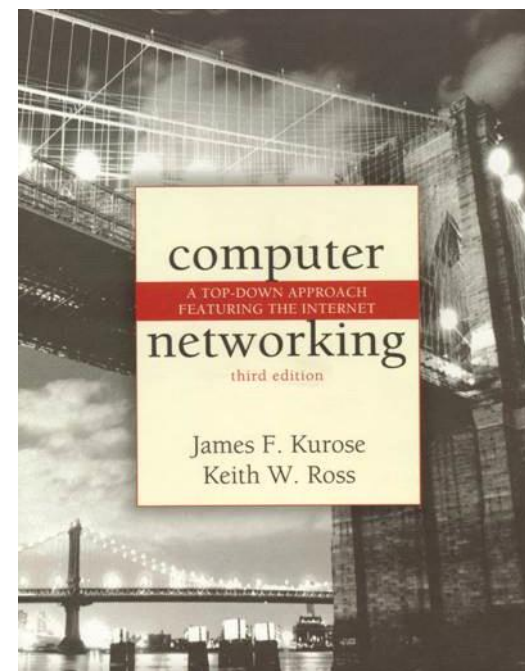


第四章 网络层

——数据平面



第四章: 网络层

本章目标:

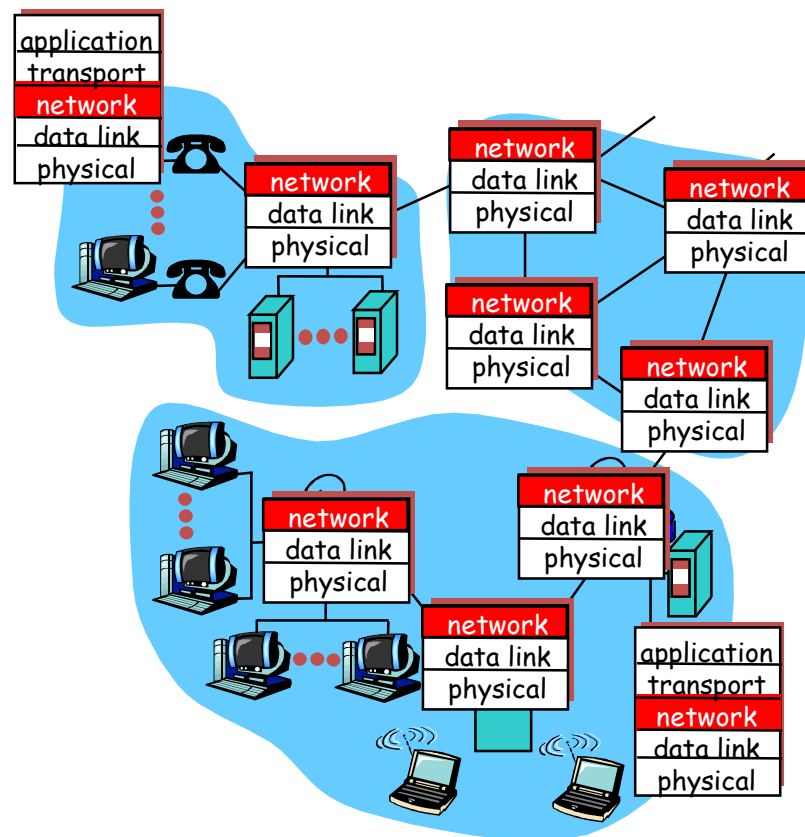
- 理解网络层主要服务:
 - 选路(路径选择)
 - 路由器工作原理
 - IPv6

第四章: 网络层

- 4.1 网络层概述
- 4.2 路由器工作原理
- 4.3 网际协议
 - IPv4数据报格式
 - IPv4数据报分片
 - IPv4 编址
 - 网络地址转换
 - IPv6

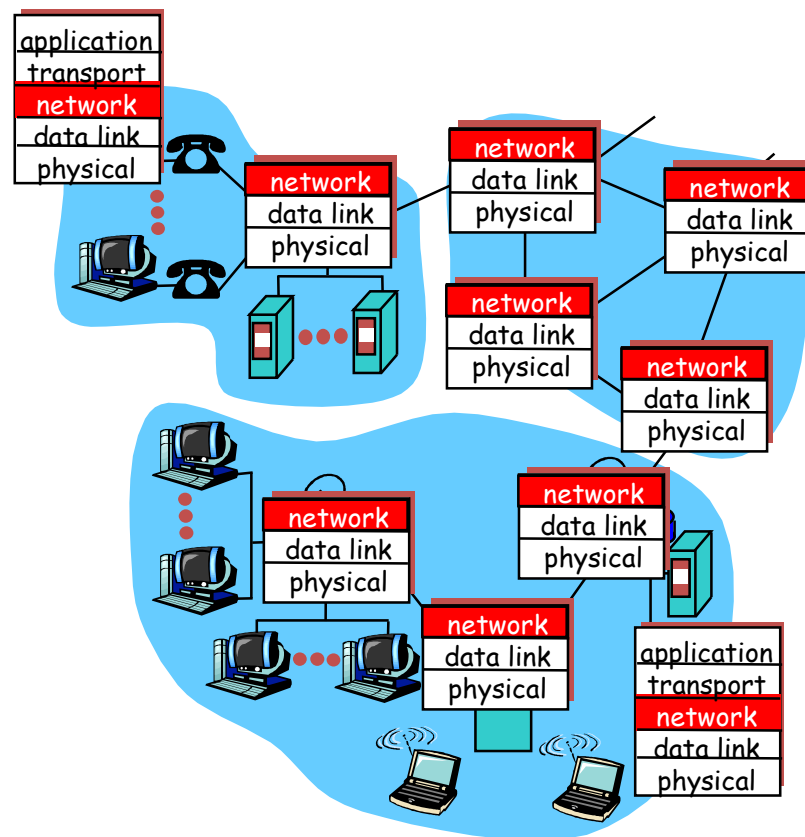
4.1 网络层概述

- 网络层实现主机到主机之间的通信
- 主机和网络核心——路由器都有网络层
- 网络层分解为
 - 数据平面：如何转发
 - 控制平面：如何路由
- 网络层和传输层提供的服务对比：
 - **Network:** 两台主机（host）之间
 - **Transport:** 两个进程（process）之间



网络层

- 将分组从发送方主机传送到接收方主机
- 发送方将数据段封装成分组
- 接收方将分组解封装后将数据段递交给传输层
- 路由器检查所有由输入链路进入它的IP分组的分组头，选择合适的输出链路转发



网络层的重要功能

- **转发:**单个 路由器将收到的分组移动到适当的输出链路。
- **选路:** 决定分组从源端到目的端所经过的路径。
 - 选路算法

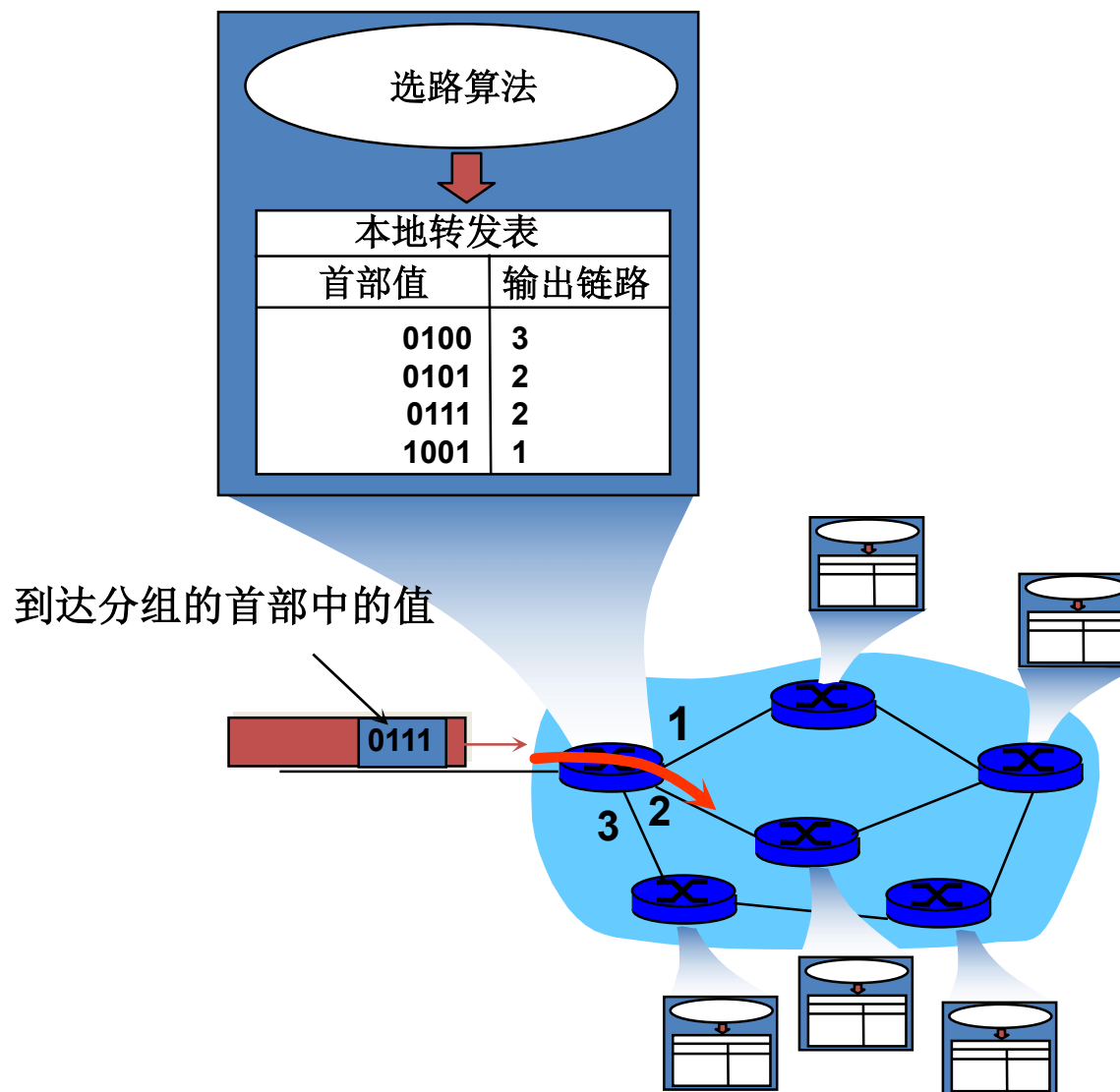
术语:

