

《计算机网络》讲义要点

第四-五章 网络层

赵增华

天津大学智能与计算学部

2023 年秋

参考教材:

“Computer networking: a top-down approach”, by Jim Kurose, Keith Ross,
Pearson, 8th Edition, 2021 年。

辅助教材: “Computer Networks”, 第 5 版英文影印版, A. Tanenbaum, 清华大学出版社, 2011 年。

教学目标:

通过对 Internet 经典协议的学习和剖析, 让学生理解网络系统设计、网络协议设计所面临的问题和常用的解决方法。课程结束后学生能够根据工作/科研的需要设计、实现相应的网络系统和协议, 并进行性能评价。授课过程中强调对问题的描述 (why), 然后是解决方案 (how)。

学习方法:

学而不思则罔, 思而不学则殆。

多读, 多思, 多实践。

多读: 通过大量阅读理解网络、协议的基本概念, 原理。阅读推荐的教材、参考书、自行在网上查找的相关内容。

多思: 思考为什么。网络系统/每层 (个) 协议设计面临什么问题? 如何解决? 为什么?

多实践: 1) 通过网络协议分析软件 (如 Wireshark) 深入理解各层协议的执行过程。(WiresharkLab)

2) 通过设计、实现网络协议, 掌握协议的设计方法和实现技术。(Socket programming, RDT, routing protocol)

3) 通过网络构建、配置, 理解网络的实际部署和管理。(Lab Practice)

第四-五章 网络层

教学要求

- 1) 理解网络层在协议栈中的位置和功能。(Sec. 4.1)
- 2) 了解路由器的内部结构。(Sec. 4.2)
- 3) 掌握 IP 地址的分配方法。(Sec. 4.3)
- 4) 熟悉 DHCP, NAT 工作原理。(Sec. 4.3)。
- 5) 掌握路由协议设计的基本思想和方法。(Sec. 5.1)
- 6) 掌握 LS Dijkstra 和 DV 路由算法。(Sec. 5.2)
- 7) 理解层次型路由的工作原理；了解经典 Internet 路由协议。(Sec. 5.3-5.4)

一、网络层在协议栈中的位置、功能和服务

网络层在协议栈的中心位置（bottleneck），向上层提供尽力而为的网络服务，统一了下层不同物理网络的异构性（heterogeneity）。主要功能为转发和路由。

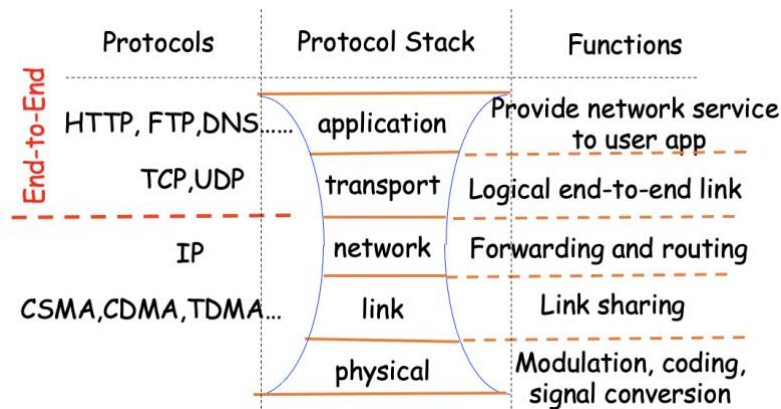


图 1-1 网络层在协议栈中的位置和功能

1、理解网络层在协议栈中位置的重要性

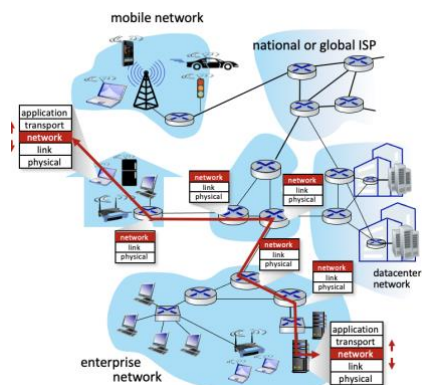


图 1-2 网络层在网络系统中的位置和功能

从网络架构上看，网络层在端系统设备（主机、服务器等）和核心网络设备（路由器）上都有实现。核心网络的主要功能是数据包转发和路由。核心网络是由路由器互联构成的，因此转发和路由也是路由器的主要功能。

从网络协议栈角度，端系统上运行了五层协议，而路由器上原则上只运行三层协议（网络层、链路层和物理层）。网络层对上层屏蔽了底层的差异性。底层（数据链路层和物理层）涉及到不同的通信技术，比如 **Ethernet**（以太网）、**WLAN**（无线局域网，**Wi-Fi**）、蓝牙（**BlueTooth**）等。这些通信网络通常传输介质不同（有线、无线），信道共享的方式（链路层的主要功能）也不同。但是在网络层都统一起来了，都支持 **IP** 数据包格式，为上层（传输层）提供了一个统一的接口。

