

3. 故障隔离：分层设计便于定位问题（如传输层丢包与物理层线路断开可快速区分）。

## OSI七层模型各层功能与典型协议/设备

**1. 应用层（Application Layer）**

* 功能：直接面向用户应用，提供网络服务接口（如浏览器访问网页）。
* 典型协议：HTTP（网页）、SMTP（邮件）、FTP（文件传输）、DNS（域名解析）。
* 设备/示例：Web服务器（Nginx）、客户端应用（浏览器）。

示例场景：浏览器输入URL后，应用层发起HTTP请求。

**2. 表示层（Presentation Layer）**

* 功能：数据格式转换（如ASCII→二进制）、加密（SSL/TLS）、压缩（GZIP）。
* 典型协议：JPEG（图片压缩）、MPEG（视频编码）、ASCII（字符编码）。

示例场景：提交登录密码时，表示层加密密码为密文。

**3. 会话层（Session Layer）**

* 功能：建立、管理、终止会话（如远程会议连接）。
* 典型协议：RPC（远程过程调用）、NetBIOS（Windows会话）。

示例场景：视频通话时，会话层维持通话链路稳定。

**4. 传输层（Transport Layer）**

* 功能：端到端数据传输（可靠/不可靠）、流量控制、差错校验。
* 典型协议：TCP（可靠传输）、UDP（高效传输）。
* 核心概念：端口号（标识应用进程，如80→HTTP，443→HTTPS）。

示例场景：下载文件时，TCP确保数据完整无误。

**5. 网络层（Network Layer）**

* 功能：路由寻址（决定数据包路径）、逻辑地址（IP地址）分配。
* 典型协议：IP、ICMP（Ping检测）、BGP（路由协议）。
* 设备：路由器、三层交换机。

示例场景：IP地址决定数据从北京到上海的传输路径。

**6. 数据链路层（Data Link Layer）**

* 功能：物理寻址（MAC地址）、帧同步、差错控制（CRC校验）。
* 典型协议：以太网（Ethernet）、PPP（拨号）、VLAN（虚拟局域网）。
* 设备：交换机、网桥。

示例场景：交换机通过MAC地址转发数据到目标设备。

**7. 物理层（Physical Layer）**

* 功能：物理介质传输（比特流）、电压/光信号转换、接口定义。
* 典型设备：网线（RJ45）、光纤、集线器（Hub）。

示例场景：网线中的电流信号传输“0”和“1”。

## 数据包封装与解封装过程

发送方流程（封装）：

* 应用层 → 生成原始数据（如HTTP请求）。
* 表示层 → 加密/压缩数据。
* 会话层 → 建立会话ID。
* 传输层 → 添加TCP头部（端口号）或UDP头部。
* 网络层 → 添加IP头部（源/目标IP）。
* 数据链路层 → 添加帧头（MAC地址）和CRC校验。
* 物理层 → 转换为比特流并通过网卡发送。

接收方流程（解封装）：

* 物理层 → 接收比特流。
* 数据链路层 → 校验数据帧（MAC地址匹配）。
* 网络层 → 解析IP地址并决定转发。
* 传输层 → 检查端口号并传递到对应应用。
* 上层（会话→应用） → 解密、重组数据，完成应用逻辑。

## TCP与UDP的核心区别与典型应用

表2.1 TCP与UDP的核心区别与典型应用

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **特性** | **TCP (传输控制协议)** | **UDP (用户数据报协议)** |
| 连接性 | 面向连接（三次握手建立连接） | 无连接 |
| 可靠性 | 可靠（ACK确认、重传机制） | 不可靠（尽力交付，无重传） |
| 数据顺序 | 保证数据顺序 | 不保证顺序 |
| 流量控制 | 滑动窗口机制控制发送速率 | 无流量控制 |
| 拥塞控制 | 慢启动、拥塞避免 | 无拥塞控制 |
| 头部开销 | 大（20字节头部） | 小（8字节头部） |
| 典型应用场景 | 需要数据完整性的场景：  - HTTP/HTTPS  - 文件传输（FTP）  - 邮件（SMTP） | 对实时性要求高的场景：  - 视频会议（Zoom）  - 直播流媒体（RTP）  - DNS查询 |