routing: 决定分组从源端到目的端所经过路径的过程。

forwarding: 将分组从一个输入链路接口转移到适当输出链路接口的过程。

4.1.1 转发和选路

选路算法决定转发表中的值



4.1.2 网络服务模型

网络服务模型：定义了分组端到端的运输特性

问题:源端到目的端之间分组传送提供了哪些服务模型呢？

网络层为单个数据分组提供的服务:

- 确保交付
- 具有时延上界（不到40ms）的确保交付

网络层为分组的流提供的服务:

- 有序的分组递交
- 确保最小带宽
- 确保最大时延抖动
- 安全性服务

注意:现在的因特网网络层并没有提供上述服务，因特网只提供了尽力而为的服务（实际上就是没有提供任何特定的服务）。

网络层服务模型：

网络体 系结构	服务 模型	服务质量				拥塞指示
		带宽保证	无丢包 保证	排序	定时	
Internet	尽力而为	无	无	任何可 能顺序	不维持	无
ATM	CBR	恒定速率	有	有序	维持	无拥塞
ATM	ABR	保证最小 速率	无	有序	不维持	提供拥塞 指示

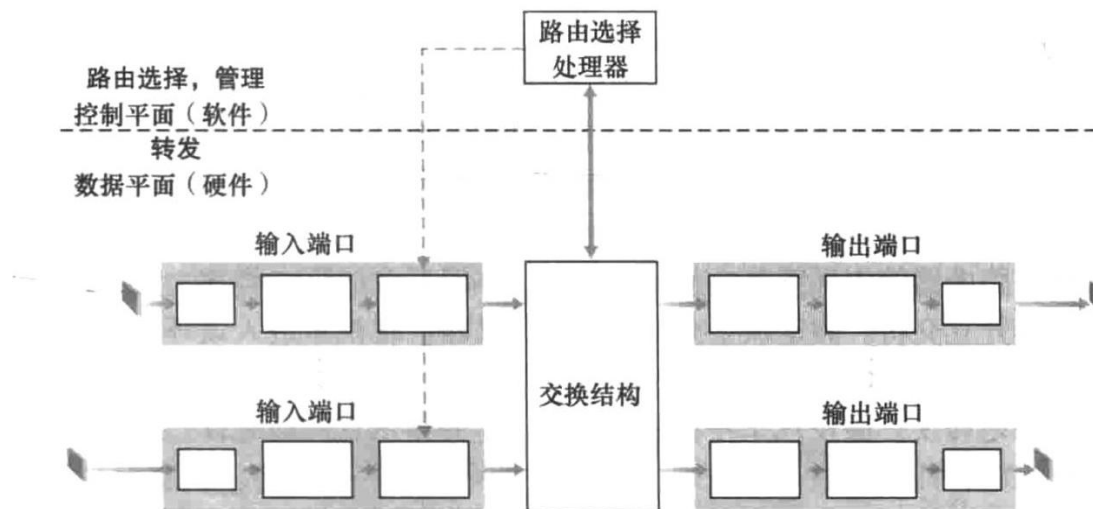
第四章: 网络层

- 4.1 概述
- 4.2 路由器工作原理
- 4.3 网际协议
 - IPv4数据报格式
 - IPv4数据报分片
 - IPv4 编址
 - 网络地址转换
 - IPv6

路由器结构概要

路由器两个主要功能:

- 路由Routing
 - 运行路由算法/协议 (RIP, OSPF, BGP), 管理控制平面 (软件)
- 转发Forwarding
 - 将分组从输入链路转发到适当的输出链路, 转发数据平面 (硬件)

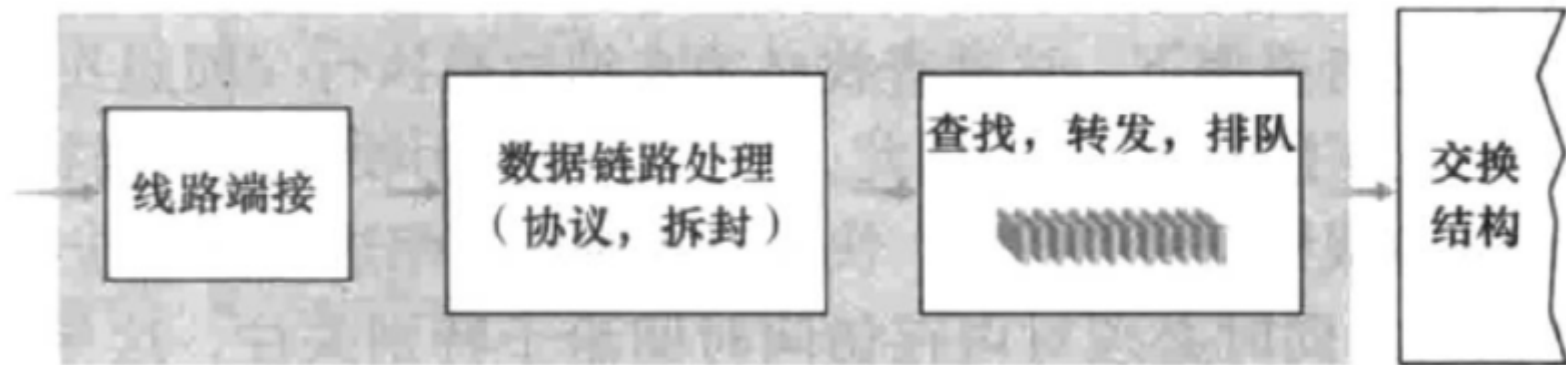


- 路由器结构
 - 输入端口, 交换结构, 输出端口, 路由处理器

路由器结构功能

- 输入端口:接收分组，查找路由表
- 交换结构: 将路由器的输入端口与输出端口相连
- 输出端口: 存储输入端口交换而来的分组，传输到链路上
- 路由选择处理器: 路由表生成和维护(传统路由器)
- 输入端口、输出端口和交换阵列往往用硬件实现

4.2.1 输入端口处理和基于目的地址转发



物理层:
bit接收
数据链路层

分散式转发:

- 根据分组中的目的地址, 在输入端口的缓存中查找转发表 (副本) 得出适当的输出口
- 硬件查找, 线性搜索 (TCAM)
- 目标: 要求输入端口的处理速度超过线路处理速度 'line speed'
- 排队: 如果输入端口分组的到达快于其转发到交换结构的速度

转发表

有超过**40亿IP**地址，
转发表就需要**40亿**项吗？

目的地址范围

链路接口

11001000 00010111 00010000 00000000
到

0

11001000 00010111 00010111 11111111

11001000 00010111 00011000 00000000
到

1

11001000 00010111 00011000 11111111

11001000 00010111 00011001 00000000
到

2

11001000 00010111 00011111 11111111

其他

3

最长前缀匹配

电子科技大学计算机学院信安二班王小白

前缀越长，定位越精确

前缀匹配	链路接口
11001000 00010111 00010	0
11001000 00010111 00011000	1
11001000 00010111 00011	2
其他	3

Examples

目的地址: 11001000 00010111 00010110 10100001 哪个接口?

