

■ 第4章 网络层

▼ 功能

- 异构网络互连(统一)
- 路由 转发(2)
- 网络层提供的两种服务(2: vd)
-
- SDN'基本概念(2接口:北:program→大脑,南:大脑→order)
- 拥塞控制(1对比:p2p vs global)

■

▼ IPV4[2 2 3:ADC

- ..分组(3:识 志 偏移)
- ..地址 NAT (1公n私)
-
-  划分子网 路由聚合(2count:求addr、host数 | 构造超网:写二进制、找Longest prefix)
- 网络层转发分组的过程(路由表:最长前缀)
-
- 地址解析协议 (ARP)(IP -> MAC:请求(广)-响应(单))
- 动态主机配置协议 (DHCP)(get IP 2 2:发现-提供,请求-确认)
- 网际控制报文协议 (ICMP)(2侦查:PING,Traceroute(TTL))

▼ IPV6

- ..特点(4: 大化插安)
- .. 数据报基本首部(少,fix)
- IPv6地址(1进制:128=8*16 2规则:前导0 连续0)
-
- IPv4 → IPv6过渡(2tech)

■

▼ 路由算法 路由协议[2 3:rob

- 路由算法(2路由 2算法:DV LS)
- 分层次的路由选择协议(3:治 内(ro)外(b))
-
- 路由信息协议 (RIP)(15跳 DV;UDP)
- 开放最短路径优先 (OSPF) 协议(泛洪LS;IP)
- 边界网关协议 (BGP)← 复杂 PV;TCP

■

▼ IP多播[群

- 概念

- ..地址(D类: 224.0.0.0~239.255.255.255)
-
- 在局域网上进行**硬件多播** (D类IP→多播MAC:2: 28>23,01-00-5E)
- **IGMP 多播路由协议**(组成员)
- ▼ **移动IP**[永久IP]
 - 概念
 - ..通信过程(123n,3步过程)
 -
- ▼ **网络层设备**
 - **冲突域**(2 3 **广播域**(1
 -
 - **路由器** 组成和功能(2function 2平面
 - **路由表** 分组转发(最长前缀matching: Next
- 本章小结及疑难点

好的，同学们，我们进入第四章《网络层》的学习。这一章是计算机网络的**核心枢纽**，上承传输层，下启数据链路层，是考研**绝对的命题重点**，尤其是**IPv4地址规划**和**路由协议**的计算与分析，每年必考，分值极高。

本章内容多、协议多、计算多，但掌握了方法就是“纸老虎”。跟紧我的节奏，我们把网络层这块“硬骨头”嚼碎了、吃透了！

第4章 网络层

本章定位：如果说数据链路层是“同城快递”，负责相邻站点间的交付，那网络层就是“**跨省/跨国物流系统**”，它的核心任务是规划出一条**全局路径**，把数据包（分组）从**源主机**送到遥远的**目的主机**。

功能

异构网络互连(统一

- **核心考点：**网络层的核心任务之一是连接物理上、协议上可能完全不同的网络。

- **形象记忆:**
 - 网络层就像一个“**万能转换插头+全球翻译官**”。
 - 无论你用的是德国标准插座（以太网），还是美国标准插座（其他网络），网络层（IP协议）都能让它们互相通信，因为它提供了一套**统一的、抽象的地址格式（IP地址）**。
 - 实现这一功能的关键设备是**路由器**。

路由 转发(2)

- **核心考点:** 路由选择 与 分组转发 的区别。
- **形象记忆:**
 - **路由选择 (Routing):**
 - **角色:** 地图规划师（路由器的大脑，控制层面）。
 - **工作:** 通过路由算法（如RIP, OSPF）与邻居交流路况，**制定并更新全局地图（路由表）**。这是一个相对较慢、需要“深思熟虑”的过程。

 - **分组转发 (Forwarding):**
 - **角色:** 十字路口的**交警**（路由器的数据层面）。
 - **工作:** 看到一个数据包（车），迅速瞥一眼它的目的地，根据手头的**路牌（转发表）**，指挥它从哪个路口（端口）出去。这是一个**硬件级的、极快**的动作。
 - **关系:** 地图规划师（路由选择）的工作成果——地图（路由表），是交警（转发）指挥交通的依据。

网络层提供的两种服务(2: vd)