# 第三章 二层通信基础原理与常见问题

## 二层通信的完整过程

**1. 二层通信基础架构**

* 参与设备：同网段内的主机、二层交换机（无路由功能）。
* 通信目标：基于MAC地址直连通信（无需IP路由）。

**2. 详细通信流程**（结合ARP（Address Resolution Protocol, 地址解析协议）与交换机转发）

场景：主机A（IP: 192.168.1.2，MAC: AA） → 主机B（IP: 192.168.1.3，MAC: BB）。

表3.1 二层通信流程示例

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **步骤** | **过程说明** | **协议/设备角色** |
| 1. ARP请求（广播） | A发送ARP广播报文（目的MAC=FF:FF:FF:FF:FF，询问“谁是192.168.1.3，请告诉AA”） | ARP协议（广播查询目标MAC） |
| 2. 交换机洪泛广播 | 交换机收到广播帧后，向所有端口（除接收端口）洪泛该帧 | 学习MAC地址表，初始所有端口无记录 |
| 3. ARP响应（单播） | B收到ARP请求后，单播回复“我是192.168.1.3，MAC是BB” | ARP协议（单播回应） |
| 4. 交换机学习MAC | 交换机记录B的MAC地址与对应端口，后续通信不再广播 | 交换机MAC地址表更新（MAC→端口映射） |
| 5. 主机A向主机B通信 | A用B的MAC封装数据帧，交换机根据MAC表转发帧到B的端口 | 点对点通信，无需广播 |

**3. 二层交换机工作原理**

MAC地址表：动态学习（源MAC→端口）或静态配置。

转发规则：

* 已知MAC → 定向转发到对应端口。
* 未知MAC → 洪泛到所有端口（广播域内）。
* 广播/组播 → 默认洪泛（广播域内）。

## 二层通信常见问题与解决办法

**1. ARP欺骗（ARP Spoofing）**

* 攻击原理：攻击者伪造ARP响应，声明自己是目标IP的拥有者（例如伪造网关MAC）
* 危害：中间人窃听、流量劫持
* 解决办法：动态ARP检测（DAI）：交换机绑定IP-MAC，拒绝非法ARP报文

**2. 泛洪攻击（MAC Flooding）**

* 攻击原理：攻击者发送大量虚假MAC地址的帧，耗尽交换机MAC地址表容量
* 危害：交换机退化为Hub模式，导致全网广播风暴
* 解决办法：端口安全（Port Security）：限制每端口允许的MAC数量，超出则关闭端口

**3. 二层单点故障**

* 攻击原理：交换网络未配置冗余链路（如单交换机或单链路）
* 危害：链路/设备故障导致全网中断、MAC地址表震荡
* 解决办法：生成树协议（STP）：自动阻塞冗余路径，并在主链路失效时激活备用路径、链路聚合

**4. DHCP欺骗（DHCP Spoofing）**

攻击原理：攻击者伪造DHCP（动态主机配置协议，Dynamic Host Configuration Protocol）服务器，分配错误的IP或网关（如DNS指向钓鱼网站）

危害：客户端被引导至恶意网络

解决办法：DHCP Snooping：交换机仅信任指定端口的DHCP响应，拒绝非法服务器

## DHCP的作用与工作原理

**1. DHCP核心作用**

* IP自动分配：为客户端动态分配IP地址、子网掩码、默认网关、DNS等参数。
* 地址管理：防止IP冲突，回收过期IP地址。

**2.** **DHCP四步工作原理**

表3.2 DHCP四步工作原理

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **步骤** | **报文类型** | **交互过程** |
| Discover | 客户端广播寻找DHCP服务器 | 发送DHCP DISCOVER报文 （源IP=0.0.0.0） |
| Offer | 服务器回应可用IP地址 | 服务器发送DHCP OFFER报文 （包含IP和租期） |
| Request | 客户端确认选择IP | 客户端广播DHCP REQUEST报文 （确认选择） |
| Ack | 服务器最终确认分配 | 服务器发送DHCP ACK完成分配 |

**3. 防御DHCP耗尽攻击（DHCP Starvation）**

* DHCP Snooping：交换机记录合法DHCP服务器端口，并过滤非法Offer报文。
* 限制请求速率：限制客户端每秒DHCP请求次数，防止攻击者快速耗尽地址池。

