# 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）。

## 相关考试题

***企业网络发展历程考试***

**1. 我们花钱购买的家庭带宽服务，本质上是购买了什么资源？多选**

**a. 网线**

属物理设备，ISP通常不提供或仅作为配套工具，非本质资源。

**b. 路由器**

路由器：家庭用户需自行购买或租用，亦非ISP服务核心。

**c. 线路带宽**

线路带宽：即购买的数据传输速率（如100Mbps），是用户使用的核心资源。

**d. 公网地址的使用权**

家庭用户通过ISP接入互联网时，需分配IP（通常动态且可能经过NAT），虽多为共享公网IP，但这是连接公网的必备条件。部分ISP收取额外费用提供固定公网IP（如中小企业专线），此时“使用权”更为明确。

·正确答案：c. 线路带宽、d. 公网地址的使用权

**2. 以下哪些业务一般是部署在DMZ区的？多选**

DMZ（Demilitarized Zone）是网络隔离区，用于放置对外提供服务的服务器。

**a. OA (办公系统)**

OA系统通常仅限内部员工访问，需内网隔离保护，部署在内网。

**b. 门户网站**

门户网站需公开访问（如公司官网、产品页面），部署在DMZ区可对外暴露Web服务，同时保护内网安全。

**c. 财务系统**

财务数据高度敏感，需部署在内网（甚至独立安全域），严格限制外部访问。

**d. 邮件系统**

邮件服务器（SMTP/POP3）需与外部通信（接收公网邮件），通常部署在DMZ区；但内部邮件服务可能在内网，需根据具体功能区分。注：若邮件系统的Webmail（如Outlook Web Access）需外网访问，则部署在DMZ；后端数据库仍在内网。

·正确答案：b. 门户网站 和 d. 邮件系统

**3. 终端区一般可以做哪些安全管控措施？多选**

终端区（用户设备区域）

**a. 分级防护**

根据终端敏感度（如高管PC vs 普通员工PC）实施差异化管理（如权限控制、软件安装限制）。

**b. 基础边界防护**

边界防护属于防火墙/网关职能（如NGFW过滤外网流量），与终端无关。

**c. 用户认证**

强制终端用户通过AD域、双因素认证（2FA）登录设备，防止非法接入。

**d. 行为管理**

限制终端用户行为（禁止非法外联、阻断高风险网站）或审计操作日志（文件外发）。

**e. 端点防护**

部署终端杀毒（如EDR）、主机防火墙、漏洞补丁管理，直接防护终端设备。

·正确答案：c. 用户认证、d. 行为管理、e. 端点防护

**4. 以下哪些设备通常部署在运维区？多选**

运维区是用于集中管控IT基础设施（如服务器、网络设备）的关键区域

**a. 堡垒机**

统一运维入口，管控运维人员访问权限，记录操作日志（命令审计、会话录像），部署在运维区。

**b. 基线核查**

用于检查系统安全配置（如弱口令、未修复漏洞、多余端口开放），确保符合安全基线。通常由运维/安全团队操作，部署在运维区进行自动化扫描。

**c. 防病毒服务器**

负责病毒库更新分发及策略管理，一般部署在内网统一管理区（全域终端覆盖），而非运维专用区。

**d. 日志审计**

集中收集全网设备日志（防火墙、服务器、数据库），提供合规分析及异常告警，运维区需直接管理日志系统。

**e. 数据库审计**

监控数据库操作（SQL注入、敏感数据导出），通常与运维区联动（数据库维护需通过堡垒机），可集中部署在运维区。

·正确答案为 a. 堡垒机、b. 基线核查、c. 防病毒服务器、d. 日志审计、e. 数据库审计

**5. 部署在互联网出口的AD设备主要实现以下哪些功能？多选**

AD设备（Application Delivery控制器），常用于优化应用交付，比如负载均衡、SSL加速、流量管理等。互联网出口是内外网交界的区域。

**a. 出栈负载均衡**

优化内网用户访问外网资源（如互联网、SaaS服务）时的链路选择。

**b. 入栈负载均衡**

将外部用户的访问请求（如HTTP/HTTPS）分发到多台内部服务器。

**c. 服务器负载均衡**

属于入栈负载均衡的一种具体实现形式，针对内部服务器群（如Web集群、API网关）。

**d. 泄密追踪**

为安全设备（如DLP、日志审计系统）的职责，AD设备不直接参与泄密溯源。

·正确答案：a. 出栈负载均衡、b. 入栈负载均衡、c. 服务器负载均衡

**6. 以下哪些属于链路聚合（Link Aggregation）的优点？多选**

**a. 提高链路可靠性，避免二层单点故障**

链路聚合将多个物理端口绑定为逻辑通道，当其中一条物理链路故障时，流量自动切换到其他可用链路，避免单点故障。

**b. 提升网络带宽**

聚合后的总带宽为各物理链路带宽之和（如2条1Gbps链路聚合后提供2Gbps带宽）。

**c. 节省交换机接口**

链路聚合需占用多个物理接口（如绑定两个端口），本质是提升带宽/可靠性，并未减少接口使用，反而需预留更多接口资源。

**d. 隔离广播**

广播隔离是VLAN或路由器（广播域分割）的功能，链路聚合仅负责物理带宽与可靠性，不改变广播域范围。

·正确答案：a. 提高链路可靠性，避免二层单点故障 和 b. 提升网络带宽

**7. 以下哪些是衡量网络性能的指标？多选**

**a. 带宽**

（Bandwidth）定义：单位时间内网络链路可传输的最大数据量（如100Mbps），是基础性能指标。

**b. 时延**

（Latency）定义：数据从发送端到接收端的传输时间（如RTT为50ms），直接影响实时业务。

**c. 吞吐量**

（Throughput）定义：实际有效传输的数据速率（如实际测速90Mbps），反映网络真实性能。

**d. 用户量**

（User Count）属于网络规模或负载指标，而非性能的直接度量（用户量增大会间接影响性能）。

·正确答案：a. 带宽、b. 时延、c. 吞吐量

**8. 部分企业级路由器有两个WAN口，其主要作用是什么？多选**

**a. 接入光纤**

光纤只是物理介质的类型（如单模/多模），描述的是传输方式，而非功能。路由器WAN口可能是RJ45（电口）或光纤接口，但接口形式并非本题核心，应排除。

**b. 链路聚合**

链路聚合（LACP）需相同设备间多端口绑定（如交换机互联或服务器接入），而广域网中双WAN口通常连接不同ISP链路（如联通+电信），无法直接聚合（协议、带宽、运营商策略均独立）。企业级路由器一般通过多WAN负载均衡（非链路聚合）实现流量分配，因此此选项不准确。

**c. 增加带宽**

负载均衡实现：双WAN口可同时承载流量（如视频会议走WAN1、网页浏览走WAN2），提升总体带宽利用率。但实际速率上限受单条链路带宽限制（两条100M线路无法合并为200M单线程下载）。

**d. 冗余备份**

主备切换：若主WAN链路故障（如光纤断裂），路由器可自动切换至备用链路，保证业务连续性（如金融交易系统）。

·正确答案：c. 增加带宽、d. 冗余备份

**9. 企业初创阶段内部网络一般需要做如下哪些防护？多选**

**a. 基础边界防护**

初创企业首要需通过防火墙（如NGFW）、NAT等设备阻止外部攻击（端口扫描、暴力破解）。

**b. 用户权限管理**

最小权限原则：限制员工访问敏感数据的权限（如仅允许财务人员访问财务系统），防止数据误操作或泄露。

**c. 数据库审计**

适用阶段：属于高阶安全需求，通常在企业进入成熟期或面临合规性（如GDPR、等保2.0）要求时部署，初创阶段资源有限可暂缓。

**d. 端点防护**

基础安全屏障：部署杀毒软件（如EDR、诺顿）、强制更新补丁，防止病毒/勒索软件通过员工设备侵入内网。

·正确答案：a. 基础边界防护、d. 端点防护

**10. 以下关于虚拟机的说法正确的是？多选**

**a. 一台物理服务器可以虚拟多台虚拟机**

虚拟化技术（如VMware ESXi、Hyper-V）的核心能力是将物理机资源（CPU、内存、磁盘）虚拟化为多台独立虚拟机（VM）。

**b. 虚拟机上需要安装操作系统才能部署服务程序**

虚拟机类似独立计算机，需安装完整的客户机操作系统（如Windows、Linux），之后才能部署服务（如Apache、MySQL）。

对比容器：容器技术（如Docker）共享宿主内核，无需独立OS，如果使用的是容器（如 Docker）或Serverless架构，则可能不需要完整的操作系统。

**c. 虚拟机与虚拟机之间资源、数据相互隔离，互不影响**

虚拟化特性：虚拟化层（Hypervisor）确保各虚拟机资源分配独立，数据存储隔离（如VMDK文件分属不同VM），单VM故障不会波及其他VM或物理机。

**d. 虚拟机崩溃会导致物理机崩溃，服务中断**

虚拟机崩溃仅影响自身服务，物理机或其他VM通常不受影响（除非极端情况，如Hypervisor漏洞或物理硬件故障）。

·正确答案：a. 一台物理服务器可以虚拟多台虚拟机、c. 虚拟机与虚拟机之间资源、数据相互隔离，互不影响

**11. 以下关于桌面云的说法正确的是？多选**

**a. 桌面云能够帮助解决数据安全性的问题**

桌面云将数据和计算资源集中在云端（数据中心），本地终端仅接收图像和传输操作指令，避免数据存储在用户设备（如U盘或本地硬盘）导致的泄露风险。

**b. 桌面云的数据存储在客户数据中心的服务器中**

私有云场景下，数据通常存储在客户自有的数据中心服务器中；公有云场景下（如阿里云桌面服务），数据存在服务商数据中心，但题目未明确区分，应基于常规企业级部署模式判断。

**c. 桌面终端用于传输图像、操作指令、文件数据**

图像：接收并显示云端渲染的桌面画面，如分辨率、刷新率依赖网络传输。

操作指令：将键盘鼠标输入（如点击、快捷键）发送至云端处理。

文件数据：如用户通过终端进行文件上传/下载（如拖拽文件到云桌面，不一定允许下载）时，终端直接参与传输文件内容。

**d. 相比传统PC，桌面云能有效提升运维效率**

核心优势：

统一管理：批量派发镜像更新、修复漏洞，无需逐台操作物理PC。

故障恢复：云端快速重置VM，避免物理设备维修耗时。

·正确答案：a. 桌面云能够帮助解决数据安全性的问题、d. 相比传统PC，桌面云能有效提升运维效率

**12. 以下关于公有云的说法正确的是？多选**

**a. 按需付费**

公有云基于“用多少付多少”（Pay-as-you-go）的模型，如AWS EC2实例按小时计费、存储按GB/月收费。用户无须长期采购硬件，避免资源浪费。

**b. 灵活扩容**

公有云支持动态调整资源规模（如阿里云ECS弹性伸缩组），突发流量时自动扩容，业务低峰期释放资源以节省成本。

**c. 用户投资低**

公有云将CAPEX（资本支出，如购买服务器）转化为OPEX（运营支出），企业无需承担服务器采购和机房建设的高昂成本。

**d. 适合用户的敏态业务**

敏态业务：指需要快速迭代、频繁变更的业务（如互联网电商、AI训练），公有云的弹性算力支持敏捷开发和灰度发布。

对比稳态业务：如传统ERP系统（稳定、低变更），通常更适合私有云或本地部署。

正确答案：a. 按需付费、b. 灵活扩容、c. 用户投资低、d. 适合用户的敏态业务

**13. 深信服能为用户提供哪些安全服务？多选**

**a. 风险评估**

深信服提供完整的安全风险评估，通过对网络架构、资产暴露面、漏洞库匹配等分析，输出风险报告（如高危漏洞、弱密码策略、外网服务暴露）。

典型工具：结合云端威胁情报和本地化扫描引擎，覆盖等保合规及攻击链模拟。

**b. 安全巡检**

定期检查客户安全设备（如防火墙、EDR）的运行状态、策略有效性、日志完整性，确保防护策略与当前威胁匹配（如勒索软件防御规则更新）。

实现方式：支持远程自动化巡检+人工深度分析，提供修复建议。

**c. 安全咨询**

涵盖安全体系建设（如零信任架构规划）、合规性咨询（等保2.0、GDPR）、攻防演练（红蓝对抗）及事件响应（IR）。

**d. 业务系统建设**

业务系统建设（如ERP、OA开发）属于软件开发或IT集成商范畴，深信服作为安全与云计算厂商，核心定位为安全能力输出（如业务系统安全加固），而非全面承接业务系统的开发与部署。

