

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”。紧跟我的节奏，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**。

iii. **广播地址:**

- 将IP地址的主机号部分**全部置为1**。

---

iv. **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)。

v. **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  $N_1, N_2, \dots$  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 workflow。
- **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, 要能用自己的话把它们之间的区别讲清楚。加油!