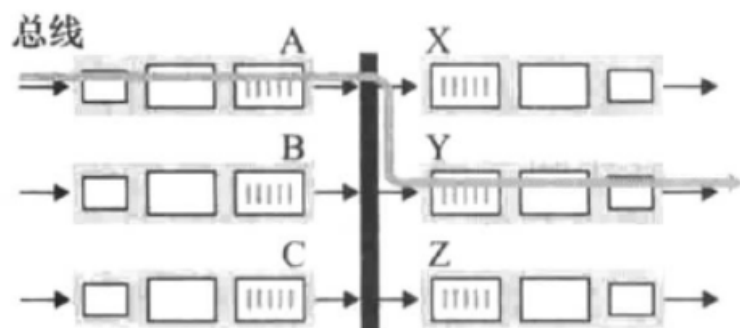
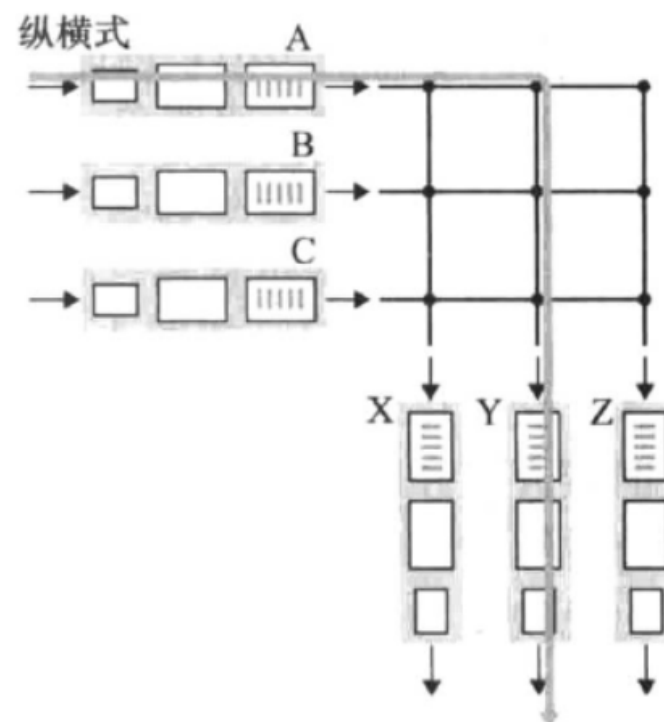
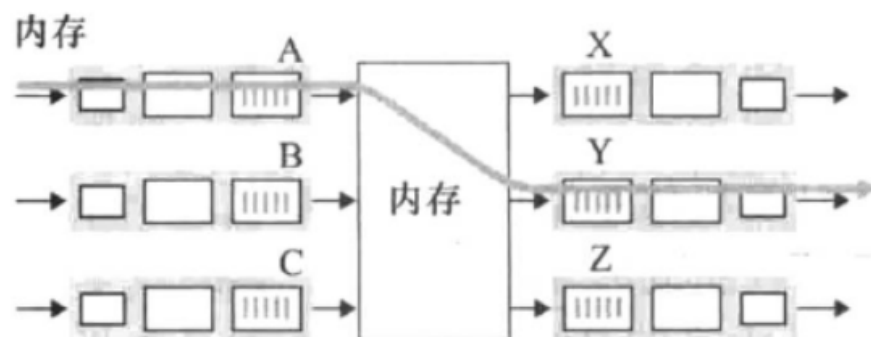
11001000 00010111 00010 0

目的地址: 11001000 00010111 00011000 10101010 哪个接口?

11001000 00010111 00011000 1

前缀越长，网络就越小，定位越精确；前缀越短，网络就越大

4.2.2 交换结构



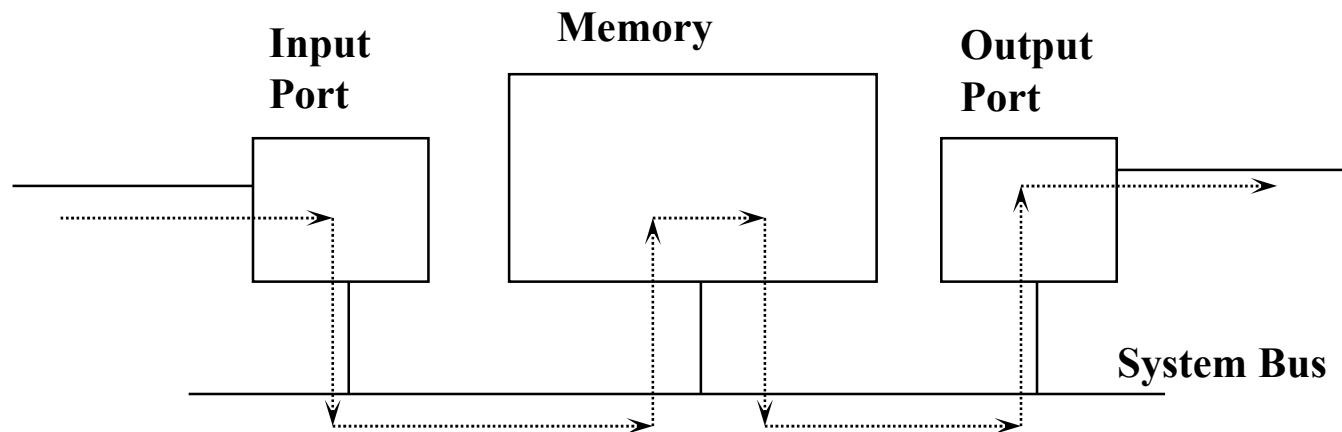
图例:

□ □ ▨ 输入端口 ▨ □ □ 输出端口

经内存交换

第一代路由器:

- 传统的计算机，交换在**CPU**的直接控制下完成
- 分组被拷贝到系统内存
- 速度受内存带宽限制 (每个分组需要两次经过总线)



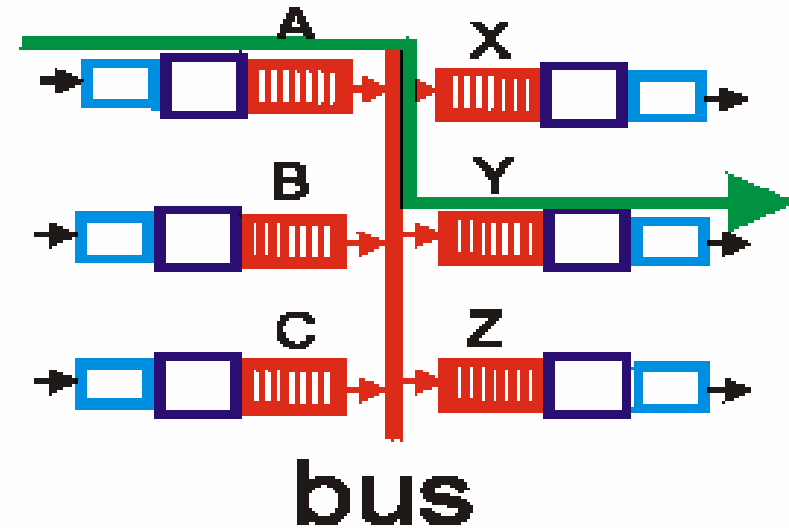
许多现代路由器:

输入端口处理器处理分组地址查找,拷贝到输出端口的缓冲区
如同共享内存的多处理器

Cisco Catalyst 8500

经总线交换

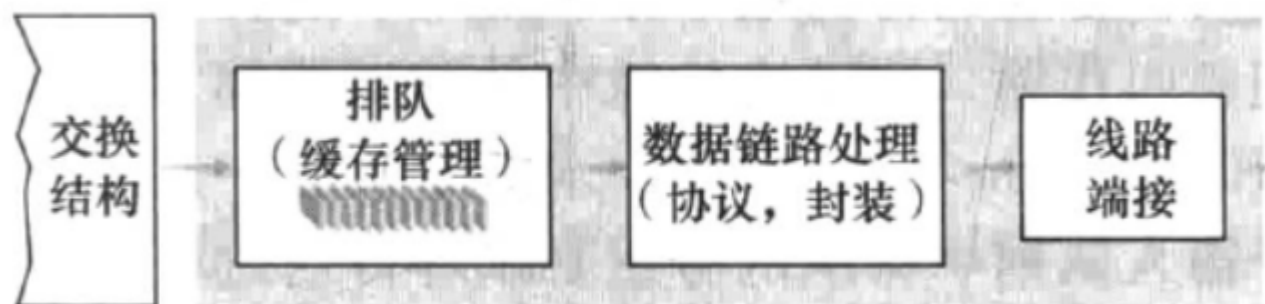
- 分组从输入端口缓存经过一根共享总线到达输出端口缓存
- **总线竞争**: 交换速率受总线带宽限制
- **1 Gbps bus, Cisco 1900:**
对于接入和企业路由器来说速度足够了 (不用于地区和骨干网)



经一个互联网络交换

- 克服总线带宽限制，并行转发
- 非阻塞式交换
- **Banyan**网络以及其他互联网络,最初开发是为了连接处理器从而构成多处理器系统
- **Cisco 12000**:通过内部互连网络,提供**60 Gbps** 的传输速率
- 高级设计趋势: **IP**数据报分割成固定长度信元,通过互连网络来交换信元.