·正确答案：a. 风险评估、b. 安全巡检、c. 安全咨询

**14. 以下哪个接口是家用无线路由器，链接互联网的接口？单选**

**a. WAN口**

（广域网接口）

功能：连接外部网络（如互联网）的入口，通过网线与调制解调器（光猫）相连，接收来自互联网服务提供商（ISP）的网络信号。

示例：家庭宽带安装时，光猫的网线插入路由器WAN口，路由器通过该接口访问公网。

**b. LAN口**

（局域网接口）

用途：连接内部设备（如电脑、打印机），负责内网数据交换。

误区：若误接LAN口至光猫，则路由器无法获取公网IP，导致无法上网。

**c. WLAN**

（无线局域网）

定位：提供无线网络覆盖（如Wi-Fi 6），属于内部通信方式，非物理接口。

**d. USB接口**

功能：扩展外接设备（如硬盘、4G上网卡），非主用互联网接入方式。

·正确答案： a. WAN口

**15. 以下说法错误的是？单选**

**a. 带宽表示单位时间内能够传输的数据总量，单位是bps**

**b. 报文从网络的一端到另一端所需要的时间，时延越低，网络质量越好**

**c. 网络抖动是指网络的最大时延，用来评价网络的稳定性，抖动越小，网络越稳定**

抖动（Jitter）定义为时延的变化率（即不同报文传输时间的波动范围），而非最大时延。抖动越小，时延越稳定（如RTP流媒体中抖动影响音画同步）。若时延在20ms~50ms波动，则抖动为30ms，而非最大时延50ms。

**d. 丢包指一个或多个数据包的数据无法通过网络到达目的地**

·正确答案： c

# 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 |

## 相关考试题

**1. 超文本传输协议HTTP使用的熟知端口号为？单选**

牢记以下常用端口绑定：

20/21 → FTP

22 → SSH

25 → SMTP

53 → DNS

80 → HTTP

443 → HTTPS

3389 → RDP

**a. 21**

21：FTP（文件传输协议）的控制连接端口，用于上传/下载文件。

**b. 25**

25：SMTP（简单邮件传输协议）端口，用于发送邮件（如Outlook配置发件服务器）。

**c. 80**

标准端口：HTTP（HyperText Transfer Protocol）是为未加密的网页通信设计的协议，其默认熟知端口为 80。

典型场景：当在浏览器输入 http://example.com 时，浏览器自动通过 80 端口与服务器建立TCP连接。

**d. 443**

443：HTTPS（加密HTTP）端口，通过SSL/TLS加密数据传输（如网银、支付页面）。

正确答案： c. 80

**2. OSI的结构是()层模型？单选**

可使用口诀辅助记忆：

"All People Seem To Need Data Processing"

“物链网输会示用”

首字母对应：

应用层 (Application)

表示层 (Presentation)

会话层 (Session)

传输层 (Transport)

网络层 (Network)

数据链路层 (Data Link)

物理层 (Physical)

**a. 6**

**b. 7**

**c. 8**

**d. 9**

正确答案： b. 7

**3. 在传输距离相同的条件下，目前哪种介质所支持的信息传输速率最大？单选**

**a. 同轴电缆**

带宽上限（如DOCSIS 4.0为10Gbps下行），且易受电磁干扰（如家用网线靠近电源线时）。

**b. 光纤**

传输原理：光信号通过玻璃/塑料纤维传输，具备更低的信号衰减和抗电磁干扰能力，适合长距离高带宽场景。

带宽潜力：单模光纤理论带宽可达 100Tbps，远超其他介质。实际商用如400Gbps骨干网已广泛应用。

**c. 双绞线**

短距离（100米内）可支持万兆（Cat6a/Cat7），但距离延长后需中继器，速率大幅下降。

**d. 电话线**

传统铜线（如ADSL）最高仅100Mbps，且距离超过3公里时性能急速衰减。

正确答案： b. 光纤

**4. 以下关于TCP协议的描述中，错误的是？单选**

核心能力：TCP通过以下机制保障数据可靠传输：

* 三次握手建立连接（选项c正确）。
* 序列号与确认应答（ACK）：接收方需确认收到的数据包，否则触发超时重传。
* 滑动窗口流量控制：动态调整发送速率，避免接收方缓冲区溢出。
* 拥塞控制算法（如慢启动、拥塞避免）。

局限性：这些机制只能降低丢包概率并重传已丢失的包，但无法完全避免网络故障导致的丢包（如物理链路中断）。

**a. TCP协议使用端口号来区分应用进程**

**b. TCP协议是可靠协议**

**c. TCP协议在开始传输用户数据前会建立TCP三次握手**

**d. TCP协议保障了数据传输过程中不会丢包**

正确答案： d. TCP协议保障了数据传输过程中不会丢包

**5. 在OSI参考模型中，从最底层到最上层的正确顺序是？**

从最底层到最上层的正确顺序为：

物理层 → 数据链路层 → 网络层 → 传输层 → 会话层 → 表示层 → 应用层

**6. 访问支付宝网站的时候使用的是什么协议？单选**

所有涉及敏感信息的网站（银行、支付、社交账号登录）均强制使用HTTPS，HTTP已逐步被淘汰于非敏感场景。

**a. FTP**

用于文件上传/下载（如网站后台更新页面），与用户访问网站流程无关。

**b. HTTPS**

HTTPS = HTTP + SSL/TLS加密：

特征：浏览器显示锁形图标，网址前缀为 https://。

作用：加密数据、验证服务器身份，确保数据完整性。

**c. SMTP**

用于邮件发送（如Outlook发邮件），与网页访问无关。

**d. HTP**

非标准协议，可能为HTTP的笔误，但支付宝不会使用明文HTTP。

正确答案： b. HTTPS

7. 在TCP/IP的传输层中，小于()的端口被用于和现有的服务一一对应？单选

TCP/IP端口分类标准：

* 公认端口（Well-Known Ports）：0~1023，由IANA分配，用于全局性、广泛认可的服务（如HTTP=80、SSH=22）。
* 注册端口（Registered Ports）：1024~49151，组织可申请注册使用（如MySQL=3306），但不强制绑定。
* 动态/私有端口（Dynamic Ports）：49152~65535，客户端临时使用。

**a. 100**

**b. 999**

**c. 65535**

**d. 1024**

正确答案： d. 1024

**8. 以下关于OSI七层模型说法错误的是？单选**

**a. 表示层提供数据格式转换服务**

表示层负责加密、压缩、数据格式转换（如JSON→XML）。

**b. 会话层建立和维护应用程序访问验证和会话**

会话层管理会话生命周期（如SSH登录时维持连接）。

**c. 网络层建立和维护应用程序访问验证和会话**

网络层的核心功能是逻辑寻址（IP地址）和路由选择，确保数据跨网络传输。

**d. 数据链路层建立实体链路链接，通过MAC地址提供可靠数据传输服务**

数据链路层通过MAC地址寻址并提供帧同步，但其主要传输方式是“尽力而为”（如以太网不可靠）。数据链路层通常不保证“可靠性”（可靠性由传输层TCP实现），但某些特殊链路协议（如HDLC）可能支持。

正确答案： c. 网络层建立和维护应用程序访问验证和会话

**9. 以下关于网络层的说法正确的是？单选**

**a. 路由器根据源IP进行路由线路**

错误：路由器的主要路由决策基于目的IP地址，而非源IP地址。

例外：某些高级策略路由（Policy-Based Routing）可能根据源IP调整路径，但题干描述为“网络层的主要说法”，此时默认基础路由机制，而非特殊场景。

**b. 路由选路是一开始就选好的，中途不会改变**

错误：动态路由协议（如OSPF、BGP）会根据网络实时状态（如链路故障、拥塞）动态调整路径。例如，某条光纤切断时，路由表会重新计算最优路径。

**c. 数据包传输的过程中源IP和目的IP每一跳都会改变**

常规路由：源IP和目的IP在整个传输过程中保持不变（如从北京发往上海的IP包，无论经多少个路由器，IP地址始终是源和目的）。

例外：仅在有NAT（网络地址转换）时会改变（如内网IP→公网IP），但NAT是特定场景且非默认路由行为。

**d. 每个路由节点数据包MAC地址都会改变**

链路层特性：每个路由节点在转发数据包时，会替换当前链路的源/目的MAC地址。

核心逻辑：MAC地址仅在本地链路有效，每个局域网（广播域）需要重新封装新的MAC地址。

正确答案： d. 每个路由节点数据包MAC地址都会改变

**10. 下面哪项是OSI模型等参考模型的优点？多选**

**a. 对任何一层的修改不会影响其他层**

各层通过严格定义的接口通信，某一层内部的修改（如协议升级）不影响其他层，前提是接口规范不变。

**b. 通信被划分为更小、更简单的组件，从而有利于组件开发、设计和故障排除**

将复杂通信过程分解为七层，每层专注于单一功能，简化开发（如专注实现传输层协议）和问题定位（逐层排查）。

**c. 通过网络组件标准化支持多厂商联合开发**

OSI模型定义了各层标准协议（如网络层IP），厂商可基于标准开发兼容设备（如Cisco与华为路由器互联）。

**d. 让各类型的网络硬件和软件能够相互通信**

硬件/软件只要遵守同一协议即可通信（如Windows电脑与Linux服务器通过HTTP交互）。

正确答案： a、b、c、d

**11. 以下哪些协议属于应用层协议？多选**

直接面向用户程序，提供网络服务接口（如电子邮件、文件传输、网页浏览）。

**a. HTTPS**

应用层 加密的HTTP协议，用于安全网页访问（如支付宝）。

**b. TCP**

传输层（第四层） 提供可靠传输服务，与端口号绑定（如HTTP基于TCP）。

**c. SMTP**

应用层 邮件发送协议（如Outlook发信到Gmail服务器）。

**d. FTP**

应用层 文件传输协议（如上传网站源码到服务器）。

**e. IP**

网络层（第三层） 逻辑寻址（IP地址）、路由选择的底层协议。

正确答案： a. HTTPS，c. SMTP，d. FTP

**12. 以下说法正确的是？多选**

邮件系统（SMTP/POP3/IMAP）需要确保邮件内容完整无误，需TCP可靠传输。

浏览器（HTTP/HTTPS）加载网页依赖TCP确保所有资源（HTML、图片等）完整到达。

UDP支持低延迟传输，轻微丢包对音视频流畅性影响小，是实时媒体的首选。

**a. 邮件、浏览器等能使用的传输层协议是TCP协议**

**b. 邮件、浏览器等能使用的传输层协议是UDP协议**

**c. 抖音直播、YY语音等使用的传输层协议是TCP协议**

**d. 抖音直播、YY语音等使用的传输层协议是UDP协议**

正确答案： a. 邮件、浏览器等能使用的传输层协议是TCP协议，d. 抖音直播、YY语音等使用的传输层协议是UDP协议

**13. 以下关于端口号的说法正确的是？多选**

**a. 端口号的主要作用之一是区分不同的应用程序**

端口号的本质作用是通过传输层协议（TCP/UDP）区分同一IP地址下不同应用程序的通信（例：浏览器使用80端口、邮件客户端使用25端口）。

**b. 端口号主要包含目的端口号与源端口号两类**

在TCP/UDP的数据包结构中，源端口号（发送方应用程序端口）与目的端口号（接收方应用程序端口）是必填字段，两者缺一不可。

**c. 源端口号是固定的**

源端口通常由客户端动态分配（范围通常为49152~65535），每次连接可能不同。例如，Chrome每次访问网站时可能使用不同源端口（如5001、5002）。

**d. 目的端口号是随机产生的**

目的端口由服务端应用预先定义（如SSH=22、FTP=21），客户端必须明确指定目的端口以访问服务。

正确答案： a. 端口号的主要作用之一是区分不同的应用程序，b. 端口号主要包含目的端口号与源端口号两类

# 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 |

## 相关考试题

**1. 一般在网络层次架构中，接入层使用的设备是()？单选**

**a. 路由器**

主要用于跨网段路由（三层功能），一般部署在核心或网络边界，不适用于接入层的终端直连需求。

**b. 交换机**

接入层核心设备，通过MAC地址转发帧（二层通信），支持端口安全、VLAN划分等功能，满足终端互联需求。

**c. 防火墙**

用于网络边界安全防护（如防攻撃、流量过滤），属于安全架构设备，而非接入层基础设施。

**d. 服务器**

提供业务服务（如存储、计算），并非网络接入设备。

正确答案：b. 交换机

**2. 交换机中MAC表的作用是？单选**

MAC地址表的核心功能

* 快速定位目标端口：交换机通过记录每个端口连接的设备的MAC地址（源MAC学习），建立MAC地址→端口的映射表。
* 单播转发：当目标MAC地址存在于表中时，交换机直接将数据帧转发到对应端口，避免广播泛洪，提高转发效率。

**a. 根据MAC地址表快速转发数据**

**b. 广播泛洪**

**c. 路由选路**

**d. 避免MAC冲突**

正确答案：a. 根据MAC地址表快速转发数据

**3. 下面用于发现硬件设备的物理地址的协议是？单选**

**a. ICMP**

Internet Control Message Protocol（互联网控制报文协议）

网络连通性诊断（如ping）与错误报告

**b. ARP**

Address Resolution Protocol（地址解析协议）

将IP地址解析为MAC地址，通过广播询问“已知IP对应的MAC”，用于同网段通信的物理寻址。

**c. DHCP**

Dynamic Host Configuration Protocol（动态主机配置协议）

自动分配IP地址、子网掩码等网络参数，依赖MAC地址标识客户端，但不用于发现其他设备的MAC地址。

**d. RARP**

Reverse Address Resolution Protocol（反向地址解析协议）

将MAC地址解析为IP地址

正确答案：b. ARP

**4. MAC地址通常固化在()上？单选**

网卡（NIC）是网络通信的物理接口，MAC地址是其唯一身份标识

**a. 内存**

**b. 硬盘**

**c. 网卡**

**d. cpu**

正确答案：c. 网卡

**5. 关于ARP的协议描述，正确的是？单选**

**a. 请求采用单播，应答采用广播**

**b. 请求采用广播，应答采用单播**

**c. 请求和应答都是广播**

**d. 请求和应答都是单播**

正确答案：b. 请求采用广播，应答采用单播

**6. IPV4地址有多少位？单选**

IPv4地址的核心结构

* 位长定义：IPv4地址由32位二进制数构成，表现为4组十进制数（每组8位），如192.168.1.1。
* 地址空间限制：总地址数量为（约43亿），导致IP资源枯竭（推动IPv6的128位地址）。