这种设计和实现方式使得 **Internet** 能够不断支持新的通信技术。

2、网络层的主要功能：转发和路由

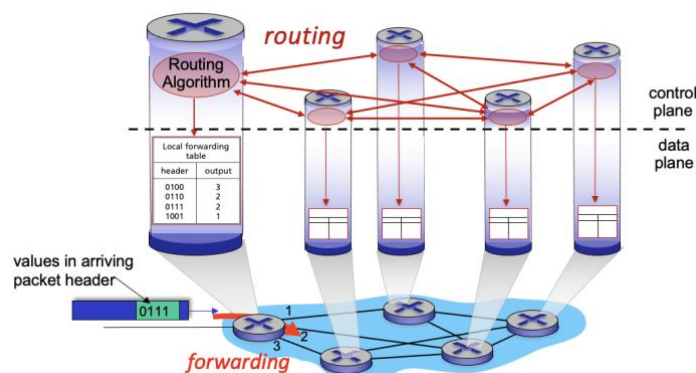


图 1-3 转发和路由功能示意图

转发：路由器把数据包从一个端口（input port）转发到另一个端口（output port）。转发是数据层面的功能，在路由器上实现。转发速率是衡量路由器性能的一个重要指标。

路由：从网络中为数据包找一条从源节点到目的节点的端到端路径。路由是控制层面的功能，由路由协议实现。路由协议可以运行在路由器上，也可以运行在远程控制器上（SDN, Software Defined Networking 网络）。

转发和路由的关系：当数据包到达路由器某个端口时，路由器根据数据包头部携带的目的节点的 IP 地址查找转发表（forwarding table），找到下一跳节点及其所连接的路由器端口。然后把数据包转发到该端口。路由协议负责维护转发表。

二、了解路由器的内部结构（Sec. 4.2）

路由器是专用的网络设备。数据包转发是其核心功能。转发速率是衡量路由器性能的一个重要指标。

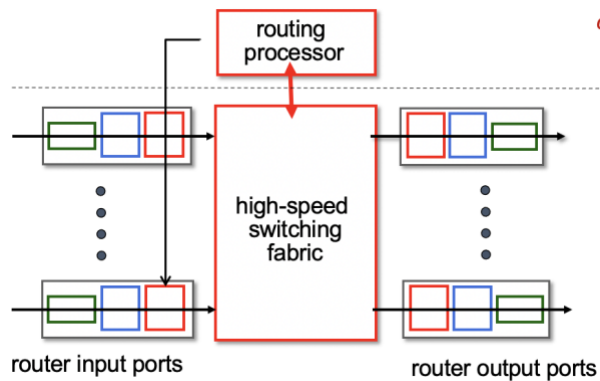


图 2-1 路由器的硬件架构

数据包的排队和丢包主要发生在 output port。

三、掌握 IP 地址的分配方法（Sec. 4.3）

在端系统中，每个接入网络的设备都有一个唯一的 IP 地址。在核心网络中，路由器上的每个端口也都有一个唯一的 IP 地址。路由器上的 IP 地址通常是事先分配好的，在网络运行过程中固定不变。如何给网络中的所有设备都分配一个唯一的 IP 地址，是 IP 地址分配要解决的关键问题。

1、IP 地址的表示方法

子网号+主机号

子网掩码 subnet mask: 子网部分为全 1，主机号部分全 0。如 255.255.255.0。

CIDR: Classless InterDomain Routing (pronounced "cider")

- subnet portion of address of arbitrary length
- address format: **a.b.c.d/x**, where x is # bits in subnet portion of address

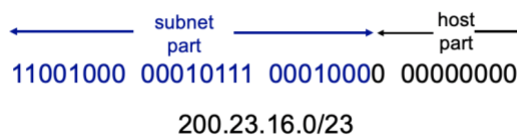


图 3-1 IP 地址的 CIDR 表示方法

Special IP addresses

0 0																																This host																
0 0								...								0 0								Host																A host on this network								
1 1																																Broadcast on the local network																
Network																1 1 1 1																...								1 1 1 1								Broadcast on a distant network
127								(Anything)																								Loopback																

Figure 5-54. Special IP addresses.