- **核心考点:** 虚电路服务 与 数据报服务 的对比。
- **形象记忆:**
 - **虚电路服务 (Virtual Circuit): 坐火车**
 - **过程:** 建立连接（买票铺轨道） -> 数据传输（所有车厢沿固定轨道顺序前进） -> 释放连接（拆轨道）。
 - **特点:** 可靠、有序、有连接建立开销。分组头部只需携带一个短小的虚电路号。
 - **数据报服务 (Datagram): 开汽车**

- **过程:** 每个数据包都是一辆独立的汽车，都带着**完整的目的地址**，自己问路（每个路由器都为其独立选择路径）。
 - **特点:** 无连接、灵活、高效。但可能失序、丢失。互联网的**IP网络**采用的就是数据报服务。
-

SDN'基本概念(2接口:北:program→大脑,南:大脑→order

- **核心考点:** 软件定义网络（SDN）的核心思想是**控制与转发分离**。
 - **形象记忆: 无人机集群表演**
 - **传统网络:** 每架无人机（路由器）都有自己的“小脑子”，自己决定怎么飞，互相之间还要商量，协调复杂。
 - **SDN网络:** 所有无人机（转发设备）都变成了“傻瓜”执行器，**没有自己的思想**。地面上有一个**超级计算机（SDN控制器**作为“大脑”，集中计算所有无人机的飞行路径，然后通过指令下发给它们。
-

- **南向接口:** “**大脑**”给“无人机”下达指令的通道。
 - **北向..:** 应用**程序**给“**大脑**”下达表演任务的接口。
-

拥塞控制(1对比:p2p vs global

- **核心考点:** 拥塞控制与流量控制的区别。
 - **形象记忆:**
 - **流量控制 (Flow Control):**
 - **问题:** **点对点**的问题。发送方太快，**接收方一个人**处理不过来。
 - **比喻:** 我给你讲题，语速太快，你听不过来了，于是你对我说：“老师，慢一点！”
-

- 拥塞.. (Congestion Control):
 - 问题: 全局性问题。整个网络都因为数据包太多而堵塞了。
 - 比喻: 春运期间, 整个国家的高速公路网都堵车了, 交管局 (路由器) 发出通知, 要求所有车辆减速慢行。
-

IPV4[2 2 3:ADC

..分组(3:识 志 偏移

- 核心考点: IPv4首部格式, 特别是与分片相关的字段 (标识、标志、片偏移)。
 - 形象记忆 (IP报文分片):
 - 一个超大的货物 (IP数据报) 要通过一个矮隧道 (链路 MTU)。必须把货物**拆成几箱 (分片) **来运。
 - 标识 (Identification): 所有箱子都贴上**同一个运单号**, 表示它们来自同一批货物。
 - 标志 (Flags):
 - MF (More Fragment) 位: 除了**最后一个箱子** MF=0, 其他箱子都贴上 MF=1, 告诉接收方“后面还有”。
 - DF (Don't Fragment) 位: 贴上 DF=1 表示“此货易碎, 禁止拆箱”。
-
- 片偏移 (Fragment Offset): 每个箱子上都标明了它装的是**原始货物**的哪一部分。注意: 单位是8字节!

..地址 NAT (1公n私

- 核心考点: 私有IP地址范围, NAT的工作原理。
- 形象记忆 (NAT): 公司的前台总机
 - 场景: 一个大公司 (私有网络) 里有上千员工, 每人都有一个内线分机号 (私有IP)。但公司对外只有一个总机号码 (公网IP)。
 - 工作原理:

- **出:** 员工 (192.168.1.10) 用分机打外线, 前台 (NAT路由器) 会把来电显示自动换成公司的总机号码, 并记录下是哪个员工打的 (IP+端口 映射)。
- **入:** 外面的人回电到总机, 前台根据记录, 把电话转接到对应员工的分机上。
- **作用:** 节省公网IP地址, 并隐藏内部网络结构, 提高安全性。

划分子网 路由聚合(2count:求addr、host数 | 构造超网:写 二进制、找Longest prefix

这是 【计算大题中的王者, 每年必考】。

- **【计算题模板】: 子网规划与计算**

问题: 给定IP地址 a.b.c.d/xx , 求其网络地址、广播地址、可用主机数。

- 明确分界线:** /xx 表示网络前缀占 xx 位, 主机号占 32-xx 位。
- 计算网络地址:**
 - 将IP地址的主机号部分**全部置为0**。
 - **快捷方法:** IP地址 与 子网掩码 进行 **AND (与) 运算**。
- 广播地址:**
 - 将IP地址的主机号部分**全部置为1**。