IPv6对比：

新一代IPv6地址为128位（如2001:0db8:85a3::8a2e:0370:7334），解决IPv4地址不足问题。

**a. 12**

**b. 24**

**c. 32**

**d. 48**

正确答案：c. 32

**7. 为什么需要链路聚合？多选**

带宽叠加：通过聚合多条物理链路（如2条1 Gbps链路聚合为2 Gbps），提升逻辑链路的总体带宽。

负载均衡：流量分布在不同物理链路上，避免单条链路拥塞。

可靠性提升：当某条物理链路故障时，流量自动迁移到正常链路，避免业务中断（故障切换时间通常在毫秒级）。

**a. 网线长度不够**

**b. 单链路带宽不够**

**c. 提供冗余备份，提高链路可靠性**

**d. 传输距离不够**

正确答案：b. 单链路带宽不够、c. 提供冗余备份，提高链路可靠性

**8. DHCP的offer数据包主要包含以下哪些信息？多选**

**a. IP地址**

必需 客户端加入网络的必需标识符

**b. DNS服务器地址**

可选但常见 提供域名解析服务，客户端能访问互联网

**c. 默认网关**

可选但常见 指定客户端的出网路由，用于跨网段通信

**d. IP地址租期**

必需 定义地址的有效时间，防止资源耗尽

正确答案：a. IP地址、b. DNS服务器地址、c. 默认网关、d. IP地址租期

**9. 被DHCP欺骗可能会引起以下哪些安全问题？多选**

**a. 泛洪攻击**

DHCP泛洪攻击（如发送大量DHCP请求耗尽IP地址池）是独立于欺骗的另一种攻击类型

**b. DDOS攻击**

DDoS需通过大量分布式节点向目标发送垃圾流量，而DHCP欺骗本质是配置篡改，不会直接引发DDoS。仅可能引发局部DoS（客户端无法联网），但不属于分布式拒绝服务。

**c. 钓鱼网站**

通过篡改DNS服务器地址，将用户引导至恶意仿冒网站（如伪造银行页面），窃取敏感信息。

**d. 网络监听**

攻击者将自己设置为默认网关，所有流量需经过其设备，可进行流量截获和分析（如窃取明文密码、会话信息）。

正确答案：c. 钓鱼网站、d. 网络监听

**10. 以下哪些属于链路聚合的优点？多选**

带宽叠加：通过聚合多条物理链路（如2条1 Gbps链路聚合为2 Gbps），提升逻辑链路的总体带宽。

负载均衡：流量分布在不同物理链路上，避免单条链路拥塞。

可靠性提升：当某条物理链路故障时，流量自动迁移到正常链路，避免业务中断（故障切换时间通常在毫秒级）。

**a. 提高链路可靠性，避免二层单点故障**

**b. 提升网络带宽**

**c. 节省交换机接口**

**d. 隔离广播**

正确答案：a. 提高链路可靠性，避免二层单点故障、b. 提升网络带宽

**11. 二层交换机之间产生环路会导致哪些问题？多选**

**a. 广播风暴**

环路机制：广播/多播帧在环路中无限循环，每经过交换机一次就复制并转发出所有端口，最终占用所有带宽，导致网络瘫痪。

**b. 数据泛洪**

异常泛洪：虽然交换机对未知单播帧的泛洪是正常行为，但环路会导致广播/多播帧无限复制，等效于泛洪规模被指数级放大，耗尽链路资源。

**c. MAC地址表震荡**

表项冲突：同一MAC地址的帧因环路交替通过不同端口到达交换机，导致表项中的“端口”字段频繁更新（如MAC→端口1/端口2来回变化），最终表项失效，引发更多泛洪。

**d. ARP表震荡**

ARP表由主机维护（网络层），其震荡源于ARP应答冲突或欺骗攻击，与二层环路无直接关联（即使网络拥塞影响ARP报文传递，也非二层环路的本质问题）。

正确答案：a. 广播风暴、~~b. 数据泛洪~~、c. MAC地址表震荡

**12. 二层交换机的主要功能有哪些？多选**

**a. 学习更新MAC地址表，建立交换机接口与数据包源MAC的映射关系**

动态学习：交换机会记录接收到的数据帧的源MAC地址，并将其与接口的对应关系写入MAC地址表。

映射维护：表项通常通过老化机制（默认300秒）更新，保障转发表的实时性。

**b. 动态更新ARP表，建立IP地址与MAC地址的映射关系**

ARP表是网络层（IP）协议功能，二层交换机不处理IP-MAC映射（ARP表由主机或三层设备维护）。

**c. 查询MAC地址表，根据报文MAC地址转发数据包**

精确转发：交换机根据数据帧的目的MAC地址查表，仅从对应接口转发，避免泛洪（除非目的MAC未在表中）。

降低冲突域：每个接口为独立冲突域，提升网络效率。

**d. 根据数据包目的IP查询对应的MAC地址**

IP地址属于网络层（三层），二层交换机仅处理数据链路层（MAC地址），不解析或依赖IP地址。

正确答案：a. 学习更新MAC地址表，建立交换机接口与数据包源MAC的映射关系、c. 查询MAC地址表，根据报文MAC地址转发数据包

**13. 导致二层交换泛洪的原因有哪些？多选**

**a. MAC地址表条目老化**

MAC表项有老化时间（默认300秒），若某条目超过时间未被使用，会被删除。后续发给该MAC的帧因表项缺失触发泛洪。

**b. ARP表条目老化**

ARP表用于IP-MAC映射（网络层功能），二层交换机不维护ARP表，ARP老化仅影响主机通信，与交换机泛洪无关。

**c. MAC地址表被填满无效条目**

若MAC表容量不足（如被攻击者伪造的MAC占满），新合法MAC无法写入，导致需持续泛洪。

**d. 电脑刚开机**

新设备尚未发送任何数据帧（如开机未联网），交换机的MAC表中无其记录，首次发送给该设备的帧会泛洪。

正确答案：a. MAC地址表条目老化、c. MAC地址表被填满无效条目、d. 电脑刚开机

**14. ARP表中包含以下哪些信息？多选**

ARP表用于网络层（IP地址）到数据链路层（MAC地址）的映射，仅包含两种关键信息：

IP地址：目标设备的网络层逻辑标识。

MAC地址：目标设备的数据链路层物理地址。

**a. IP地址**

**b. 端口号**

**c. 交换机接口号**

**d. MAC地址**

正确答案：a. IP地址、d. MAC地址

**15. ARP欺骗的影响包括以下哪些？多选**

**a. 信息拦截**

攻击者将自身设置为流量中转点（如冒充网关），直接截获通信数据。

**b. 网络监听**

通过拦截流量，攻击者可以被动窃听未加密的通信内容（如HTTP明文、登录凭证）。

**c. 信息篡改**

攻击者可修改数据后再转发（如注入恶意代码、修改交易金额），破坏通信完整性。

**d. 网络瘫痪**

拒绝服务（DoS）：若攻击者将流量引导至无效MAC地址或选择性丢弃数据包，目标设备将无法正常通信，导致局部网络瘫痪。

正确答案：a. 信息拦截、b. 网络监听、c. 信息篡改、d. 网络瘫痪

**16. 以下关于泛洪攻击的影响说法正确的是？多选**

**a. 数据安全性降低，数据被监听、窃取**

泛洪攻击的主要目标是拒绝服务（DoS），而非直接窃取数据。数据监听需结合中间人攻击（如ARP欺骗）实现，并非泛洪的直接影响。

**b. 会导致ARP表被无效条目填满**

ARP表由主机维护，其无效条目问题属于ARP欺骗/泛洪攻击的结果。传统的泛洪攻击（如SYN Flood、ICMP Flood）不直接干预ARP表。

**c. 会导致网络设备宕机，网络瘫痪**

资源耗尽：攻击流量占用设备CPU、内存或带宽，导致设备无法处理正常请求，甚至崩溃（如服务器因SYN Flood导致连接表耗尽）。

**d. 会导致流量风暴，占用网络带宽和设备资源**

带宽拥塞：大量攻击流量充斥网络链路，导致合法流量无法传输（如UDP泛洪水）。

正确答案：c. 会导致网络设备宕机，网络瘫痪、d. 会导致流量风暴，占用网络带宽和设备资源

**17. 以下哪些方式能解决二层单点故障？多选**

**a. 链路聚合**

多链路绑定：将多个物理链路绑定为逻辑链路（LACP/静态聚合）。

故障切换：任一物理链路故障，流量自动迁移到剩余链路（毫秒级切换）。

**b. VRRP协议**

虚拟路由冗余协议，VRRP用于三层网关冗余（虚拟IP接管），与二层链路/设备冗余无关。

**c. 线路冗余与STP生成树协议**

物理冗余：部署多链路形成环路物理拓扑。

STP防环：阻塞冗余路径中的部分端口，防止广播风暴；主链路故障后，STP重新计算并激活备份路径。

**d. VLAN**

VLAN用于分割广播域和流量隔离，不解决链路/设备单点故障问题。

正确答案：a. 链路聚合、c. 线路冗余与STP生成树协议

# 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。

# 第五章 互联网通讯基础原理

# 第六章 VPN技术基础原理

# 第七章 网路协议基础

## ARP协议

### ARP协议基础

**1. ARP的需求背景**

* 问题：IP地址用于网络层寻址，但数据链路层需MAC地址进行通信。当设备只知道目标IP而不知其MAC时，需通过ARP协议动态解析。
* 案例：PC1（IP\_A）想访问PC2（IP\_B），PC1需先获取PC2的MAC\_B。

**2. ARP工作原理**

核心流程：

* 发送方检查本地ARP缓存表是否有目标IP的MAC记录。
* 若不存在，**广播**发送ARP请求（目标MAC为FF-FF-FF-FF-FF-FF）。
* 目标主机（IP匹配者）**单播**回复ARP响应告知自身MAC。
* 发送方更新ARP表，后续通信直接使用缓存MAC。

### ARP请求与响应过程

**1. ARP请求（广播）**

报文关键字段：

表7.1 ARP请求字段

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **字段** | **值** | **说明** |
| Sender MAC | PC1\_MAC | 请求方MAC地址 |
| Sender IP | IP\_A | 请求方IP地址 |
| Target MAC | 00:00:00:00:00:00 | 全0（未知） |
| Target IP | IP\_B | 目标IP地址 |
| Opcode | 1 (Request) | 操作码（请求） |

**2. ARP响应（单播）**

报文关键字段：

表7.2 ARP响应字段

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **字段** | **值** | **说明** |
| Sender MAC | PC2\_MAC | 响应方MAC地址 |
| Sender IP | IP\_B | 响应方IP地址 |
| Target MAC | PC1\_MAC | 请求方MAC地址 |
| Target IP | IP\_A | 请求方IP地址 |
| Opcode | 2 (Reply) | 操作码（响应） |

**3. ARP缓存表**

查看方法：

arp -a # Windows/Linux查看ARP表

show arp # Cisco设备查看ARP表

老化时间：通常300秒（可配置）。

**4. 全F与全0的区别**

表7.3 F与0的答疑

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **字段位置** | **值** | **说明** |
| 以太网帧头目标MAC | FF:FF:FF:FF:FF:FF（全 F） | 确保ARP请求以广播形式发送到整个局域网 |
| ARP报文Target MAC | 00:00:00:00:00:00（全 0） | 表示发送方在请求阶段未知目标 MAC，等待目标设备响应填充 |

### 跨网段ARP请求与响应

**1. 跨网段通信的基本前提**

当设备A（IP\_A）与设备B（IP\_B）处于不同子网时，数据通信必须通过路由器（网关）转发。

* 设备A不会直接发送ARP请求到目标IP\_B（因为IP\_B不在同一子网）。
* 设备A会将数据包发送给默认网关（路由器接口的MAC地址），由路由器负责转发。
* ARP请求仅用于获取默认网关的MAC地址，而非目标设备的MAC地址。

**2. 跨网段ARP请求与响应流程**

假设以下场景：

* 设备A：IP\_A = 192.168.1.100/24，默认网关 = 192.168.1.1（路由器R1的接口）。
* 设备B：IP\_B = 10.1.1.100/24，默认网关 = 10.1.1.1（路由器R2的接口）。
* 路由器R1与R2互联：R1的接口IP = 172.16.1.1，R2的接口IP = 172.16.1.2。