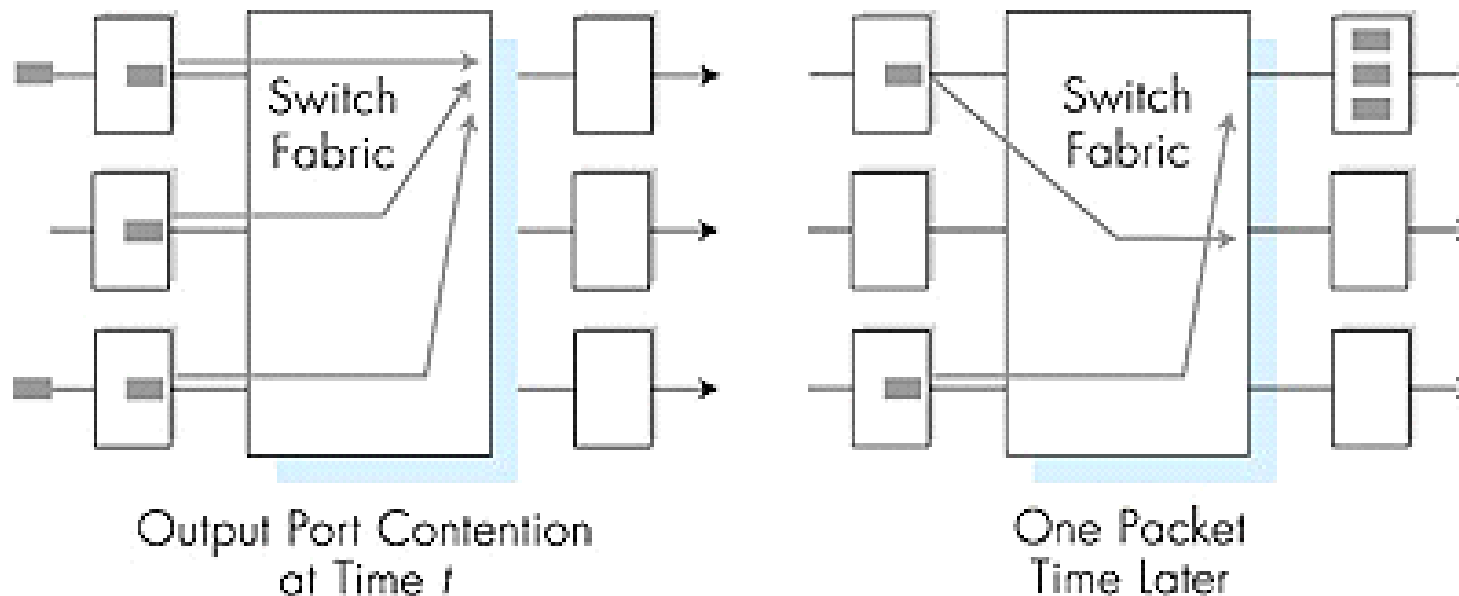
4.2.3输出端口



- **缓存:** 当分组从交换结构到达的速率快于输出链路速率时,需要缓存
- **调度原则** 在等待传输的排队分组中进行选择
 - 先到先服务FCFS, 加权公平排队WFQ
 - 抛弃原则: 弃尾 (drop-tail), 主动队列管理 (AQM), 随机早期检测 (RED)

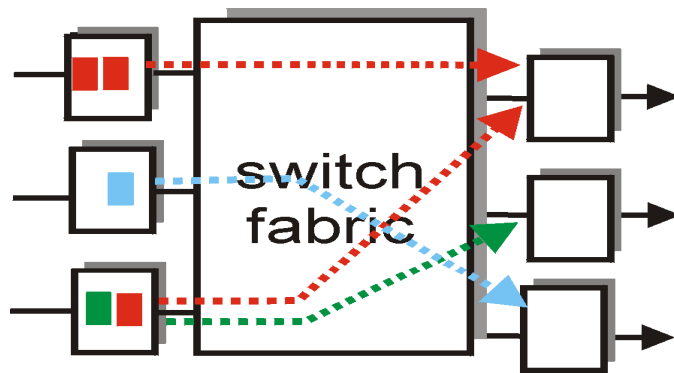
4.2.4 分组何处排队

- 输出端口排队
- 当分组从交换结构到达的速率快于输出链路速率时,需要缓存
- 排队造成延迟, 输出端口缓冲区溢出时引起分组丢失

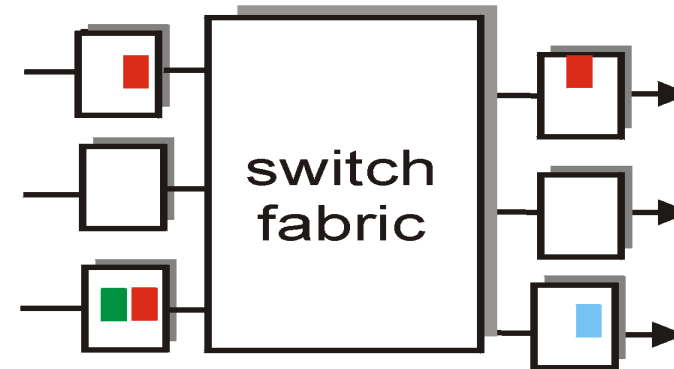


输入端口排队

- 当交换速度比所有输入端口的综合速度慢时 -> 输入端口产生排队
- 线头阻塞**Head-of-the-Line (HOL) blocking**:排在队列前面的分组阻止队列中其他的分组向前移动
- 排队产生延迟, 缓存溢出将引起分组丢失!



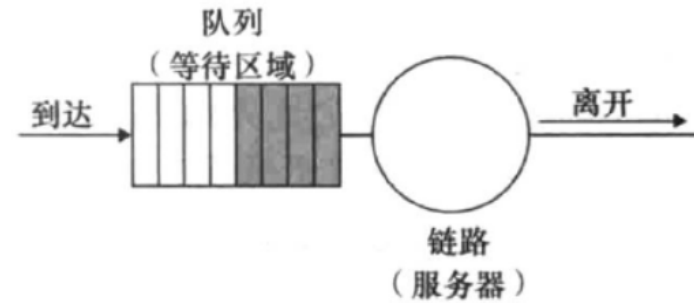
output port contention
at time t - only one red
packet can be transferred