-
- 可用主机数:**
 - 主机号有 $n = 32 - xx$ 位。
 - **可用主机数** = $2^n - 2$ (减去网络地址和广播地址)。
 - 可用IP地址范围:**
 - 最小可用IP = 网络地址 + 1 。
 - ..大.. = 广播地址 - 1 。

- **【计算题模板】: 路由聚合 (构造超网)**

问题: 将多个子网 N1, N2, ... 聚合成一个超网。

- i. **写出二进制:** 将所有子网的网络地址写成二进制形式。
- ii. **找共同前缀:** 从左到右, 找到所有地址都**相同的最长前缀**。
- iii. **得出结果:**
 - 超网的网络地址 = 共同前缀 + 后面全补0。
 - 超网的掩码 = 共同前缀的位数。
 - **例:** 192.168.0.0/24 和 192.168.1.0/24 的共同前缀是23位, 聚合后为 192.168.0.0/23 。

网络层转发分组的过程(路由表:最长前缀

- **核心考点:** 路由器根据**路由表**进行转发决策, 遵循“**最长前缀匹配**”原则。
- **形象记忆:**
 - 一个数据包的目的地是“**北京市海淀区中关村南大街27号**”。
 - 路由表里有两条路: 一条是“**发往北京市的走这边**”, 另一条是“**发往北京市海淀区的走那边**”。
 - 路由器会选择**更具体**的那条路, 即“**最长前缀匹配**”, 将数据包发往“海淀区”的路径。

地址**解析**协议 (ARP)(IP -> MAC:请求(广)-响应(单))

- **核心考点:** ARP的功能 (IP -> MAC) 和 workflows。
 - **形象记忆: 在教学楼里找人**
 - **场景:** 你在教学楼 (局域网) 里, 知道张三 (目的IP) 的名字, 但不知道他在哪个教室 (MAC地址)。
 - **ARP请求 (广播):** 你在教学楼的广播里大喊: “张三! 你在哪个教室?” (目的MAC为 FF-FF...), **广播, 所有人都听得到**。
 - **ARP响应 (单播):** 张三听到后, 走到你面前 (单播) 悄悄告诉你: “我在201教室”。
-

- **跨网络**: 如果你要找校外的人, 你会去问**门卫大爷** (默认**网关**)。你通过ARP只会得到门卫大爷的MAC地址。

动态主机配置协议 (DHCP)(get IP 2 2:发现-提供,请求-确认)

- **核心考点**: 主机如何**自动获取IP**地址 (即插即用)。
- **形象记忆**: **新员工入职领工位**
 - **场景**: 你 (新电脑) 第一天来公司上班 (加入网络)。
 - **..发现 (..)**: 你在公司大厅喊: “**行政部** (DHCP服务器) 在哪? 我需要一个**工位** (IP地址) ! ” (源IP **0.0.0.0**)
 - **..提供 (..)**: 行政部回复你: “我这有空位, A座501, 你用吧! ”
 - **..请求 (..)**: 你再次大喊: “谢谢大家, 我决定去A座501了! ” (为了通知所有可能回复你的服务器, 并确认你的选择)
 - **DHCP确认 (广播)**: 行政部最终确认: “好的, A座501归你了, 工牌 (租期) 有效期8小时! ”

网际**控制**报文协议 (ICMP)(2侦查:PING,Traceroute(TTL))

- **核心考点**: ICMP的功能和常见报文类型。
- **形象记忆**:
 - **功能**: IP协议的“**侦察兵**”和“**信使**”, 负责报告网络中的各种异常情况。它被封装在IP包里, 是网络层的一部分。
 - **常见应用**:
 - **PING**: 使用“**回送请求/应答**”报文。就像你对山谷喊一声“喂”, 如果听到回声, 说明路是通的。
 - **Traceroute**: 使用“**TTL超时**”报文。通过不断发送TTL=1, 2, 3...的包, 看它在哪一跳“死掉”并收到“死亡通知”, 从而探明路径。

IPV6

..特点(4: 大化插安

- **核心考点:** 为什么需要IPv6 (IPv4地址耗尽)。
 - **主要特点:**
 - **地址空间巨大 (128位):** 可以为地球上每一粒沙子分配一个IP地址。
 - **首部格式简化:** 固定长度40字节, 取消了检验和字段, 路由器处理更快。
-
- **即插即用:** 支持自动配置, 无需DHCP。
 - **安全性增强:** 内置IPsec。