步骤1：设备A发送数据到设备B

判断目标IP是否在同一子网：

* 设备A计算 IP\_A & 子网掩码 和 IP\_B & 子网掩码，发现不在同一子网。

查找默认网关MAC地址：

* 检查ARP缓存表是否有网关（192.168.1.1）的MAC记录。
* 若不存在，设备A广播发送ARP请求，询问 192.168.1.1 的MAC地址。

步骤2：ARP请求与响应（获取网关MAC）

ARP请求（广播）：

以太网帧头：

- 目标MAC: FF:FF:FF:FF:FF:FF

- 源MAC: MAC\_A

ARP报文：

- Sender MAC: MAC\_A

- Sender IP: 192.168.1.100

- Target MAC: 00:00:00:00:00:00

- Target IP: 192.168.1.1

ARP响应（单播）：

路由器R1回复自身接口MAC（MAC\_R1）：

以太网帧头：

- 目标MAC: MAC\_A

- 源MAC: MAC\_R1

ARP报文：

- Sender MAC: MAC\_R1

- Sender IP: 192.168.1.1

- Target MAC: MAC\_A

- Target IP: 192.168.1.100

步骤3：数据包转发到路由器

设备A将数据包封装为：

以太网帧头：

- 目标MAC: MAC\_R1（网关）

- 源MAC: MAC\_A

IP包头：

- 源IP: 192.168.1.100

- 目标IP: 10.1.1.100

步骤4：路由器处理数据包

路由器R1查路由表：

* 确定下一跳为R2（172.16.1.2）。

路由器R1发送ARP请求（跨网段）：

* 若R1的ARP表中无 172.16.1.2 的MAC记录，广播ARP请求。

路由器R2响应ARP请求：

* 回复自身接口MAC（MAC\_R2）。

步骤5：数据包最终到达设备B

路由器R2将数据包转发到设备B所在的子网（10.1.1.0/24）：

以太网帧头：

- 目标MAC: MAC\_B（由R2通过ARP获取）

- 源MAC: MAC\_R2

IP包头：

- 源IP: 192.168.1.100（保持不变）

- 目标IP: 10.1.1.100

**3. 代理ARP（Proxy ARP）在跨网段中的应用**

如果路由器启用了代理ARP，跨网段通信可能无需配置默认网关（依赖路由器代答ARP请求）。

场景示例：

* 设备A（192.168.1.100/24）无默认网关配置，尝试访问 10.1.1.100。
* 路由器R1启用代理ARP，接口IP为 192.168.1.1。

流程：

设备A发送ARP请求：

* 目标IP为 10.1.1.100（不同子网）。

路由器R1代答ARP：

* 发现 10.1.1.100 属于其他子网，但路由器知道如何路由。
* 回复自身MAC（MAC\_R1）给设备A。

数据包转发：

* 设备A将数据包发送给R1，后续由路由器完成跨网段转发。

### 代理ARP与免费ARP

**1. 代理ARP（Proxy ARP）**

作用：路由器代替其他设备响应ARP请求，用于跨子网通信或子网掩码不匹配场景。

场景：

* 主机A（192.168.1.2/24）试图访问主机B（192.168.2.3/24），子网不同但未配置网关。
* 路由器启用代理ARP，响应A的ARP请求，伪装成B的MAC。

配置示例（Cisco路由器）：

interface GigabitEthernet0/0

ip proxy-arp ! 开启代理ARP

**2. 免费ARP（Gratuitous ARP）**

作用：

* IP冲突检测：设备启动时发送ARP请求查询自身IP是否已被占用。
* MAC地址更新：设备更换网卡后，广播免费ARP更新其他主机的ARP缓存。

报文特征：

* Sender IP = Target IP（均为自身IP）。
* Opcode = 1（请求），但无需响应。

### 拓展

**1. ARP欺骗（ARP Spoofing）**

原理：攻击者伪造ARP响应，将自身MAC绑定到他人IP，劫持流量。

防御：

* 静态ARP绑定：手动设置IP-MAC映射。
* ARP防火墙：检测异常ARP活动。

**2. 反向ARP（RARP）**

用途：通过MAC地址获取IP地址（现已被DHCP替代）。

## TCP及UDP协议

### 传输层核心作用

**1. 核心功能**

* 端到端通信：为不同主机上的应用进程提供逻辑通信（通过端口号标识服务）。
* 可靠性保障（TCP）：确保数据完整、有序、无丢失传输。
* 复用与分用：多个应用进程共享同一网络接口（通过端口号区分）。
* 流量控制（TCP）：防止发送方淹没接收方。
* 拥塞控制（TCP）：避免网络过载。

**2. 与网络层的关系**

* 网络层（IP协议）：负责主机到主机的通信（IP地址寻址）。
* 传输层：在IP基础上，实现进程到进程的通信（端口号寻址）。

### TCP协议详解

**1. TCP协议概述**

特点：面向连接、可靠传输、全双工通信、字节流传输。

适用场景：要求数据完整性的应用（如网页浏览、文件传输）。

关键字段：

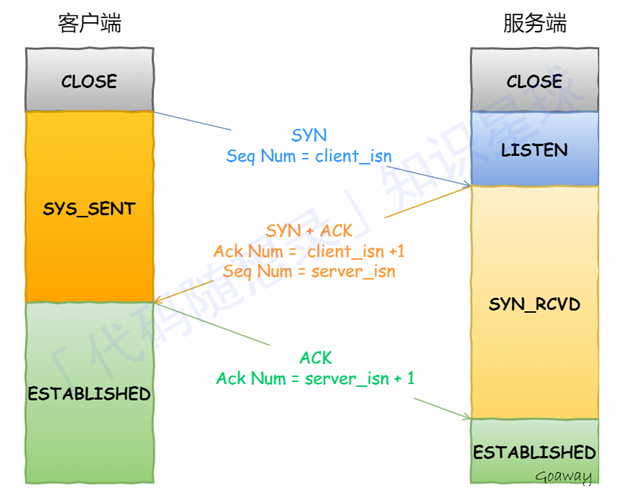
* 源端口/目的端口（16位）
* 序列号（32位）
* 确认号（32位）
* 窗口大小（16位，流量控制）
* 标志位（SYN、ACK、FIN、RST等）

**2. TCP三次握手（建立连接）**

目的：协商初始序列号（ISN），确认双方通信能力。

流程：

* SYN（Client → Server）：SYN=1, seq=x
* SYN-ACK（Server → Client）：SYN=1, ACK=1, seq=y, ack=x+1
* ACK（Client → Server）：ACK=1, seq=x+1, ack=y+1



为什么是三次握手？

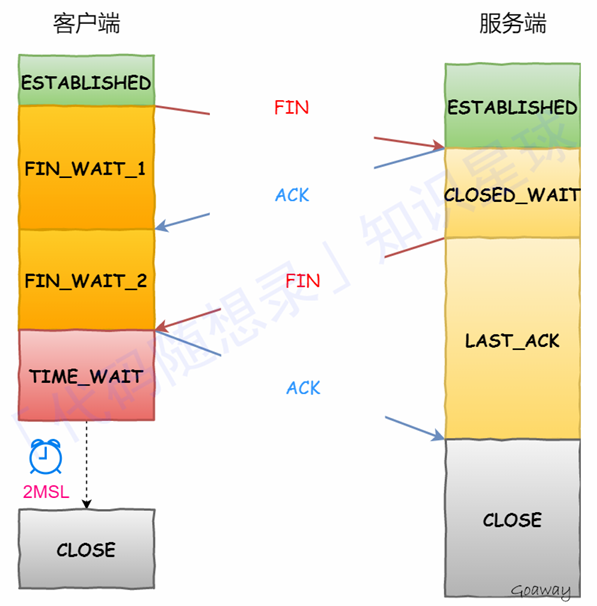
* 避免历史重复连接初始化（两次无法防止失效请求）。
* 确保双方收发能力正常（三次是最小可靠次数）。

**3. TCP四次挥手（断开连接）**

目的：双方确认数据发送完毕，安全关闭连接。

流程：

* FIN（A → B）：FIN=1, seq=u
* ACK（B → A）：ACK=1, seq=v, ack=u+1
* FIN（B → A）：FIN=1, ACK=1, seq=w, ack=u+1
* ACK（A → B）：ACK=1, seq=u+1, ack=w+1



TIME\_WAIT状态：

* 等待2MSL（最大报文生存时间），确保最后一个ACK被接收。
* 防止旧连接数据干扰新连接。

**4. RST（强制断开连接）**

* 触发条件：异常情况（如端口未监听、连接超时、数据错误）。
* 作用：立即终止连接，无需四次挥手。
* 抓包特征：RST=1，通常伴随ACK标志。

### UDP协议详解

**1. UDP协议概述**

特点：无连接、不可靠传输、面向报文、低延迟。

适用场景：实时性要求高、可容忍少量丢包的应用（如视频会议、DNS查询）。

关键字段：

* 源端口/目的端口（16位）
* 长度（16位，首部+数据总长度）
* 校验和（可选，用于错误检测）

**2. UDP与TCP对比**

表7.4 UDP与TCP对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **特性** | **TCP** | **UDP** |
| 连接性 | 面向连接 | 无连接 |
| 可靠性 | 可靠传输（确认重传） | 不可靠传输 |
| 传输方式 | 字节流 | 数据报文 |
| 速度 | 较慢（握手、控制机制） | 极快（无控制开销） |
| 头部开销 | 20字节（最小） | 8字节 |
| 典型应用 | HTTP、FTP、SSH | DNS、VoIP、在线游戏 |

### TCP与UDP应用案例

**1. TCP应用案例**

* HTTP/HTTPS：网页传输需数据完整（如银行交易）。
* FTP：文件传输不允许丢包。
* SSH：远程登录需可靠会话。

**2. UDP应用案例**

* DNS查询：快速响应优先，失败可重试。
* 实时音视频（Zoom/Skype）：延迟敏感，丢包影响小于延迟。
* 在线游戏：高频状态更新，少量丢包可接受。

### 拓展

**1. TCP拥塞控制**

机制：慢启动、拥塞避免、快速重传、快速恢复。

目标：动态调整发送速率，避免网络拥塞。

**2. UDP的可靠性增强**

QUIC协议（基于UDP）：Google提出，在应用层实现可靠性（用于HTTP/3）。

**3. 端口号分类**

知名端口（0~1023）：HTTP（80）、HTTPS（443）、SSH（22）。

注册端口（1024~49151）：MySQL（3306）、Redis（6379）。

动态端口（49152~65535）：客户端临时使用。

## DNS协议

### DNS需求背景

**1. 为什么需要DNS？**

问题：互联网通过IP地址标识设备，但IP地址（如192.168.1.1）难以记忆，需将域名（如www.example.com）映射为IP地址。

核心需求：

* 域名解析：将人类可读的域名转换为机器可识别的IP地址。
* 负载均衡：通过DNS轮询分配请求到不同服务器。
* 服务发现：定位邮件服务器（MX记录）、CDN节点等。

**2. 历史演进**

早期方案：/etc/hosts文件手动维护域名与IP映射（不适用于大规模网络）。

DNS诞生：1983年Paul Mockapetris设计，实现分布式、层次化的域名解析系统。

### DNS概述及工作原理

**1. DNS系统组成**

域名空间：树状结构（根域、顶级域、二级域等）。

DNS服务器：

* 根DNS服务器：全球13组，管理顶级域（如.com、.org）。
* 顶级域DNS服务器：管理特定后缀域名（如.com下的所有域名）。
* 权威DNS服务器：管理具体域名的解析记录（如example.com）。
* 递归DNS服务器（本地DNS）：为用户提供查询代理服务（如运营商DNS）。

**2. DNS查询类型**

递归查询：客户端要求DNS服务器必须返回最终结果（客户端 → 本地DNS）。

迭代查询：DNS服务器返回下一级服务器地址，客户端自行查询（本地DNS → 根/顶级域）。

### DNS报文结构

**1. DNS报文格式**

头部（Header）：包含事务ID、标志位（查询/响应）、问题数等。

问题部分（Question）：查询的域名和记录类型（如A记录）。

回答部分（Answer）：返回的解析结果（如IP地址）。

权威部分（Authority）：指向域名的权威DNS服务器。

附加部分（Additional）：额外信息（如权威DNS的IP地址）。

**2. DNS查询与响应示例**

查询报文：

Header:

- Transaction ID: 0x1234

- Flags: 0x0100（标准查询）

Question:

- Name: www.example.com

- Type: A（IPv4地址）

响应报文：

Header:

- Transaction ID: 0x1234

- Flags: 0x8180（响应+递归可用）

Answer:

- Name: www.example.com

- Type: A

- TTL: 300

- Data: 93.184.216.34

### DNS常见记录类型及作用

表7.5 DNS常见记录类型及作用

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **记录类型** | **全称** | **作用** | **应用场景** |
| A | Address Record | 将域名解析为IPv4地址 | www.example.com → 192.0.2.1 |
| AAAA | IPv6 Address Record | 将域名解析为IPv6地址 | www.example.com → 2001:db8::1 |
| NS | Name Server Record | 指定域名的权威DNS服务器 | example.com → ns1.example.com |
| MX | Mail Exchange Record | 指定域名的邮件服务器 | example.com → mail.example.com |
| CNAME | Canonical Name Record | 域名别名（指向另一个域名） | blog.example.com → www.example.com |
| TXT | Text Record | 存储文本信息（如SPF、DKIM验证） | 邮件防伪、域名所有权验证 |
| PTR | Pointer Record | 反向解析（IP → 域名） | 192.0.2.1 → www.example.com |

### DNS请求与响应过程详解

**1. 本地DNS缓存**

* 客户端首先检查本地缓存（浏览器、操作系统）是否有域名解析结果。
* 若缓存命中且未过期（TTL有效），直接使用缓存结果。

**2. 递归查询流程**

客户端向本地DNS服务器发送查询请求（如8.8.8.8）。

本地DNS服务器依次查询：

* 根DNS → 获取.com的顶级域DNS地址。
* 顶级域DNS → 获取example.com的权威DNS地址。
* 权威DNS → 返回www.example.com的A记录。