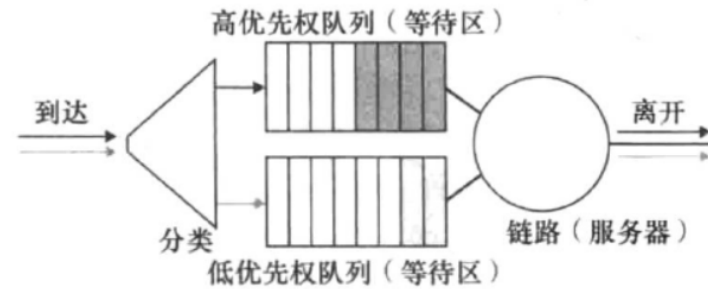
green packet
experiences HOL blocking

4.2.5 分组调度

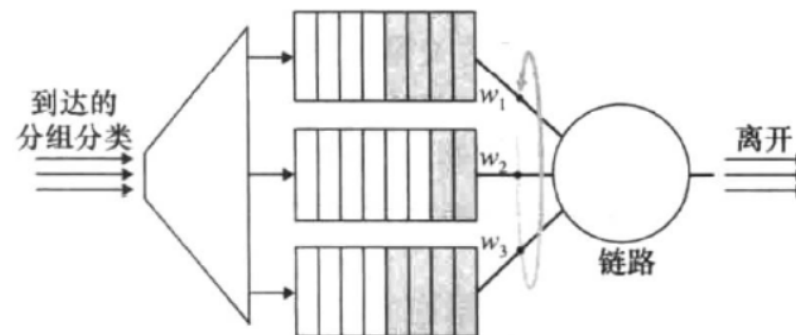
- 先进先出FIFO



- 优先权排队



- 循环加权公平排队

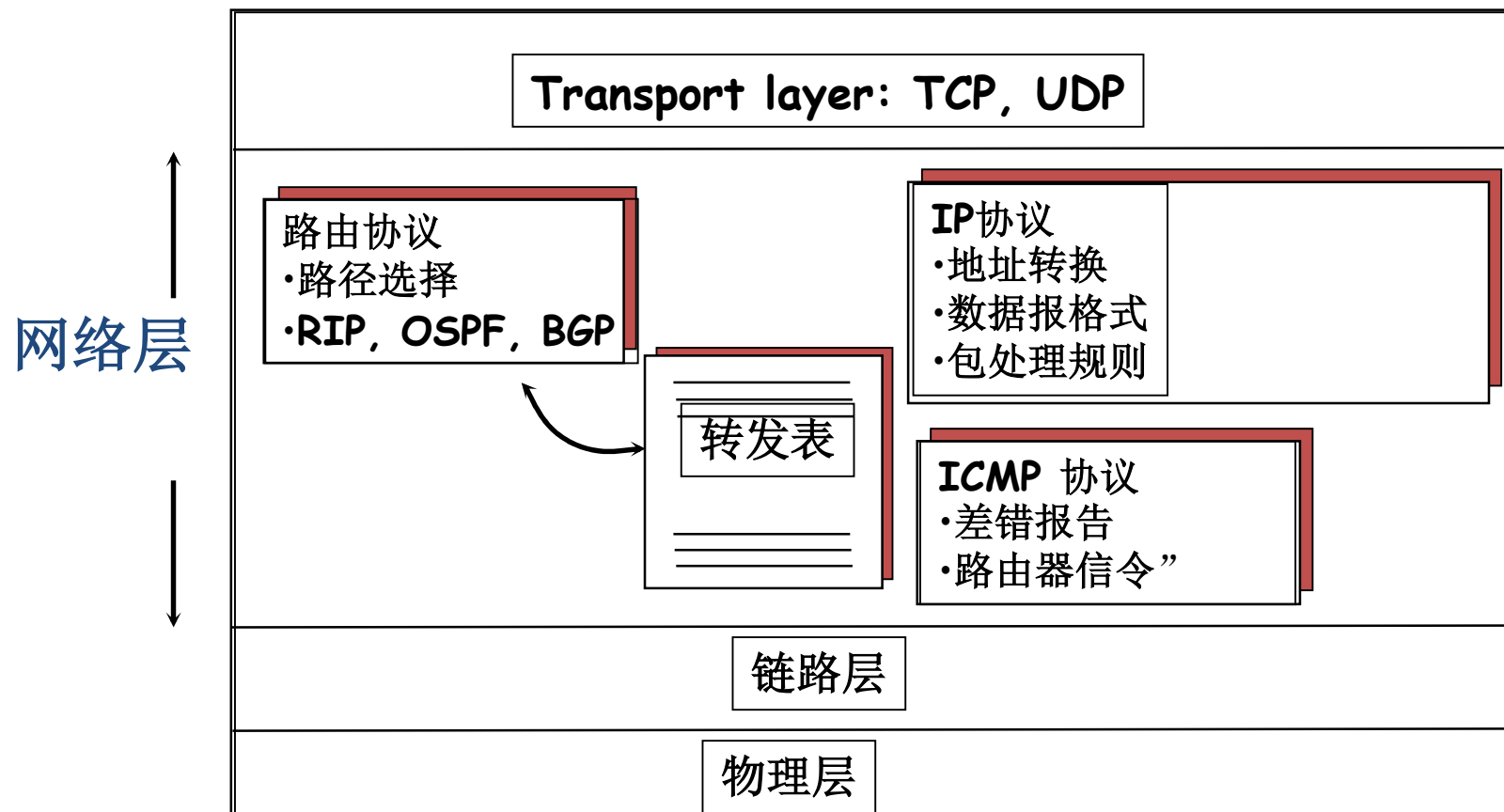


第四章: 网络层

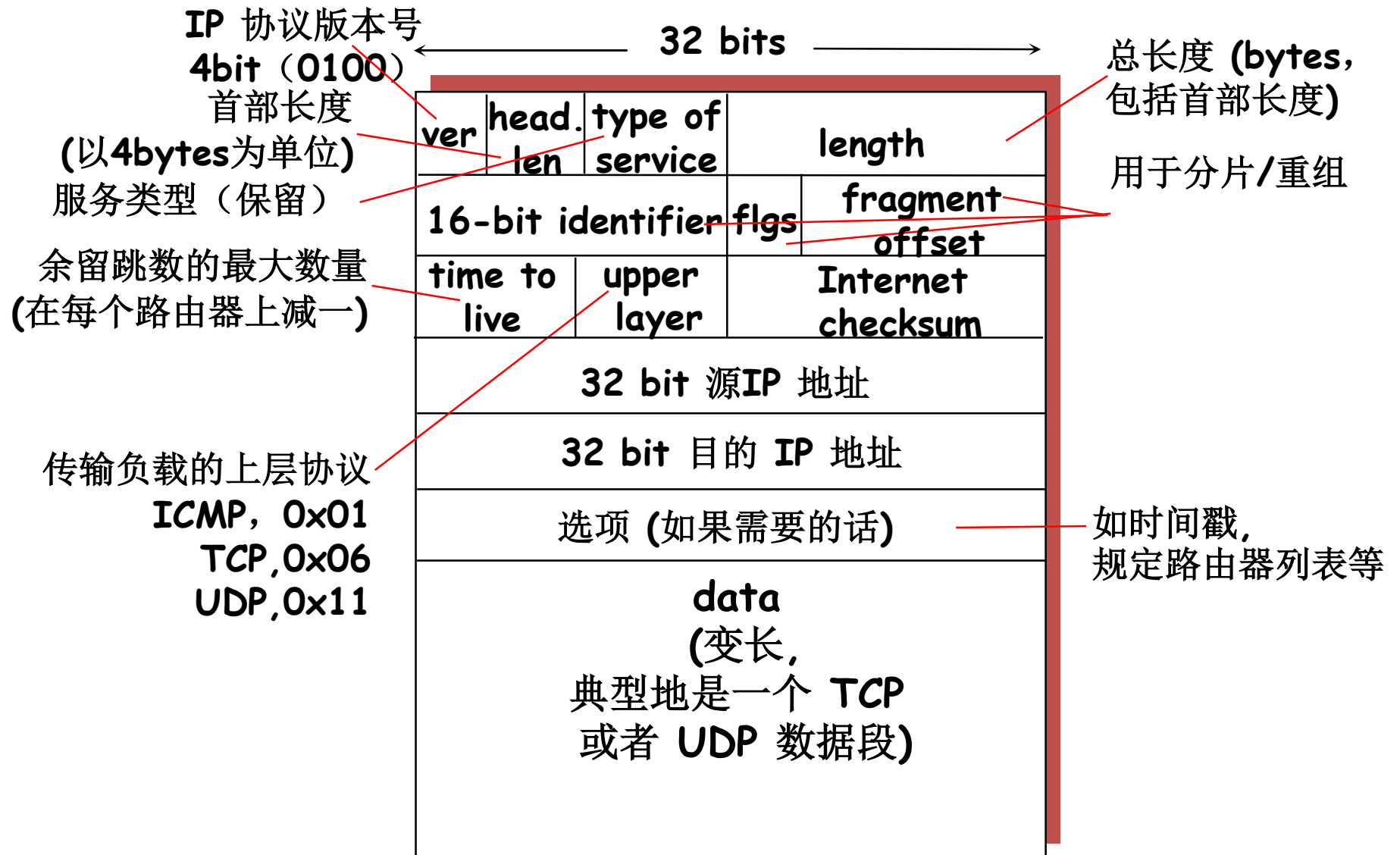
- 4.1 概述
- 4.2 路由器工作原理
- 4.3 网际协议
 - IPv4数据报格式
 - IPv4数据报分片
 - IPv4 编址
 - 网络地址转换
 - IPv6