## MAC表与ARP表

**1. MAC表（MAC地址表）**

存在位置：二层交换机或支持二层交换功能的三层设备（如三层交换机的二层接口模块）。

作用：记录MAC地址与交换机物理接口的映射关系，用于数据帧的快速转发。

存储方式：

* 硬件转发表（ASIC芯片）：高性能交换机通过专用芯片存储，实现线速转发。
* 软件表（内存缓存）：低端交换机可能基于软件维护的临时表。

典型场景：

交换机根据目标MAC地址查找接口，若未找到则泛洪到所有端口（广播域内）。

**2. ARP表（地址解析协议表）**

存在位置：主机（终端设备）及三层网关设备（如路由器、防火墙、三层交换机）。

作用：记录IP地址与MAC地址的映射关系，用于网络层（IP）到数据链路层（MAC）的地址解析。

存储方式：

* 操作系统内存中的缓存表（如PC、服务器）。
* 硬件路由器的路由进程中（如Cisco路由器维护全局ARP表）。

典型场景：

当主机需访问同一子网的IP地址时，先查ARP表获取目标MAC地址，若未找到则发送ARP请求广播。

## 广播（Broadcast）与泛洪（Flooding）的区别

表3.3 广播与泛洪的区别

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **维度** | **广播（Broadcast）** | **泛洪（Flooding）** |
| 定义 | 向**同一广播域内所有设备**发送数据 | 交换机将数据帧发送到除**接收接口外的所有其他接口** |
| 触发条件 | 协议要求（如ARP请求、DHCP广播）或应用层配置 | 交换机无法在MAC地址表中找到目标MAC地址对应的接口 |
| 数据流向 | 仅发送到**广播域内的全部设备** | 发送到**交换机所有端口（同一VLAN内）** |
| 地址类型 | 目标地址是**广播地址**（如MAC层的FF-FF-FF-FF-FF-FF或IP层的255.255.255.255） | 目标地址是**单播或广播地址**，但因交换机“不知道目标位置”而被迫泛洪 |
| 工作层次 | **协议层行为**（如ARP、DHCP工作在二层/三层协议中触发广播） | **交换机转发行为**（二层硬件转发逻辑） |
| 协议依赖 | 需要上层协议或应用主动要求广播（如ARP请求） | 无需协议支持，是交换机的默认处理机制 |
| 网络影响 | 可能导致广播风暴（尤其在环路中） | 泛洪本身正常，但持续未知单播泛洪可能引发带宽浪费 |

# 第四章 三层通信基础原理与常见问题

## VLSM (Variable Length Subnet masks, 可变长子网掩码) 相关计算

表4.1 计算习题

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Address IP地址** | **Subnet Mask 子网掩码** | **Class 地址类别** | **Subnet 子网地址** | **Broadcast 广播地址** |
| 201.222.10.60 | 255.255.255.248 | C | 201.222.10.56 | 201.222.10.63 |
| 15.16.193.6 | 255.255.248.0 | A | 15.16.192.0 | 15.16.199.255 |
| 128.16.32.13 | 255.255.255.252 | B | 128.16.32.12 | 128.16.32.15 |
| 153.50.6.27 | 255.255.255.128 | B | 153.50.6.0 | 153.50.6.127 |

**1. 判断IP地址类别**

依据首字节值：

* A类：1~127（默认掩码 255.0.0.0）
* B类：128~191（默认掩码 255.255.0.0）
* C类：192~223（默认掩码 255.255.255.0）

**2. 分析子网掩码，计算CIDR前缀**

将子网掩码转换为二进制  
（如255.255.255.248 → 11111111.11111111.11111111.11111000）。

统计连续的1的个数，即为CIDR前缀长度  
（如248有5个1，总长度24+5=29 → /29）。

**3. 确定块大小（Block Size）**

公式：块大小 = 256 - 子网掩码最后一个非255字节的十进制值

示例：

* 掩码 255.255.255.248 → 最后一个非255字节是248 → 块大小 256-248=8
* 掩码 255.255.248.0 → 第三个字节是248 → 块大小 256-248=8，总地址数 8×256=2048。

**4. 计算子网地址（Network Address）**

方法：对于子网掩码最后一个非255字节的IP对应部分：

STEP 1：取该字节的值（如60对应255.255.255.248的最后一个字节）。

STEP 2：计算该值属于第几个块 → 块索引 = 值 ÷ 块大小（取整）。

STEP 3：子网起始值 = 块索引 × 块大小。

示例：

IP 201.222.10.60，掩码 255.255.255.248 → 块大小8

60 ÷ 8 = 7.5 → 取整数部分7 → 子网起始值 7×8=56 → 子网地址201.222.10.56。

**5. 计算广播地址（Broadcast Address）**

公式：广播地址 = 子网地址的最后关键字节 + 块大小 - 1，后续字节填255。

示例：

子网地址201.222.10.56，块大小8 → 广播地址最后字节56+7=63 → 201.222.10.63。

**综合案例演示**

题目：153.50.6.27/255.255.255.128

步骤：

类别：153 → B类（默认掩码255.255.0.0）。

子网掩码分析：255.255.255.128 → 最后一个非255字节是128。

CIDR：/25（前25位网络位）。

块大小：256 - 128 = 128。

子网地址：

IP最后字节值27 < 128 → 属于第一个子网 → 子网地址153.50.6.0。

广播地址：0 + 128 - 1 = 127 → 153.50.6.127。