本地DNS缓存结果并返回给客户端。

**3. 抓包分析（Wireshark）**

过滤条件：dns

关键字段：

* Transaction ID：匹配请求与响应。
* Flags：区分查询（0x0100）与响应（0x8180）。
* Queries/Answers：查看解析结果。

### 拓展

**1. DNS安全**

* DNS劫持：篡改DNS响应，引导用户至恶意网站。
* DNSSEC：通过数字签名验证DNS响应真实性。

**2. CDN与DNS**

地理解析：根据用户位置返回最近的服务器IP（通过A记录实现负载均衡）。

**3. 为什么DNS使用UDP？**

UDP无连接、速度快，适合小数据量的查询（默认端口53）。

若响应超过512字节，自动切换为TCP（如DNSSEC场景）。

**4. TTL的作用是什么？**

Time To Live：控制DNS记录在缓存中的存活时间（单位：秒）。

短TTL：快速更新记录（如故障转移）。

长TTL：减少查询压力（如静态资源域名）。

**5. MX记录的优先级如何工作？**

数值越小优先级越高（如10 mail1.example.com优先于20 mail2.example.com）。

## HTTP与HTTPS协议

### HTTP协议

**1. HTTP需求背景**

核心问题：早期互联网需要一种标准化方式传输超文本（如网页），但缺乏统一的请求-响应规则。

设计目标：

* 简单、灵活：支持多种数据类型（HTML、图片、视频）。
* 无状态：每次请求独立，简化服务器设计。

演进历史：

* HTTP/0.9（1991）：仅支持GET方法，无头部。
* HTTP/1.0（1996）：引入状态码、头部字段。
* HTTP/1.1（1997）：持久连接、分块传输。
* HTTP/2（2015）：二进制协议、多路复用。

**2. HTTP概述及工作原理**

基本特性：

* 无状态：服务器不保存客户端状态（依赖Cookie/Session）。
* 明文传输：数据未加密，易被窃听或篡改。
* 基于TCP：默认端口80，需三次握手建立连接。

请求-响应模型：

* 客户端（浏览器）发送HTTP请求（如GET /index.html）。
* 服务器返回HTTP响应（如200 OK + HTML内容）。

**3. HTTP报文结构**

请求报文：

GET /index.html HTTP/1.1

Host: www.example.com

User-Agent: Mozilla/5.0

Accept: text/html

响应报文：

HTTP/1.1 200 OK

Content-Type: text/html

Content-Length: 1234

<html>...</html>

关键字段：

表7.6 HTTP报文关键字段

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **请求头** | **响应头** | **说明** |
| Host | Server | 目标主机/服务器软件信息 |
| User-Agent | Content-Type | 客户端标识/响应数据类型 |
| Cookie | Set-Cookie | 客户端/服务器管理会话状态 |
| Accept | Content-Length | 客户端支持的数据类型/数据长度 |

**4. HTTP方法**

表7.7 HTTP方法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **方法** | **作用** | **幂等性** | **安全性** |
| GET | 获取资源 | 是 | 是 |
| POST | 提交数据（如表单） | 否 | 否 |
| PUT | 更新资源（全量替换） | 是 | 否 |
| DELETE | 删除资源 | 是 | 否 |

**5. 状态码**

表7.8 HTTP状态码

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **状态码** | **类别** | **常见示例** |
| 1xx | 信息性响应 | 100（继续） |
| 2xx | 成功 | 200（OK）、201（Created） |
| 3xx | 重定向 | 301（永久重定向）、302（临时重定向） |
| 4xx | 客户端错误 | 404（未找到）、403（禁止访问） |
| 5xx | 服务器错误 | 500（内部错误）、503（服务不可用） |

### HTTPS协议

**1. HTTPS需求背景**

HTTP的安全缺陷：

* 窃听风险：明文传输易被中间人截获（如密码、信用卡号）。
* 篡改风险：攻击者可修改传输内容（如插入广告、恶意脚本）。
* 伪装风险：仿冒网站欺骗用户（如钓鱼网站）。

解决方案：通过加密（SSL/TLS）保障数据机密性、完整性、身份认证。

**2. HTTPS概述及工作原理**

基本特性：

* 加密传输：数据经SSL/TLS加密，防窃听与篡改。
* 身份认证：通过数字证书验证服务器身份。
* 基于TCP：默认端口443，兼容HTTP语义。

核心流程：

* TCP三次握手：建立连接。
* TLS握手：协商加密算法、交换密钥、验证证书。
* 加密通信：应用数据通过对称加密传输。

**3. TLS/SSL握手过程**

Client Hello：

* 客户端支持TLS版本、加密套件列表、随机数。

Server Hello：

* 服务器选择加密套件、发送随机数、证书（含公钥）。

证书验证：

* 客户端验证证书合法性（颁发机构、有效期、域名匹配）。

密钥交换：

* 客户端生成预主密钥，用服务器公钥加密后发送。

生成会话密钥：

* 双方通过随机数和预主密钥生成对称密钥。

加密通信：

* 使用对称密钥加密HTTP数据。

**4. HTTPS报文结构**

加密后数据：HTTP报文经TLS加密后传输，无法直接阅读明文。

抓包示例（Wireshark）：

* 过滤条件：tcp.port == 443，可看到TLS握手和加密数据流。

### HTTP与HTTPS对比

表7.9 HTTP与HTTPS对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **特性** | **HTTP** | **HTTPS** |
| 协议 | 明文传输 | 加密传输（SSL/TLS） |
| 端口 | 80 | 443 |
| 安全性 | 无加密，易受攻击 | 防窃听、篡改、伪装 |
| 性能 | 无加密开销，更快 | 加密增加延迟（可优化） |
| 应用场景 | 非敏感信息传输 | 登录、支付、API接口 |

### HTTP/HTTPS案例分析

**1. HTTP明文传输风险**

* 场景：用户通过HTTP登录，密码明文传输。
* 抓包分析：使用Wireshark可直接看到POST请求中的密码字段。

**2. HTTPS加密保护**

* 场景：用户访问https://bank.example.com，提交信用卡信息。
* 抓包分析：仅能看到TLS握手过程，应用数据为加密密文。

**3. 混合内容（Mixed Content）**

* 问题：HTTPS页面加载HTTP资源（如图片、脚本），浏览器警告不安全。
* 解决方案：确保所有资源使用HTTPS加载。

### 拓展

**1. 数字证书与CA**

证书内容：域名、公钥、颁发机构、有效期。

CA（证书颁发机构）：受信任的第三方（如Let's Encrypt、DigiCert）。

证书链：根证书 → 中间证书 → 域名证书。

**2. 性能优化**

TLS会话恢复：通过Session ID或Session Ticket减少握手开销。

OCSP Stapling：服务器主动提供证书状态，减少客户端查询延迟。

**3. HTTP/2与HTTP/3**

HTTP/2：多路复用、头部压缩、服务器推送。

HTTP/3：基于QUIC（UDP），解决队头阻塞，提升弱网性能。

### 浏览器地址栏输入URL回车后涉及到的流程

**1. 查找DNS缓存**

* 先查找浏览器DNS缓存，看是否存放目标网络的IP地址；
* 如果不在浏览器缓存，则浏览器将对操纵系统发起系统调用，查询操作系统本地缓存；
* 如果不在操作系统本地缓存，则浏览器会查询与之相连的路由器缓存；
* 如果不在路由器缓存，则浏览器会检查ISP【本地通信服务商】缓存；

若以上四步均没有查询到目标网络的IP地址，则发起DNS查询。

**2. 发起DNS查询**

判断DNS服务器和我们的主机是否在同一子网内

* 在同一子网，则采用ARP地址解析协议对DNS服务器进行ARP查询
* 不在同一子网，则采用ARP地址解析协议对默认网关进行查询

若此时还是查询不到IP地址，则根据拿到DNS服务器或者默认⽹关的IP地址，继续进⾏DNS请求

使用53端⼝先向本地DNS服务器发送UDP请求包，此处一般使用UDP协议（如果响应包太⼤，则使用TCP协议）

没有查询到IP地址：

则它会发送一个递归查询请求，一层一层向高层DNS服务器查询，直到查询到IP地址，则将结果返回

【解释：DNS是分布式域名服务器，每台服务器只维护⼀部分IP地址到网络地址的映射，没有任何⼀台服务器能够维持全部的映射关系】。

**3. 封装TCP数据包**

拿到IP地址后，根据URL中的端⼝可知端⼝号【HTTP：80；HTTPS：443】，一般先会先尝试建立HTTP连接；

准备TCP数据包：

步骤：

* 将应用层传递下来的实际数据，在传输层添加TCP首部；
* 将传输层传下来的数据在⽹络层添加IP首部；
* 将网络层传输下来的数据，在数据链路层添加以太网首部，并在传输介质中进⾏传输。

**4. 浏览器与目标服务器建立TCP连接**

经过上述DNS和ARP查询流程后，浏览器会收到目标服务器的IP和MAC地址，然后经过三次握手后建立TCP连接；

使用HTTP协议：

浏览器发送请求到服务器，如果使用的是HTTP协议，则服务器直接返回结果；

使用HTTPS协议：

如果不是HTTP协议，则服务器会返回一个以3开头的重定向消息，告诉浏览器使用的HTTPS，IP没变，只是端口号变成443；完成四次挥手；

重新建立TCP连接，将端口号修改为443，同时沟通好双方的使用的认证算法、加密和解密算法，在次过程中也会检查对方的CA安全证书，采用SSL加密技术进⾏传输数据。

**5. 浏览器发送HTTP/HTTPS请求到web服务器**

主要使用两种请求方式：

* 浏览器发送get请求，要求目标服务器提供输⼊的网页；
* 浏览器发送post请求，表示填写的是表单。

**6. 服务器处理请求并返回一个响应**

服务器会从浏览器接受请求并将其传递给请求处理程序并响应；

**7. 服务器发回一个HTTP响应**

⼀般响应包包含：请求的网页以及状态码，压缩类型，如何缓存的页面，设置的cookie；

**8. 浏览器显示HTML页面**

* 渲染HTML骨架；涉及到Ajax技术；
* 检查HTML标记并发送GET请求以获取网页上的其他元素【图像、CSS样式、JS文件等】，该静态文件一般由浏览器缓存，再次访问，不用重新请求；
* 最后会看到请求色彩斑斓的网页。

## DHCP协议

### DHCP需求背景

**1. 为什么需要DHCP？**

手动分配IP的痛点：

* 管理繁琐：大型网络中手动配置IP地址效率低下。
* 易冲突：人工操作易导致IP重复分配。
* 灵活性差：设备移动或网络变更需重新配置。

核心需求：

* 动态分配：自动为设备分配IP地址、子网掩码、网关、DNS等参数。
* 租期管理：IP地址按需分配，避免资源浪费。

### DHCP协议详解

**1. DHCP概述**

全称：Dynamic Host Configuration Protocol（动态主机配置协议）。

作用：自动为网络设备分配IP地址及其他配置参数。

协议版本：

* DHCPv4：用于IPv4网络（默认端口67/UDP服务器，68/UDP客户端）。
* DHCPv6：用于IPv6网络（端口546/UDP客户端，547/UDP服务器）。

**2. DHCP工作原理（DORA流程）**

Discover（客户端广播）：

* 客户端发送DHCP Discover报文，寻找可用DHCP服务器。

Offer（服务器单播/广播）：

* 服务器回应DHCP Offer，提供IP地址及配置参数。

Request（客户端广播）：

* 客户端选择某服务器的Offer，发送DHCP Request确认请求。

Ack（服务器单播/广播）：

* 服务器最终确认分配，发送DHCP Ack，客户端正式使用IP。

**3.** **DHCP报文结构**

通用字段：

表7.10 DHCP报文结构

|  |  |
| --- | --- |
| **字段** | **说明** |
| Op | 报文类型（1=请求，2=响应） |
| Htype/Hlen | 硬件类型/地址长度（如以太网为1/6） |
| Xid | 事务ID（匹配请求与响应） |
| Flags | 广播标志（客户端未分配IP时设为广播） |
| Client MAC | 客户端MAC地址 |
| Your IP | 服务器分配给客户端的IP地址 |
| Options | 可配置参数（子网掩码、网关、DNS、租期等） |

常见报文类型：

表7.11 DHCP报文类型

|  |  |
| --- | --- |
| **类型** | **说明** |
| DHCP Discover | 客户端发起，寻找可用服务器 |
| DHCP Offer | 服务器响应，提供IP配置 |
| DHCP Request | 客户端确认选择某服务器的Offer |
| DHCP Ack | 服务器最终确认分配 |
| DHCP NAK | 服务器拒绝请求（如IP已分配） |
| DHCP Release | 客户端主动释放IP地址 |

### DHCP案例

**1. 家庭网络**

场景：家庭路由器内置DHCP服务器，为手机、电脑分配IP地址。

流程：

* 手机连接Wi-Fi，发送DHCP Discover。
* 路由器回应DHCP Offer（如IP：192.168.1.100）。
* 手机发送DHCP Request确认。
* 路由器发送DHCP Ack，手机获得IP并联网。