Private IP addresses:

- 10.0.0.0 to 10.255.255.255
- 192.168.0.0 to 192.168.255.255
- 172.16.0.0 to 172.31.255.255

图 3-2 几类特殊的 IP 地址

2、子网中主机号的分配规则

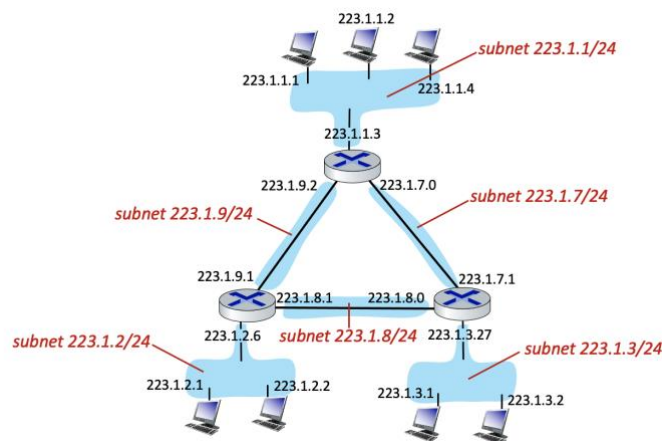


图 3-3 IP 地址分配示例

RFC3021 中规定：点到点链路（比如两个路由器的链路）组成的子网中，主机号可以是全 1 或者全 0。普通子网（含主机的子网）的主机号不可以使用全 0 和全 1，全 0 代表本机，全 1 代表子网内广播地址。因此普通子网中如果主机号位数为 n ，则最大的可支持的主机个数为： $2^n - 2$ 。

例如，图中由两个路由器组成的子网：223.1.9/24，223.1.7/24，223.1.8/24，路由器端口的 IP 地址主机部分可以是 0 或者 1。其它含有主机的子网：主机号不可以用全 0，全 1，因此子网中的可用的主机个数需要减去 2。

注意：

- (1) 子网所分配的 IP 地址号要连续。
- (2) 路由器的每个端口都连接一个子网；

每个端口所在的子网不同；
每个端口都要分配一个 IP 地址。该 IP 地址在所连子网的 IP 地址范围内。

3、路由器转发表：IP 地址最长匹配原则

路由器目的地址最长匹配原则是指路由器收到一个数据包后，使用其目的 IP 地址去找转发表，选择最长匹配的表项。

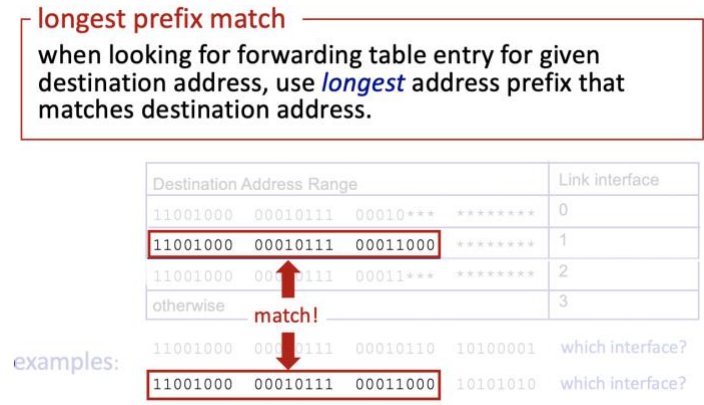


图 3-4 查转发表：IP 地址最长匹配原则

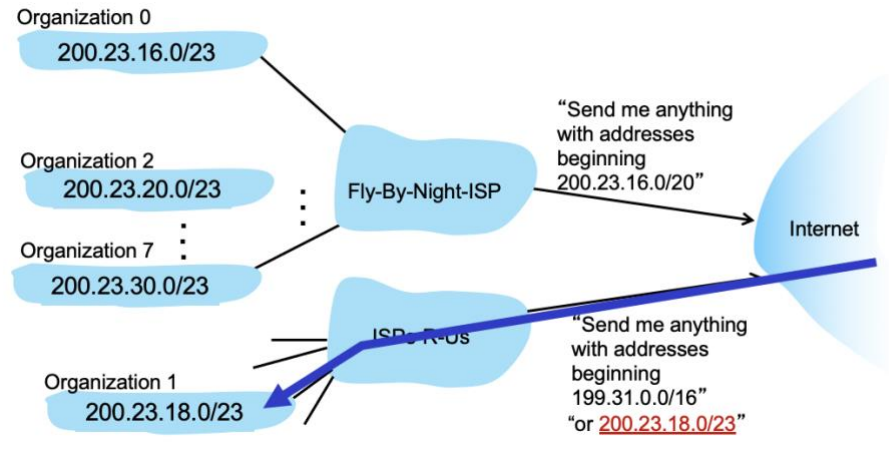


图 3-4 最长匹配原则的应用示例

四、熟悉 DHCP，NAT 工作原理。（Sec. 4.3）

五、掌握路由协议设计的基本思想和方法。（Sec.5.1）

六、掌握 LS Dijkstra 和 DV 路由算法。（Sec.5.2）

七、理解层次型路由协议的工作原理；了解经典 Internet 路由协议。（Sec.5.3-5.4）