Internet网络层

主机，路由器网络层功能：

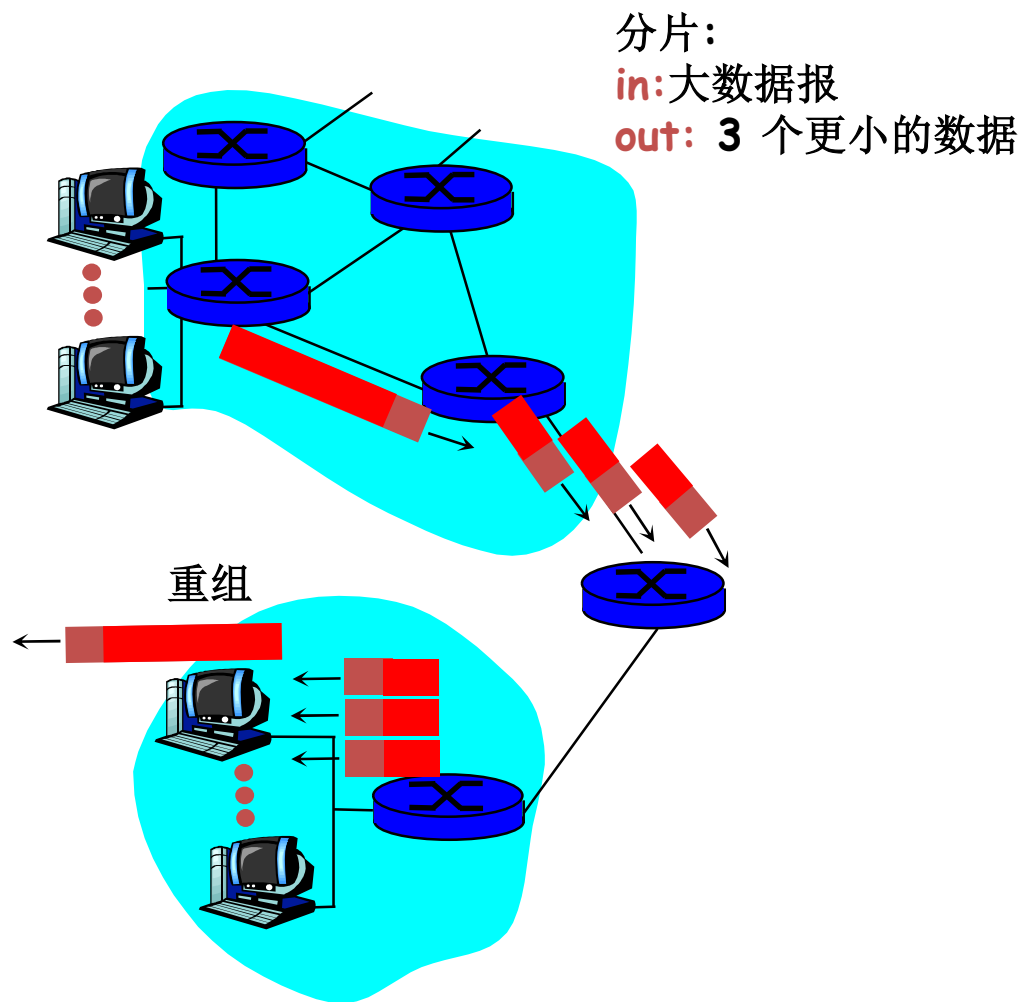


4.3.1 IP 数据报格式



4.3.2 IP 数据报分片

- 网络链路有 **MTU** (最大传输单元) - 链路层能承载的最大数据量
 - 不同的链路类型有不同的 **MTUs**
- 大的 **IP** 数据报在网络中被划分 (“分片”)
 - 一个数据报变成几个数据报
 - “重组” 只能在最后目的地
 - **IP** 首部的一些 **bit** 用于标识和保证分片的顺序



IP 数据报分片和重组

Example

4000 byte 数据报

MTU = 1500 bytes

其中数据域长
度1480 bytes

偏移量 =
 $1480/8$

	length	ID	fragflag	offset
	=4000	=x	=0	=0

一个大的数据报被分成三个小的数据报

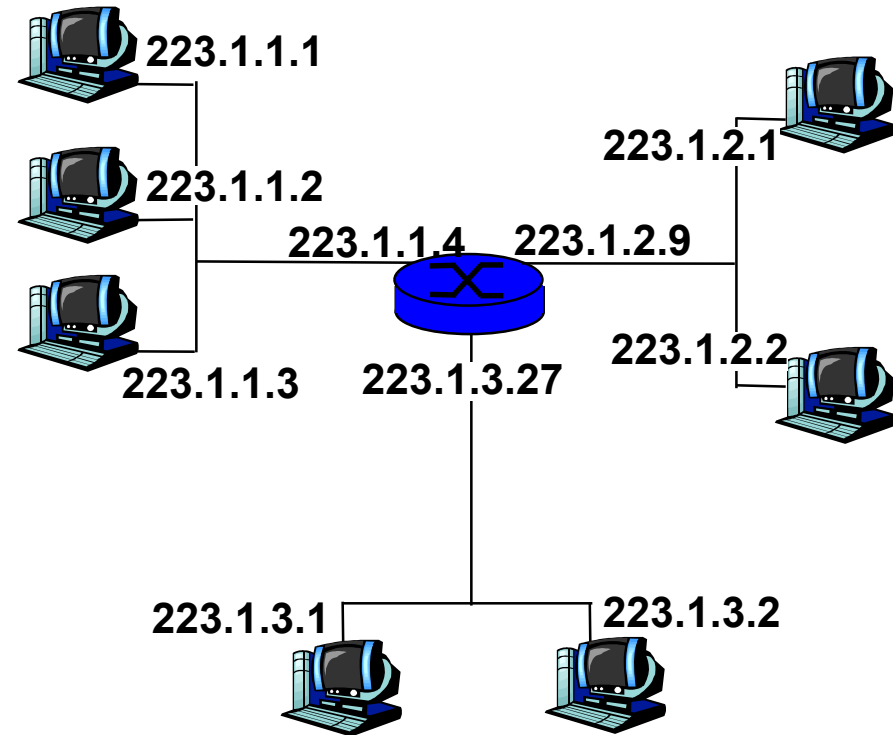
	length	ID	fragflag	offset
	=1500	=x	=1	=0

	length	ID	fragflag	offset
	=1500	=x	=1	=185

	Length	ID	fragflag	offset
	=1040	=x	=0	=370

4.3.3 IP 编址

- **IP 地址:** 分配给主机或路由器接口的**32-bit** 标识符
- **接口:** 主机/路由器与物理链路之间的边界
 - 路由器有多个接口
 - 主机可以有多个接口
 - 每个接口有一个IP地址



$$223.1.1.1 = \underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1$$

子网

- IP 地址不是平面地址

32bit

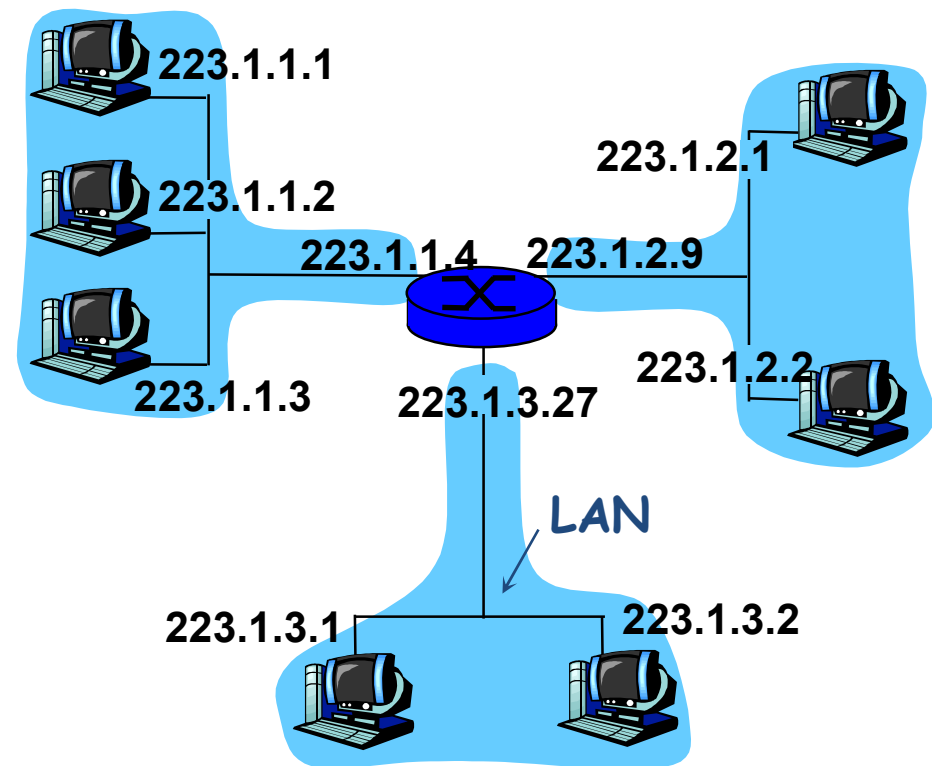
高位bit (子网号、网络号、网络地址、前缀)	低位bit (主机号)

- 子网部分 (高位 bits)
- 主机部分 (低位 bits)
- 子网号、网络号、网络地址、网络前缀

- 什么是一个子网?