**2. 企业网络**

场景：多子网环境中，通过DHCP中继实现跨网段IP分配。

流程：

* 客户端在子网A发送DHCP Discover（广播）。
* 中继代理（路由器）将请求转发至子网B的DHCP服务器。
* 服务器通过中继代理回应DHCP Offer。
* 客户端完成DORA流程获取IP。

### DHCP中继与DHCP Snooping

**1. DHCP中继（Relay Agent）**

应用场景：跨子网环境中，客户端与DHCP服务器不在同一广播域。

工作原理：

* 中继代理监听客户端的DHCP广播报文。
* 将报文单播转发至指定DHCP服务器（修改报文中的giaddr字段为客户端子网地址）。
* 服务器根据giaddr确定客户端所属子网，分配对应IP池中的地址。

**2. DHCP Snooping**

安全威胁：恶意用户伪造DHCP服务器（Rogue DHCP），分配错误IP或劫持流量。

工作原理：

信任端口与非信任端口：

* 信任端口：连接合法DHCP服务器（允许所有DHCP报文）。
* 非信任端口：连接客户端（仅允许DHCP请求，过滤服务器响应）。

绑定表（Binding Table）：

* 记录客户端MAC、IP、租期、VLAN、端口等信息。

过滤非法报文：

* 非信任端口的DHCP Offer/Ack报文被丢弃，防止Rogue DHCP攻击。

### 拓展

**1. DHCP租期更新**

* T1时间（50%租期）：客户端尝试向原服务器续租（单播DHCP Request）。
* T2时间（87.5%租期）：客户端广播DHCP Request，寻找其他服务器。
* 租期到期：客户端释放IP，重新发起DORA流程。

**2. DHCPv6与IPv6**

* 无状态模式：设备通过RA（Router Advertisement）获取网络前缀，自行生成IP。
* 有状态模式：类似DHCPv4，服务器分配完整IP地址。

**3. 常见问题排查**

IP冲突：检查DHCP地址池范围，确认无静态IP重叠。

客户端无法获取IP：

* 检查DHCP服务器是否在线，地址池是否耗尽。
* 抓包分析DORA流程是否完整（Wireshark过滤bootp）。

**4. 客户端收不到DHCP Offer的可能原因？**

* DHCP服务器未启动或地址池耗尽。
* 客户端与服务器间存在防火墙阻止UDP 67/68端口。

**5. DHCP Snooping如何防御中间人攻击？**

* 通过绑定表验证客户端IP-MAC-VLAN-端口的一致性，丢弃非法报文。

**6. DHCP中继的giaddr字段作用？**

* 告知服务器客户端所在子网，确保分配对应子网的IP地址。

## FTP协议

### FTP需求背景

**1. 为什么需要FTP？**

核心需求：早期互联网需要一种标准化方式在不同系统（如Windows、Unix）之间传输文件。

关键特性：

* 跨平台支持：兼容不同操作系统。
* 可靠传输：基于TCP协议，确保文件完整性。
* 目录管理：支持文件列表、目录切换、文件删除等操作。

历史地位：在HTTP普及前，FTP是文件共享的主要协议（现多用于内部网络或特定场景）。

**2.** **FTP的优缺点**

表7.12 FTP的优缺点

|  |  |
| --- | --- |
| **优点** | **缺点** |
| 支持大文件传输 | 明文传输（用户名、密码易被窃听） |
| 支持断点续传 | 配置复杂（需处理主动/被动模式） |
| 可管理远程文件系统 | 默认使用多个端口，防火墙难配置 |

### FTP协议概述

**1. 基本概念**

双通道设计：

* 控制连接：默认端口21，传输命令（如登录、文件操作）。
* 数据连接：默认端口20（主动模式）或随机端口（被动模式），传输文件内容。

传输模式：

* ASCII模式：文本文件自动转换格式（如换行符）。
* 二进制模式：原样传输文件（如图片、压缩包）。

**2. FTP工作模式**

（1）主动模式（Active Mode）

流程：

* 客户端随机端口N连接服务器21端口（控制连接）。
* 客户端发送PORT命令告知服务器自己的数据端口（N+1）。
* 服务器从20端口主动连接客户端的数据端口（N+1）。
* 文件传输完成后，数据连接关闭。

防火墙问题：客户端需开放数据端口，可能被防火墙拦截。

（2）被动模式（Passive Mode）

流程：

* 客户端随机端口M连接服务器21端口（控制连接）。
* 客户端发送PASV命令，服务器回应随机数据端口P。
* 客户端从端口M+1连接服务器的数据端口P。
* 文件传输完成后，数据连接关闭。

防火墙优势：服务器开放数据端口，客户端无需配置入站规则。

**3. 主动模式 vs 被动模式**

表7.13 FTP主动被动区别

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **特性** | **主动模式** | **被动模式** |
| 数据连接方向 | 服务器主动连接客户端 | 客户端主动连接服务器 |
| 客户端防火墙 | 需开放数据端口（易被拦截） | 无需特殊配置（推荐） |
| 服务器防火墙 | 无需特殊配置 | 需开放随机数据端口（需配置NAT） |
| 应用场景 | 内网环境或无防火墙限制 | 公网或客户端有严格防火墙 |

### FTP案例

**1. 文件下载流程（被动模式）**

建立控制连接：

* 客户端（端口1234） → 服务器21端口：TCP三次握手。

用户认证：

* 客户端发送：USER anonymous
* 服务器响应：331 Password required
* 客户端发送：PASS guest@
* 服务器响应：230 Login successful

进入被动模式：

* 客户端发送：PASV
* 服务器响应：227 Entering Passive Mode (192,168,1,100,203,112)

数据端口 = 203×256 + 112 = 52080

发起数据连接：

* 客户端（端口1235） → 服务器52080端口：TCP三次握手。

传输文件：

* 客户端发送：RETR file.txt
* 服务器响应：150 Opening data connection
* 文件传输完成后，服务器响应：226 Transfer complete

**2. 常见FTP客户端工具**

FileZilla：开源跨平台FTP客户端，支持主动/被动模式切换。

命令行工具：

ftp ftp.example.com # 连接FTP服务器

ls # 列出文件

get file.txt # 下载文件

put file.txt # 上传文件

### FTP协议报文结构

**1. 控制连接报文（明文）**

命令格式：命令 参数\r\n

示例：

USER anonymous\r\n

PASS guest@\r\n

RETR file.txt\r\n

响应格式：状态码 描述\r\n

示例：

220 Welcome to FTP Server\r\n

230 Login successful\r\n

226 Transfer complete\r\n

常见状态码：

表7.14 FTP常见状态码

|  |  |
| --- | --- |
| **状态码** | **说明** |
| 200 | 命令成功执行 |
| 220 | 服务就绪 |
| 230 | 登录成功 |
| 550 | 文件不可用（权限不足） |

**2. 数据连接报文**

二进制模式：直接传输文件字节流。

ASCII模式：自动转换文本文件格式（如\n → \r\n）。

### 拓展

**1. FTP安全性问题**

明文传输：用户名、密码、文件内容均未加密，易被嗅探。

解决方案：

* FTPS：基于SSL/TLS加密的FTP（端口990控制连接）。
* SFTP：SSH文件传输协议（与FTP无关，基于SSH加密）。

**2. FTP与防火墙/NAT**

* 主动模式问题：NAT设备无法正确映射服务器主动连接的数据端口。
* 被动模式配置：需在服务器端配置被动端口范围，并在防火墙/NAT中开放。

**3. 匿名FTP**

* 匿名登录：用户名为anonymous，密码为任意邮箱（如guest@）。
* 风险：若服务器配置不当，可能导致未授权文件访问。

**4. 客户端无法连接FTP服务器？**

检查防火墙是否放行21端口（控制连接）及被动模式端口范围。

确认服务器是否支持主动/被动模式。

**5. 文件传输中断如何处理？**

使用支持断点续传的客户端（如FileZilla），重新连接后继续传输。

**6. 如何提升FTP安全性？**

改用FTPS或SFTP协议，禁用匿名登录，限制用户权限。

## 邮件协议

### 邮件协议需求背景

**1. 为什么需要邮件协议？**

核心需求：实现用户间跨网络、跨系统的可靠邮件传递。

关键挑战：

* 异构系统兼容：不同邮件服务器（如Gmail、Outlook）需互通。
* 异步通信：收件人不在线时仍能接收邮件。
* 安全性：防止邮件伪造、窃听、篡改。

**2. 邮件系统组成**

* 用户代理（UA）：客户端（如Outlook）或网页端（如Gmail）。
* 邮件服务器：负责存储、转发邮件（如SMTP服务器、POP3服务器）。
* 协议：SMTP（发）、POP3/IMAP（收）、HTTP（网页邮件）。

### 发送邮件过程（SMTP）

**1. 流程概述**

用户撰写邮件：通过客户端或网页端填写收件人、主题、内容。

提交到发送方SMTP服务器：

* 客户端使用SMTP协议将邮件发送到发件人所属的SMTP服务器（如smtp.gmail.com:587）。

SMTP服务器中继：

* 发送方SMTP服务器通过DNS查询收件人域名的MX记录，找到接收方SMTP服务器（如mail.example.com:25）。

接收方SMTP服务器存储邮件：

* 邮件存入收件人邮箱（若地址有效），等待用户收取。

**2. SMTP协议交互**

命令示例（明文通信）：

EHLO example.com # 客户端标识

MAIL FROM:<sender@example.com>

RCPT TO:<receiver@example.com>

DATA # 开始传输邮件内容

From: sender@example.com

To: receiver@example.com

Subject: Hello

This is the message body.

. # 结束DATA部分

QUIT

响应码：

表7.15 SMTP响应码

|  |  |
| --- | --- |
| **状态码** | **说明** |
| 220 | 服务就绪 |
| 250 | 请求操作成功 |
| 354 | 开始邮件输入 |

### 接收邮件过程（POP3/IMAP）

**1. POP3协议（邮局协议版本3）**

特点：下载邮件到本地后删除服务器副本（默认配置），适合单设备访问。

交互流程：

* 授权阶段：客户端认证（用户名/密码）。
* 事务阶段：列出邮件、下载邮件。
* 更新阶段：删除服务器邮件（可选）。

命令示例：

USER receiver@example.com

PASS password

LIST # 列出邮件列表

RETR 1 # 下载第1封邮件

DELE 1 # 删除第1封邮件

QUIT

**2. IMAP协议（互联网邮件访问协议）**

特点：邮件保留在服务器，支持多设备同步和文件夹管理，适合多设备访问。

核心功能：

* 在线管理邮件（标记已读、移动至文件夹）。
* 同步服务器与客户端的邮件状态。

### 常见邮件协议对比

表7.16 常见邮件协议对比

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **协议** | **端口（明文/加密）** | **功能** | **适用场景** |
| SMTP | 25/587（STARTTLS）  465（SMTPS） | 发送邮件 | 邮件提交与中继 |
| POP3 | 110/995（POP3S） | 下载邮件到本地 | 单设备离线访问 |
| IMAP | 143/993（IMAPS） | 同步管理服务器邮件 | 多设备在线访问 |
| HTTP | 80/443 | 网页邮件交互 | Gmail、Outlook网页版 |

### 网页版与客户端版收发邮件案例

**1. 网页版邮件（如Gmail）**

发送流程：

* 浏览器通过HTTPS将邮件提交到Gmail的SMTP服务器。
* Gmail服务器使用SMTP协议中继邮件至收件人服务器。

接收流程：

* 浏览器通过HTTPS从Gmail的IMAP服务器拉取邮件列表。
* 用户点击邮件后，服务器返回邮件内容。

**2. 客户端版邮件（如Outlook）**

发送流程：

* Outlook通过SMTP协议将邮件发送到配置的SMTP服务器（如smtp.office365.com:587）。

接收流程：

* Outlook通过POP3/IMAP协议从邮件服务器下载邮件。

### 协议报文结构

**1. SMTP报文（明文）**

请求：

MAIL FROM:<sender@example.com>\r\n

RCPT TO:<receiver@example.com>\r\n

DATA\r\n

...邮件头及正文...

\r\n.\r\n

响应：

250 OK\r\n

354 Start mail input\r\n

**2. POP3报文（明文）**

请求：

RETR 1\r\n

响应：

+OK 1200 octets\r\n

...邮件内容...