.. 数据报基本首部(少,fix

- **核心考点:** 与IPv4相比, 字段更少, 长度固定。
- **记忆:** 取消了首部长度、标识、标志、片偏移、首部检验和等字段, 处理效率大大提升。分片相关功能由扩展首部实现。

IPv6地址(1进制:128=8*16 2规则:前导0 连续0

- **核心考点:** IPv6地址的表示法。
- **记忆模板:**
 - **冒号十六进制:** 128位, 每16位一组, 共8组, 用冒号隔开。
 - 2001:0DB8:0000:0000:ABCD:0000:0000:1234
 - **零压缩规则:**
 - **前导0可省略:** 0DB8 -> DB8, 0000 -> 0。
 - **连续0可压缩:** 0:0:0 -> ::。
 - **注意:** :: 在一个地址中只能使用一次。
 - **示例:** 2001:DB8:0:0:ABCD::1234

IPv4 → IPv6过渡(2tech

- **核心考点:** 两种主要的过渡技术。

- 形象记忆:
 - **双协议栈 (Dual Stack): 双语人才**。一台设备既安装了IPv4协议栈，也安装了IPv6协议栈，能和两种网络无缝沟通。
 - **隧道..(Tunneling): 跨国邮寄**。把一封英文信（IPv6包）装进一个中文信封（IPv4包）里，通过只懂中文的邮政系统（IPv4网络）投递。到达目的地后，再拆开中文信封，取出英文信。
-

路由算法 路由协议[2 3:rob

这是【本章的另一座大山，概念和过程理解是重点】。

路由算法(2路由 2算法:DV LS

- 核心考点: 静态路由 vs 动态..; 距离-向量 vs 链路-状态。
 - 形象记忆 (寻宝):
 - **静态路由**: 管理员**手工绘制**一张**固定不变**的藏宝图。
 - **动态..**: 寻宝者们**自己探索**, **动态更新**地图。
-
- **距离-向量算法**: “**听邻居说**”。每个寻宝者只和相邻的人交流，告诉对方“我到各个宝藏点大概需要几步”。
 - **链路-状态算法**: “**全局广播**”。每个寻宝者把自己到相邻点的距离（链路状态）广播给**所有人**，每个人都自己拼凑出完整的全局地图。

分层次的路由选择协议(3:治 内(ro)外(b)

- 核心考点:
 - 自治系统(AS)、 内部网关协议(IGP)、 外部网关协议(EGP)。
- 形象记忆:
 - **AS**: 一个独立的“**国家**”或“**运营商**”(如中国电信)。
 - **IGP**: 一个国家**内部**的交通规则（如**RIP, OSPF**）。
 - **EGP**: **国与国之间**的外交协议和通关规则（如BGP）。

路由信息协议 (RIP)(15跳 DV;UDP)

- 核心考点: RIP的特点和工作原理。
- 记忆要点:
 - 算法: 距离-向量。
 - 度量: 跳数 (最多15跳, 16为不可达)。
 - 更新: 定期 (30s) 与邻居交换整个路由表。
 - 缺点: 慢收敛 (“坏消息传得慢”)。
 - 传输: 基于 UDP。

开放最短路径优先 (OSPF) 协议(泛洪LS;IP

- 核心考点: OSPF的特点和工作原理。
 - 记忆要点:
 - 算法: 链路-状态。
-
- 度量: 开销 (cost), 可根据带宽等因素配置。
 - 更新: 泛洪 (向AS内所有路由器) 发送链路状态更新 (只在变化时)。
 - 优点: 收敛快, 支持大规模网络 (通过区域划分)。
 - 传输: 直接基于 IP。

边界网关协议 (BGP)← 复杂 PV;TCP

- 核心考点: BGP是AS之间的路由协议, 基于策略。
 - 记忆要点:
 - 算法: 路径-向量 (交换的是到达目的网络所经过的AS路径)。
 - 目的: 寻找一条较好的、无环的路径, 而非“最短”路径。
 - 特点: 极其复杂, 考虑政治、经济等策略因素。
 - 传输: 基于 TCP, 保证可靠性。
-

IP多播[群]

概念

- **核心考点:** 多播是一对多的通信模式。
- **形象记忆:**
 - **单..:** 打电话，一对一。
 - **广..:** 用大喇叭喊话，范围内所有人都能听到，一对所有。
 - **多播:** 建一个**微信群**，只有群里的人能收到消息，一对多。