(从IP地址的观点来看)

- 设备接口的IP地址具有同样的网络部分
- 没有路由器的介入, 物理上能够相互到达

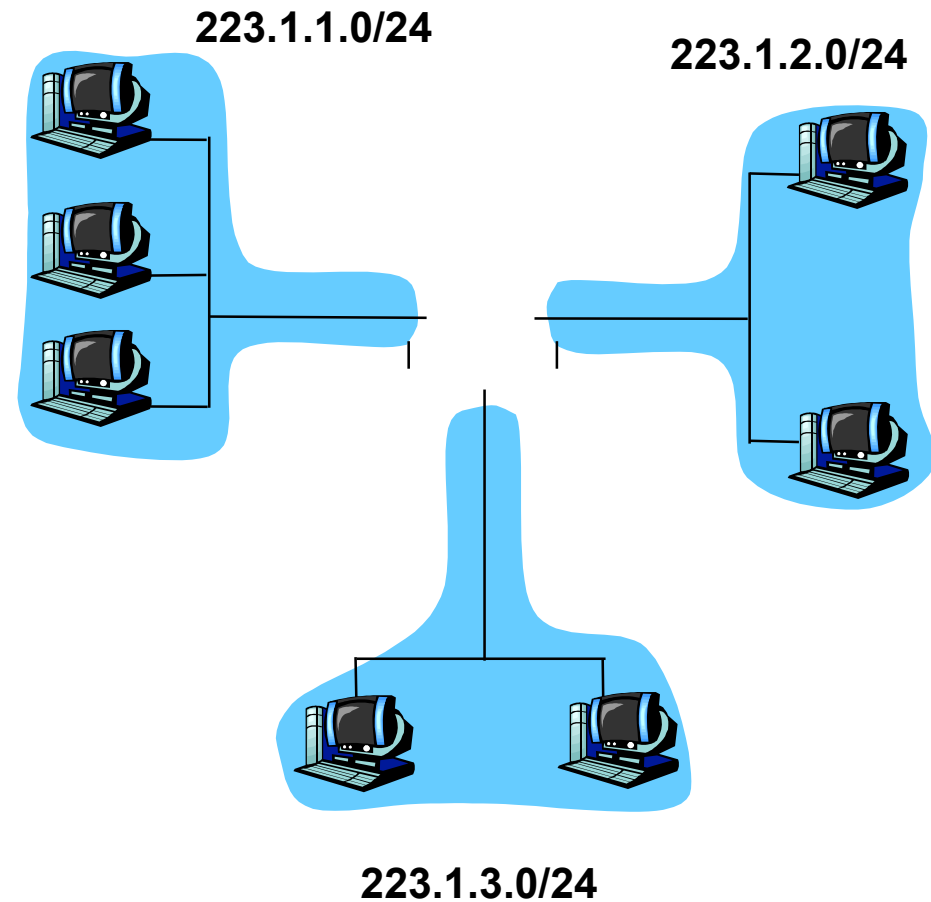


网络包含3个子网

子网

定义

- 为了确定子网，分开主机和路由器的每个接口，从而产生了几个分离的网络岛，这些独立网络中的每一个叫做一个子网(subnet).
- 子网掩码：子网部分高位bit为1



子网掩码：/24
255.255.255.0

子网掩码

子网掩码的功能：给定IP地址和子网掩码，获得该IP地址主机所在的网络地址（或网络号）

IP 地址

223.	1	.	3	.	10
------	---	---	---	---	----

逐位进行 AND 运算

网络号

主机号

子网掩码

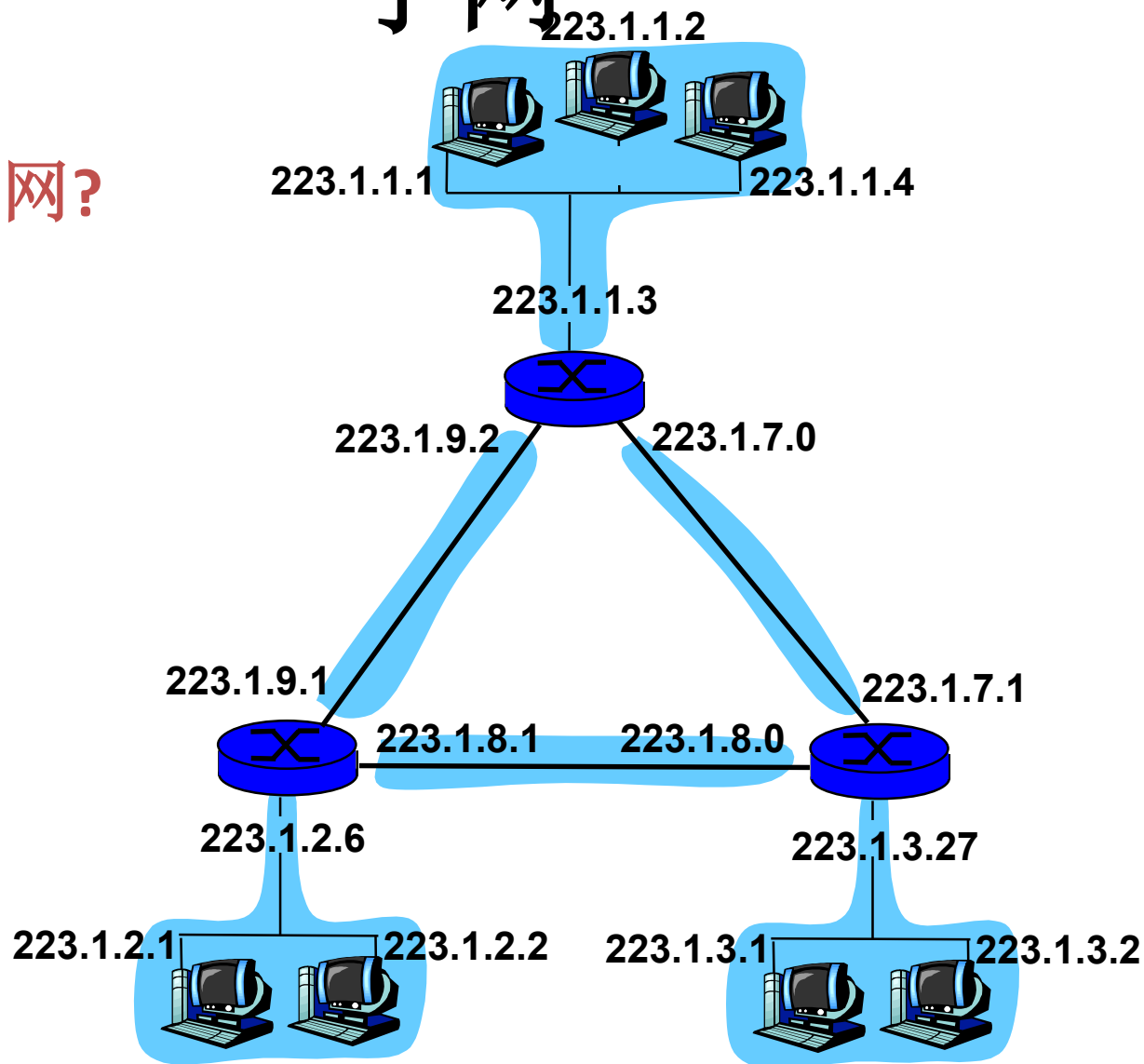
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 | 1 1 1 1 1 1 1 1 | 0 0 0 0 0 0 0 0

子网的网络地址

223	.	1	.	3	0
-----	---	---	---	---	---

子网

右图中有多少个子网?