\r\n.\r\n

### 拓展

**1. 邮件安全**

* SSL/TLS加密：SMTPS（465）、IMAPS（993）、POP3S（995）。
* SPF/DKIM/DMARC：防伪造、防钓鱼技术。

**2. 邮件格式（MIME）**

* 多部分内容：支持文本、附件、HTML格式。
* 编码：Base64编码处理二进制附件。

**3. 垃圾邮件过滤**

* 贝叶斯过滤：基于内容关键词概率分析。
* 黑名单机制：拦截已知垃圾邮件服务器IP。

**4. 邮件发送失败的可能原因？**

SMTP服务器配置错误（端口、加密方式）。

收件人地址不存在或服务器拒收（检查SPF/DKIM记录）。

**5. POP3与IMAP如何选择？**

POP3：单设备离线访问，节省服务器存储空间。

IMAP：多设备同步，需服务器支持。

**6. 为什么网页邮件使用HTTP而非SMTP？**

HTTP更适合交互式操作（如富文本编辑、实时刷新），SMTP仅用于后端邮件传输。

## RADIUS协议

### AAA概述

**1. AAA定义**

* 认证（Authentication）：验证用户身份（如用户名/密码）。
* 授权（Authorization）：确定用户可访问的资源或权限。
* 计费（Accounting）：记录用户资源使用情况（如时长、流量）。

**2. AAA应用场景**

网络接入控制：Wi-Fi认证、VPN登录、拨号上网。

设备管理：路由器、交换机管理员登录验证。

### RADIUS需求背景

**1. 为什么需要RADIUS？**

集中化管理：早期网络设备各自维护用户认证信息，管理成本高。

标准化协议：不同厂商设备需统一认证交互方式。

安全增强：支持加密传输（如密码隐藏）、审计日志。

**2. 替代方案对比**

TACACS+：Cisco主导，更适用于设备管理（如CLI权限分级）。

Diameter：RADIUS升级版，支持更多扩展（如LTE网络）。

### RADIUS协议详解

**1. RADIUS概述**

全称：Remote Authentication Dial-In User Service。

作用：实现AAA功能的客户端-服务器协议。

特点：

* 基于UDP（端口1812认证，1813计费）。
* 支持多种认证方式（PAP、CHAP、EAP）。
* 灵活扩展属性（Attribute-Value Pairs, AVPs）。

**2. RADIUS工作原理**

基本交互流程（以Wi-Fi认证为例）：

用户发起连接：

* 设备（如手机）尝试连接Wi-Fi接入点（AP）。

NAS（网络接入服务器）转发请求：

* AP（作为RADIUS客户端）向RADIUS服务器发送Access-Request报文。

RADIUS服务器验证：

* 检查用户凭证（如用户名/密码）。
* 返回Access-Accept（成功）或Access-Reject（失败）。

授权与计费：

* 若认证成功，服务器下发授权策略（如VLAN、带宽限制）。
* 开始计费会话（发送Accounting-Start报文）。

**3. RADIUS报文结构**

报文头（Header）：

表7.17 RADIUS报文头

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **字段** | **长度 (字节)** | **说明** |
| Code | 1 | 报文类型（如1=Access-Request） |
| Identifier | 1 | 事务ID（匹配请求与响应） |
| Length | 2 | 报文总长度 |
| Authenticator | 16 | 认证字（用于报文完整性校验） |

属性（Attributes）：

表7.18 RADIUS报文属性

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **属性类型** | **值（示例）** | **说明** |
| User-Name | user1 | 用户名 |
| User-Password | 加密值 | 用户密码（MD5加密） |
| NAS-IP-Address | 192.168.1.100 | NAS设备IP地址 |
| Framed-IP-Address | 10.1.1.100 | 为用户分配的IP地址 |
| Service-Type | 2（Framed） | 服务类型（如拨号上网） |

### RADIUS案例

**1. 企业Wi-Fi认证**

场景：员工连接企业Wi-Fi需输入AD域账号。

流程：

* 员工设备连接SSID，触发RADIUS认证。
* AP（RADIUS客户端）转发请求至RADIUS服务器（如FreeRADIUS）。
* RADIUS服务器与AD域控制器同步验证账号。
* 认证通过后，分配VLAN并记录会话日志。

**2. ISP拨号上网**

场景：用户通过PPPoE拨号接入互联网。

流程：

* 用户输入宽带账号密码，发起PPPoE连接。
* BRAS（Broadband Remote Access Server）发送RADIUS请求。
* RADIUS服务器验证用户并下发带宽策略。

### 拓展

**1. RADIUS与EAP**

EAP（Extensible Authentication Protocol）：在RADIUS中扩展支持更安全的认证方式（如EAP-TLS、PEAP）。

应用场景：WPA2-Enterprise无线认证（如802.1X）。

**2. RADIUS属性扩展**

厂商特定属性（VSA）：允许厂商自定义属性（如Cisco的Cisco-AVPair）。

格式：Vendor-Specific (26) + 厂商ID + 子属性。

**3. 安全性增强**

共享密钥（Shared Secret）：客户端与服务器预共享密钥，用于加密敏感属性（如密码）。

报文完整性：通过Authenticator字段验证报文未被篡改。

**4. RADIUS为什么使用UDP而非TCP？**

实时性：UDP无连接开销，适合频繁的认证请求。

轻量级：RADIUS报文通常较小，UDP足够可靠（应用层可重试）。

**5.** **RADIUS与TACACS+的区别？**

表7.19 RADIUS与TACACS+的区别

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **特性** | **RADIUS** | **TACACS+** |
| 传输协议 | UDP | TCP |
| 加密方式 | 仅加密密码 | 加密整个报文 |
| 授权粒度 | 较粗（基于会话） | 精细（基于命令级） |
| 主要场景 | 网络接入 | 设备管理（如路由器） |

**6. 如何排查RADIUS认证失败？**

* 检查共享密钥是否一致。
* 确认NAS与RADIUS服务器网络连通性。
* 查看服务器日志（如FreeRADIUS的/var/log/freeradius/radius.log）。

# 第八章 系统基础

## Windows常用命令

### Windows系统核心概念

**1. 常见目录结构**

表8.1 Windows常见目录结构

|  |  |
| --- | --- |
| **目录路径** | **作用** |
| C:\Windows\System32 | 系统核心文件（如系统DLL、驱动程序） |
| C:\Program Files | 64位应用程序安装目录 |
| C:\Program Files (x86) | 32位应用程序安装目录 |
| C:\Users\<用户名>\AppData | 用户应用程序数据（隐藏目录） |
| C:\Windows\Temp | 系统临时文件 |

**2. 注册表（Registry）**

作用：存储系统、软件、硬件的配置信息。

关键路径：

* HKEY\_LOCAL\_MACHINE (HKLM)：硬件和系统全局配置。
* HKEY\_CURRENT\_USER (HKCU)：当前用户配置。
* HKEY\_CLASSES\_ROOT：文件关联和COM组件注册。

操作命令：regedit（注册表编辑器）。

**3. 系统启动项**

启动位置：

* 注册表：HKCU\Software\Microsoft\Windows\CurrentVersion\Run
* 系统目录：C:\ProgramData\Microsoft\Windows\Start Menu\Programs\Startup

管理工具：任务管理器 → 启动标签页。

**4. 设备管理器**

作用：查看和管理硬件设备（驱动安装、禁用/启用设备）。

打开方式：

* 右键“此电脑” → 管理 → 设备管理器。
* 命令：devmgmt.msc。

**5. 任务管理器**

功能：

* 查看进程、性能（CPU/内存/磁盘/网络）、启动项、用户会话。

快捷键：Ctrl + Shift + Esc 或 Ctrl + Alt + Del → 任务管理器。

**6. 进程与服务**

进程：运行中的程序实例（.exe）。

服务：后台运行的系统程序（如打印服务、网络服务）。

管理命令：

* 查看进程：tasklist
* 结束进程：taskkill /PID <进程ID> /F

**7. 组策略（Group Policy）**

作用：集中管理用户和计算机的权限、安全策略。

打开方式：gpedit.msc（仅限专业版/企业版）。

**8. 安全组、工作组与域**

表8.2 安全组、工作组与域

|  |  |
| --- | --- |
| **概念** | **说明** |
| 安全组 | 用户权限集合（如管理员组、普通用户组） |
| 工作组 | 对等网络模型，无集中管理（适合小型网络） |
| 域 | 集中管理网络资源（AD域控制器） |

**9. 安全日志**

位置：事件查看器 → Windows日志 → 安全。

作用：记录登录、权限变更、审核事件。

打开方式：eventvwr.msc。

### Windows网络排查命令

**1. ping**

作用：测试网络连通性（ICMP协议）。

常用参数：

ping www.baidu.com # 默认发送4个包

ping -t www.baidu.com # 持续ping（按Ctrl+C停止）

ping -n 10 www.baidu.com # 发送10个包

ping -l 1024 www.baidu.com # 指定数据包大小（字节）

**2. ipconfig**

作用：查看和刷新网络配置（IP地址、DNS、DHCP）。

常用参数：

ipconfig # 显示基础信息

ipconfig /all # 显示详细信息（MAC地址、DNS服务器）

ipconfig /release # 释放IP地址（DHCP客户端）

ipconfig /renew # 重新获取IP地址

ipconfig /flushdns # 清空DNS缓存

**3. route**

作用：查看和修改路由表。

常用参数：

route print # 显示路由表

route add 192.168.2.0 mask 255.255.255.0 192.168.1.1 # 添加路由

route delete 192.168.2.0 # 删除路由

**4. arp**

作用：管理ARP缓存表（IP-MAC映射）。

常用参数：

arp -a # 显示ARP表

arp -d 192.168.1.1 # 删除指定ARP条目

arp -s 192.168.1.1 aa-bb-cc-dd-ee-ff # 添加静态ARP条目

**5. tracert**

作用：追踪数据包路径（通过TTL递增）。

常用参数：

tracert www.baidu.com # 显示路径

tracert -d www.baidu.com # 不解析主机名（加快速度）

**6. telnet**

作用：测试TCP端口连通性（需启用Telnet客户端）。

启用Telnet：控制面板 → 程序 → 启用或关闭Windows功能 → 勾选Telnet客户端。

telnet www.baidu.com 80 # 测试80端口是否开放

### 拓展

**1. 网络诊断工具**

* nslookup：DNS查询。
* netstat：查看网络连接状态。

netstat -ano # 显示所有连接及对应进程PID

netstat -ab # 显示监听端口的程序名称

* netsh：高级网络配置（如防火墙、接口）。

netsh interface show interface # 查看网络接口状态

netsh firewall show state # 查看防火墙状态

**2. 批处理脚本（BAT）**

示例：自动刷新DNS并测试连通性。

@echo off

ipconfig /flushdns

ping www.baidu.com -n 4

pause

**3. PowerShell高级命令**

查看进程：Get-Process

网络测试：Test-NetConnection www.baidu.com -Port 80

**4. IP地址冲突**

现象：网络连接显示“无Internet访问”。

解决：ipconfig /release → ipconfig /renew。

**5. DNS解析失败**

现象：能ping通IP但无法访问域名。

解决：ipconfig /flushdns，检查DNS服务器配置。

**6. 网络连接中断**

排查步骤：

* ping 网关IP → 检查局域网连通性。
* ping 8.8.8.8 → 检查外网连通性。
* tracert 8.8.8.8 → 定位断点。

**7. 为什么ping域名显示“找不到主机”？**

原因：DNS解析失败。

解决：

* 检查网络连接是否正常。
* 运行 ipconfig /flushdns 清空DNS缓存。
* 尝试更换DNS服务器（如 8.8.8.8）。

**8. 删除ARP条目后无法上网怎么办？**

自动恢复：等待1-2分钟，系统会自动重新发送ARP请求。

手动恢复：重启网络适配器（禁用再启用）。

**9. Tracert结果中全是\*怎么办？**

原因：中间节点禁用了ICMP响应。

解决：忽略\*，只要最终到达目标IP即可。

## AD域与LDAP协议

### LDAP协议

**1. LDAP需求背景**

核心问题：企业需集中管理用户、设备、应用等资源信息，但传统文件存储（如Excel）无法满足高效查询和权限控制需求。

解决方案：

* 目录服务：树状结构存储数据（类似电话簿），支持快速检索。
* 标准化协议：不同系统（如Windows、Linux）统一访问目录服务。

**2. LDAP概述**

全称：Lightweight Directory Access Protocol（轻量目录访问协议）。

作用：提供目录服务的访问接口，用于查询和修改目录数据。

关键特性：

* 树状结构（DIT）：根节点 → 组织（O）→ 组织单元（OU）→ 条目（Entry）。
* 条目属性：每个条目由唯一DN（Distinguished Name）标识，包含多个属性（如cn=user1, ou=IT, dc=example, dc=com）。

端口：默认389（明文）/636（LDAPS，加密）。

**3. LDAP报文结构**

操作类型：

* Bind：认证请求（用户名/密码）。
* Search：查询目录条目。
* Modify：修改条目属性。

报文示例（Wireshark抓包）：

LDAP Bind Request

MessageID: 1

ProtocolOp: BindRequest (0)

Version: 3

Name: cn=admin,dc=example,dc=com

Authentication: Simple (密码明文)

### AD域（Active Directory）

**1. AD域需求背景**

企业痛点：

* 用户需在多台设备重复登录，权限分散。
* 缺乏集中式策略管理（如密码复杂度、软件安装）。

AD域作用：

* 统一身份认证：用户一次登录访问域内所有资源。
* 集中策略管理：通过组策略（GPO）控制域内计算机和用户行为。

**2. AD域核心组件**

表8.3 AD域核心组件

|  |  |
| --- | --- |
| **组件** | **说明** |
| 域控制器（DC） | 运行AD DS服务的服务器，存储目录数据库。 |
| 目录数据库 | 存储用户、组、计算机等对象（NTDS.dit文件）。 |
| DNS服务器 | 域内资源定位依赖DNS（如查找域控制器）。 |
| 组策略对象（GPO） | 定义安全策略、软件部署等规则。 |

**3. AD域工作原理**

用户登录流程：

* 用户输入域账号（如user1@example.com）。
* 客户端向DNS查询域控制器地址。
* 域控制器验证用户凭证（Kerberos协议）。
* 颁发票据（TGT），允许访问域内资源。