..地址(D类: 224.0.0.0~239.255.255.255)

- **核心考点:** D类地址范围为 224.0.0.0 到 239.255.255.255 。
- **记忆:** 每个D类地址代表一个“微信**群号**”。

在局域网上进行**硬件多播** (D类IP→多播MAC:28>23,01-00-5E)

- **核心考点:** D类IP地址→多播MAC地址的**映射**规则。

-
- **记忆:**
 - IP多播地址的**后23位**会映射到一个以 01-00-5E 开头的特殊MAC地址。
 - 由于IP地址可用于映射的位数（28位）> MAC地址（23位），可能存在**多个**IP多播地址映射到**同一个**MAC地址的情况，需要上层软件过滤。

IGMP 多播路由协议(组成员)

- **核心考点:** IGMP用于主机向本地路由器报告组成员关系。
-

- 形象记忆 (IGMP):
 - 你 (主机) 想看某场球赛直播 (加入某个多播组)。
 - 你对**楼栋管理员 (本地多播路由器)** 说: “我要加入‘CCTV5球迷群’!”
 - 管理员在本子上记下, 并负责把CCTV5的信号接进你们楼。如果整栋楼都没人看了, 他就把信号掐断。
-
-

移动IP[永久IP

概念

- 核心考点: 让移动设备在切换网络时保持其

永久IP地址

 不变

..通信过程(123n,3步过程

- 形象记忆: 邮件转发服务
 - 你: 移动设备。
-

- 家庭住址: 归属地址 (永久不变的IP)
 - ..管家: 归属代理 (家里网的路由器)
-

- 出差住的酒店: 外地网络
 - 酒店前台: 外地代理 (酒店的路由器)。
 - 酒店给你的临时房间号: 转交地址
-

- 过程:
 - a. 到酒店后, 告诉前台你的家庭住址, 前台给你一个临时房间号, 并打电话通知你家老管家: “主人现在住我们这, 房间号是XXX”。

- b. 别人寄信到你家，老管家收到后，把信装进一个新信封（隧道技术），写上酒店地址，寄到酒店。
 - c. 酒店前台收到后，拆开信封，把原始的信交给你。
-
-

网络层设备

冲突域(2 3 广播域(1

- 核心考点: 【绝对重点】 不同设备对两个域的隔离能力。
- 记忆模板:
 - 冲突域 (Collision Domain): 发生碰撞的范围。
 - 中继器/集线器: 不..。像一个大办公室，所有人说话都互相干扰。
 - 交换机/网桥: 隔离。像用隔板把大办公室分成了很多小隔间，每个隔间是一个冲突域。
 - 路由器: 隔离。
- 广播域 (Broadcast Domain): 广播能传播到的范围。
 - 中继器/集线器/交换机/网桥: 不..。一个隔间里喊话，整个楼层（广播域）都能听到。
 - 路由器: 隔离。像一堵防火墙，把不同楼层隔开，楼下的广播楼上听不到。

路由器' 组成和功能(2function 2平面

- 核心考点: 路由器的两大核心功能: 路由选择 和 分组转发。
- 组成:
 - 控制平面 (大脑): 运行路由协议，生成路由表。
 - 数据.. (四肢): 硬件，负责快速查找转发表并转发数据。

路由表 分组转发(最长前缀matching: Next

- **核心考点:** 路由器根据**最长前缀匹配**原则查找路由表，找到**下一跳**地址。
 - **记忆:** 路由器不告诉你全程路线，只告诉你**下一站**去哪。你到了下一站，再问那里的路由器下一步怎么走。
-

本章小结及疑难点

- **尽最大努力交付:** IP协议不保证可靠性，可能会丢包、失序、重复，这些都交给上层（如TCP）来处理。
 - **ARP请求谁响应:** 如果目标在**同一局域网**，目标主机自己响应；如果目标在**不同局域网**，默认网关(**路由器**)会代为响应，给出它自己的MAC地址。
 - **路由表为何不用MAC地址:** 因为MAC地址是扁平的、无结构，无法进行路由聚合，会导致路由表爆炸式增长。而分层的IP地址结构才使得高效路由成为可能。
-

第四章的复习，要把**计算**和**原理**两手抓。**IPv4的子网划分和路由聚合**是计算的重中之-重，必须做到快、准、狠。**路由协议**的对比和工作原理是理解的重点，要能用它们自己的话把它们之间的区别讲清楚。加油！