### AD域信任关系

**1. 信任类型**

单向信任：域A信任域B，但域B不信任域A。

双向信任：域A与域B互相信任（默认同一森林内域间信任）。

跨森林信任：不同AD森林间的信任（需手动配置）。

**2. 信任作用**

资源共享：允许用户跨域访问资源（如文件服务器）。

统一管理：多域环境下集中权限控制。

**3. 信任验证**

示例：域A用户访问域B的文件服务器时，域B的DC验证域A的DC颁发的票据。

### AD域组策略（GPO）

**1. 组策略功能**

* 安全策略：密码复杂度、账户锁定阈值。
* 软件部署：自动安装/卸载应用程序（MSI包）。
* 环境配置：映射网络驱动器、禁用USB存储。

**2. 策略应用流程**

创建GPO：在“组策略管理”控制台（GPMC）中定义策略。

链接GPO：将策略应用到域、OU或站点。

策略生效：客户端定期（默认90分钟）拉取并应用策略。

**3. 常用策略示例**

密码策略：

路径：Computer Configuration → Policies → Windows Settings → Security Settings → Account Policies → Password Policy

策略项：Minimum password length = 8

禁用USB：

路径：Computer Configuration → Policies → Administrative Templates → System → Removable Storage Access

策略项：Deny execute access = Enabled

### 搭建AD域及常用操作

**1. 搭建AD域步骤**

安装AD域服务：

* 服务器管理器 → 添加角色 → 选择“Active Directory域服务”。

提升为域控制器：

* 配置新林（如example.com） → 设置目录还原密码。

配置DNS：确保域控制器安装DNS角色。

验证安装：

* 打开“Active Directory用户和计算机”，确认域结构。

**2. 常用操作命令**

用户管理：

net user user1 P@ssw0rd /add /domain # 创建域用户

dsquery user -name "user1" # 查询用户

组管理：

net group "IT组" /add /domain # 创建域组

net group "IT组" user1 /add /domain # 添加用户到组

### AD域应用场景（SSL VPN结合AD域认证）

**1. 场景需求**

* 企业远程访问：员工通过SSL VPN接入内网，需使用AD域账号认证。

**2. 配置流程**

VPN服务器集成AD域：

* 在VPN设备（如深信服SSL VPN）配置LDAP认证，指向AD域控制器。

配置LDAP参数：

* 服务器地址：AD域控制器IP（如192.168.1.100）。
* 端口：389（LDAP）或636（LDAPS）。
* 绑定DN：cn=admin,dc=example,dc=com。
* 用户搜索库：ou=Users,dc=example,dc=com。

用户登录验证：

* 用户输入域账号密码，VPN设备通过LDAP协议向AD域验证身份。

### 拓展

**1. LDAP安全加固**

使用LDAPS：配置SSL证书加密通信。

匿名访问限制：禁用匿名查询，仅允许授权用户访问。

**2. AD域备份与恢复**

备份工具：Windows Server Backup。

关键数据：NTDS.dit（目录数据库）、SYSVOL（组策略模板）。

**3. AD域与云集成**

Azure AD：微软云目录服务，支持混合部署（本地AD与Azure AD同步）。

**4. 用户无法登录域的可能原因？**

网络不通（检查DNS解析和域控制器可达性）。

用户账号被锁定或密码错误。

**5. 组策略未生效如何排查？**

运行 gpresult /r 查看策略应用结果。

检查GPO链接位置和权限（是否拒绝“应用组策略”）。

**6. LDAP与AD域的关系？**

LDAP是协议，AD域是微软基于LDAP实现的目录服务（扩展了Kerberos、GPO等特性）。

## Linux系统基础与常用命令

### Linux系统介绍

**1. Linux系统组成**

表8.4 Linux系统组成

|  |  |
| --- | --- |
| **组件** | **说明** |
| 内核（Kernel） | 管理硬件资源，提供进程调度、内存管理等核心功能。 |
| Shell | 用户与内核交互的接口（如Bash、Zsh）。 |
| 文件系统 | 树状目录结构（如/, /home, /etc）。 |
| 应用程序 | 用户级软件（如浏览器、编辑器）。 |

**2. Linux特点**

* 开源免费：代码公开，可自由修改和分发。
* 多用户多任务：支持多用户同时操作，进程独立运行。
* 高稳定性：广泛用于服务器环境（如云计算、嵌入式）。
* 丰富的命令行工具：通过命令高效管理系统。

### 查看文件命令

**1. ls - 列出目录内容**

常用参数：

ls -l # 长格式显示（权限、大小、时间）

ls -a # 显示隐藏文件（以`.`开头）

ls -h # 人性化显示文件大小（如KB/MB）

**2. cat - 查看文件内容**

用途：快速显示文件全部内容（适合小文件）。

cat file.txt

cat -n file.txt # 显示行号

**3. more/less - 分页查看文件**

区别：

more：仅支持向下翻页（按空格键）。

less：支持上下翻页（按↑/↓），搜索（/keyword）。

less /var/log/syslog

**4. head/tail - 查看文件头尾**

示例：

head -n 5 file.txt # 显示前5行

tail -f /var/log/nginx/access.log # 实时跟踪日志

### 查找文件或目录命令

**1. find - 按条件查找文件**

语法：find <路径> <条件> <动作>

find /home -name "\*.txt" # 按文件名查找

find /var/log -size +10M # 查找大于10MB的文件

find /etc -type d -mtime -7 # 查找7天内修改的目录

**2. locate - 快速查找文件（依赖数据库）**

更新数据库：sudo updatedb

示例：

locate nginx.conf

### 常用Linux命令及参数

**1. 网络相关命令**

表8.5 Linux网络相关命令

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **命令** | **作用** | **常用参数** |
| ping | 测试网络连通性 | -c 4（发送4个包） |
| ifconfig | 查看/配置网络接口（旧版） | -a（显示所有接口） |
| ip | 替代ifconfig（新版） | ip addr show |
| netstat | 查看网络连接状态 | -tuln（监听端口） |
| tcpdump | 抓包分析网络流量 | -i eth0 -n port 80 |
| wget | 下载文件 | -O filename（指定保存名称） |
| iptables | 配置防火墙规则 | -A INPUT -p tcp --dport 22 -j ACCEPT |

**2.** **系统管理命令**

表8.6 Linux系统管理命令

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **命令** | **作用** | **常用参数** |
| ps | 查看进程状态 | aux（显示所有进程） |
| top | 实时监控系统资源（CPU、内存） | -d 2（刷新间隔2秒） |
| free | 查看内存使用情况 | -h（人性化显示） |
| df | 查看磁盘空间 | -hT（显示文件系统类型） |
| du | 查看目录/文件占用空间 | -sh \*（汇总当前目录大小） |
| kill | 终止进程 | -9 PID（强制终止） |
| date | 显示/设置系统时间 | +%Y-%m-%d（格式化输出） |

**3. 文件操作命令**

表8.7 文件操作命令

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **命令** | **作用** | **示例** |
| cp | 复制文件/目录 | cp -r dir1 dir2（递归复制目录） |
| mv | 移动/重命名文件 | mv old.txt new.txt |
| rm | 删除文件/目录 | rm -rf dir（强制删除目录） |
| chmod | 修改文件权限 | -hT（显示文件系统类型） |
| chown | 修改文件所有者 | chown user:group file.txt |

**4. 硬件与性能工具**

表8.8 硬件与性能工具

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **命令** | **作用** | **常用参数** |
| ethtool | 查看/配置网卡参数 | ethtool eth0 |
| iperf | 网络带宽测试 | iperf -s（服务器模式） |
| lspci | 列出PCI设备信息 | lspci -v（详细信息） |
| lsusb | 列出USB设备信息 | lsusb -t（树状显示） |

### 拓展

**1. 管道与重定向**

管道：将前一个命令的输出作为后一个命令的输入。

ps aux | grep nginx

重定向：

ls > filelist.txt # 输出重定向到文件

cat file.txt 2>> error.log # 错误追加到文件

**2. 权限管理**

权限符号：

* r（读）：4
* w（写）：2
* x（执行）：1

示例：

chmod 755 script.sh # 所有者：rwx，其他用户：r-x

**3. 服务管理（systemd）**

启动/停止服务：

systemctl start nginx

systemctl stop nginx

systemctl enable nginx # 开机自启

**4. 软件包管理**

Debian/Ubuntu（apt）：

sudo apt update # 更新软件源

sudo apt install nginx # 安装软件

RedHat/CentOS（yum）：

sudo yum install httpd

**5. 命令找不到（Command not found）**

原因：命令未安装或路径未配置。

解决：

which ping # 查看命令路径

sudo apt install iputils-ping # 安装缺失包

**6. 权限被拒绝（Permission denied）**

原因：当前用户无权限执行操作。

解决：

sudo command # 以root权限执行

chmod +x script.sh # 添加执行权限

**7. 磁盘空间不足（No space left on device）**

排查：

df -h # 查看磁盘使用

du -sh /var/log # 检查大目录

## 数字证书

### 证书需求背景

**1. 传统通信的安全问题**

* 明文传输风险：HTTP、FTP等协议数据易被窃听或篡改。
* 身份伪造风险：攻击者可伪装成合法服务器（如中间人攻击）。

**2. 对称加密的局限性**

* 密钥分发难题：如何安全地将密钥传递给通信双方？

**3. 非对称加密的挑战**

* 公钥信任问题：如何确保接收的公钥确实属于目标对象？
* 解决方案：引入受信任的第三方机构（CA）验证公钥身份 → 数字证书。

### 证书的概念及分类

**1. 数字证书定义**

作用：电子“身份证”，绑定公钥与持有者身份（如域名、组织）。

核心内容：

* 持有者信息（Subject）
* 公钥
* 颁发机构（Issuer）
* 有效期
* 数字签名（由CA私钥签发）

**2.** **证书分类**

表8.9 证书分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **类型** | **用途** | **示例** |
| 根证书 | CA自身的证书，预置在操作系统/浏览器中 | DigiCert Global Root CA |
| 中间证书 | 由根证书签发，用于签发终端证书 | Let's Encrypt Intermediate CA |
| 服务器证书 | 验证服务器身份（如HTTPS） | www.example.com的证书 |
| 用户证书 | 验证客户端身份（如VPN登录） | 员工个人证书 |
| 代码签名证书 | 验证软件来源可信（防止篡改） | Microsoft代码签名证书 |

**3. 证书链（Chain of Trust）**

信任传递：客户端通过证书链逐级验证证书合法性。

终端证书 → 中间证书 → 根证书

示例：

www.example.com（终端证书）

↓ 由中间CA签发

Let's Encrypt Intermediate CA

↓ 由根CA签发

ISRG Root X1（根证书）

### 证书的工作原理及流程

**1. 证书申请与签发流程**

生成密钥对：申请者生成公钥（包含在证书中）和私钥（保密）。

创建CSR（证书签名请求）：包含公钥、申请者信息（域名、组织等）。

提交CSR至CA：通过CA网站或API提交请求。

CA验证身份：

* 域名验证（DV）：验证申请者对域名的控制权（如DNS解析、文件验证）。
* 组织验证（OV）：验证企业营业执照等实体信息。
* 扩展验证（EV）：更严格的企业身份审核（显示绿色地址栏）。

签发证书：CA用私钥对证书签名，返回证书文件（如.crt）。

**2. 证书验证流程（以HTTPS为例）**

客户端发起请求：访问https://www.example.com。

服务器返回证书：包含公钥、证书链。

客户端验证证书：

* 有效性检查：证书是否过期？域名是否匹配？
* 签名验证：用CA公钥验证证书签名是否合法（逐级验证证书链）。
* 吊销检查：查询CRL（证书吊销列表）或OCSP（在线证书状态协议）。

建立加密连接：验证通过后，使用证书公钥协商对称加密密钥（如TLS握手）。

### 证书的认证应用场景

**1. HTTPS网站加密**

* 作用：验证服务器身份，建立SSL/TLS加密通道。
* 证书类型：服务器证书（DV/OV/EV）。

**2. VPN身份认证**

* 客户端证书：用户接入VPN时验证身份（如OpenVPN）。
* 服务器证书：验证VPN网关合法性。

**3. 电子邮件加密（S/MIME）**

* 用户证书：签名和加密邮件，确保发件人身份和内容保密。

**4. 代码签名**

* 开发者证书：验证软件发布者身份，防止恶意篡改。

**5. 物联网设备认证**

* 设备证书：确保设备与云平台通信的合法性（如AWS IoT）。

### 拓展

**1. 证书格式**

表8.10 证书格式

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **格式** | **说明** | **扩展名** |
| PEM | Base64编码的文本格式（含证书/私钥） | .pem, .crt |
| DER | 二进制格式 | .der, .cer |
| PFX/PKCS12 | 包含证书和私钥的加密包（用于Windows） | .pfx, .p12 |

**2. 证书吊销机制**

* CRL（证书吊销列表）：CA定期发布被吊销证书的序列号列表。
* OCSP（在线证书状态协议）：实时查询证书状态（响应更快）。

**3. 自签名证书**

* 用途：内部测试或私有环境，无需CA签发。
* 风险：浏览器提示“不安全”（因未被公共CA信任）。

**4. 浏览器提示“证书不受信任”怎么办？**

* 原因：证书链不完整或根证书未预置。
* 解决：安装中间证书或使用公共CA签发的证书。

**5. 证书过期会有什么影响？**

* 浏览器阻止访问，显示“不安全”警告。
* 需及时续签证书并更新到服务器。

**6. 如何选择证书类型？**

* 个人网站：DV证书（成本低，快速签发）。
* 企业官网：OV/EV证书（显示企业信息，增强信任）。