分类IP地址和子网掩码

[illegible]

分类IP 地址

IP 地址的使用范围

网络类别	最大网络数	第一个可用的网络号	最后一个可用的网络号	每个网络中最大的主机数
A	126 ($2^7 - 2$)	1	126	16,777,214
B	16,383($2^{14} \square 1$)	128.1	191.255	65,534
C	2,097,151 ($2^{21} \square 1$)	192.0.1	223.255.255	254

IP 寻址: CIDR—— 无类别域际路由选择

- 分类编址:
 - 地址空间没有有效使用, 地址空间枯竭
 - 例如., B类地址分配的地址足够65K主机使用, 即使只有2K主机在网络中

CIDR: Classless InterDomain Routing

- 地址中的网络部分可以任意长
- 地址格式: **a.b.c.d/x**, 这里 **x** 是地址网络部分的bit数(前缀)



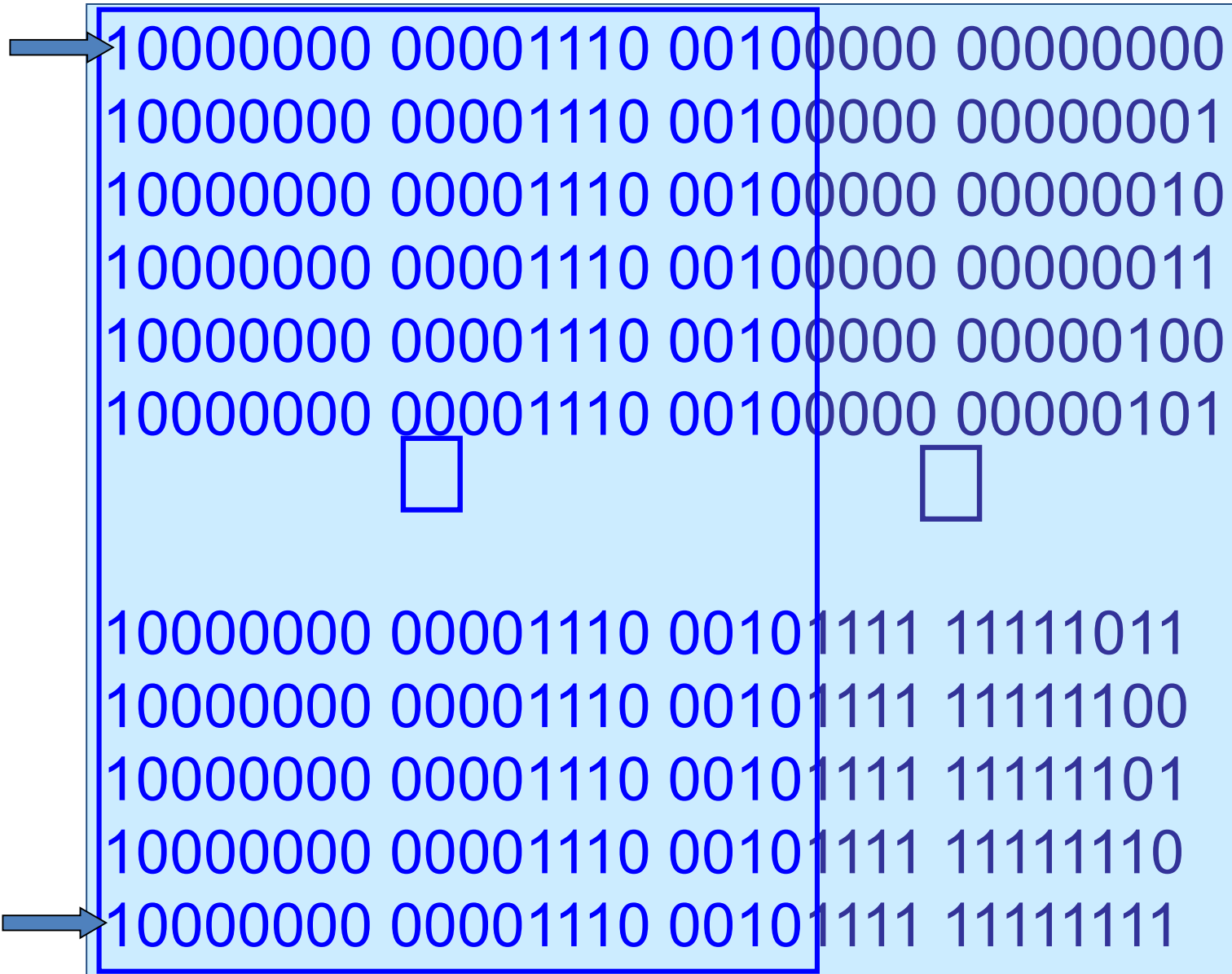
200.23.16.0/23

CIDR 地址块

- 128.14.32.0/20 表示的地址块共有 2^{12} 个地址（因为斜线后面的 20 是网络前缀的位数，所以这个地址的主机号是 12 位）。
- 这个地址块的起始地址是 128.14.32.0。
- 在不需要指出地址块的起始地址时，也可将这样的地址块简称为“/20 地址块”。
- 128.14.32.0/20 地址块的最小地址：128.14.32.0
- 128.14.32.0/20 地址块的最大地址：128.14.47.255
- 全 0 和全 1 的主机号地址一般不使用。

128.14.32.0/20 表示的地址 (2^{12} 个地址)

最小地址



所有地址
的 20 位
前缀都是
一样的

最大地址

IP地址: 怎样获取?

问: 主机如何得到IP地址?

- 由系统管理员指定（保存在一个配置文件中）
 - Windows: 控制面板->网络->配置->tcp/ip->属性
 - UNIX: /etc/rc.config
- **DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol:**
自动从一个DHCP服务器得到IP地址
 - “即插即用”(更加简洁)

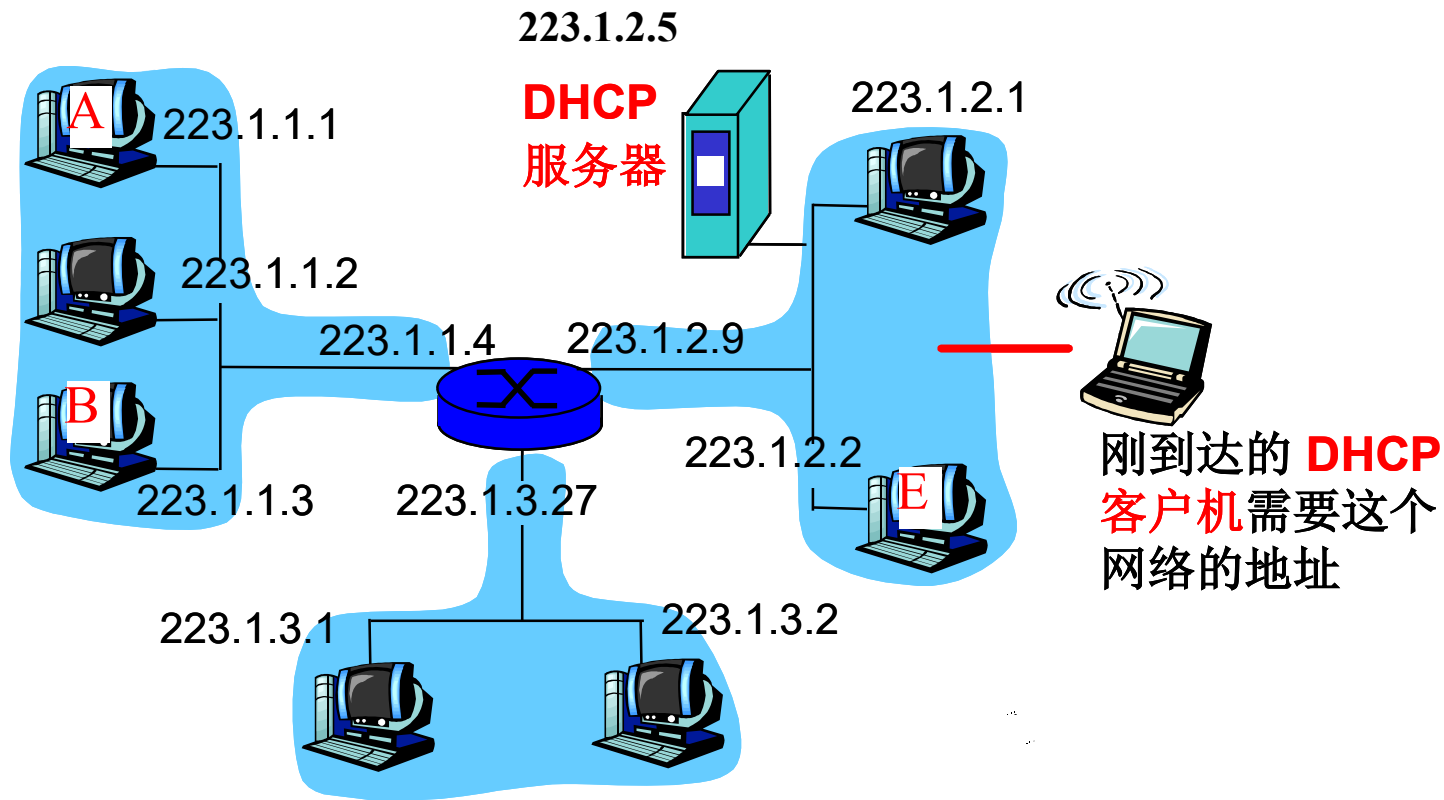
DHCP: 动态主机配置协议

目标: 允许主机在加入网络时从网络服务器动态得到IP地址
能够在使用时续借地址租用
允许重用地址 (只是连接时拥有地址)
支持准备加入网络的移动用户 (更简单)

DHCP 概述:

- 主机广播 “**DHCP discover**” 消息
- DHCP 服务器用 “**DHCP offer**” 消息响应
- 主机请求IP地址: “**DHCP request**” 消息
- DHCP 服务器发送地址: “**DHCP ack**” 消息

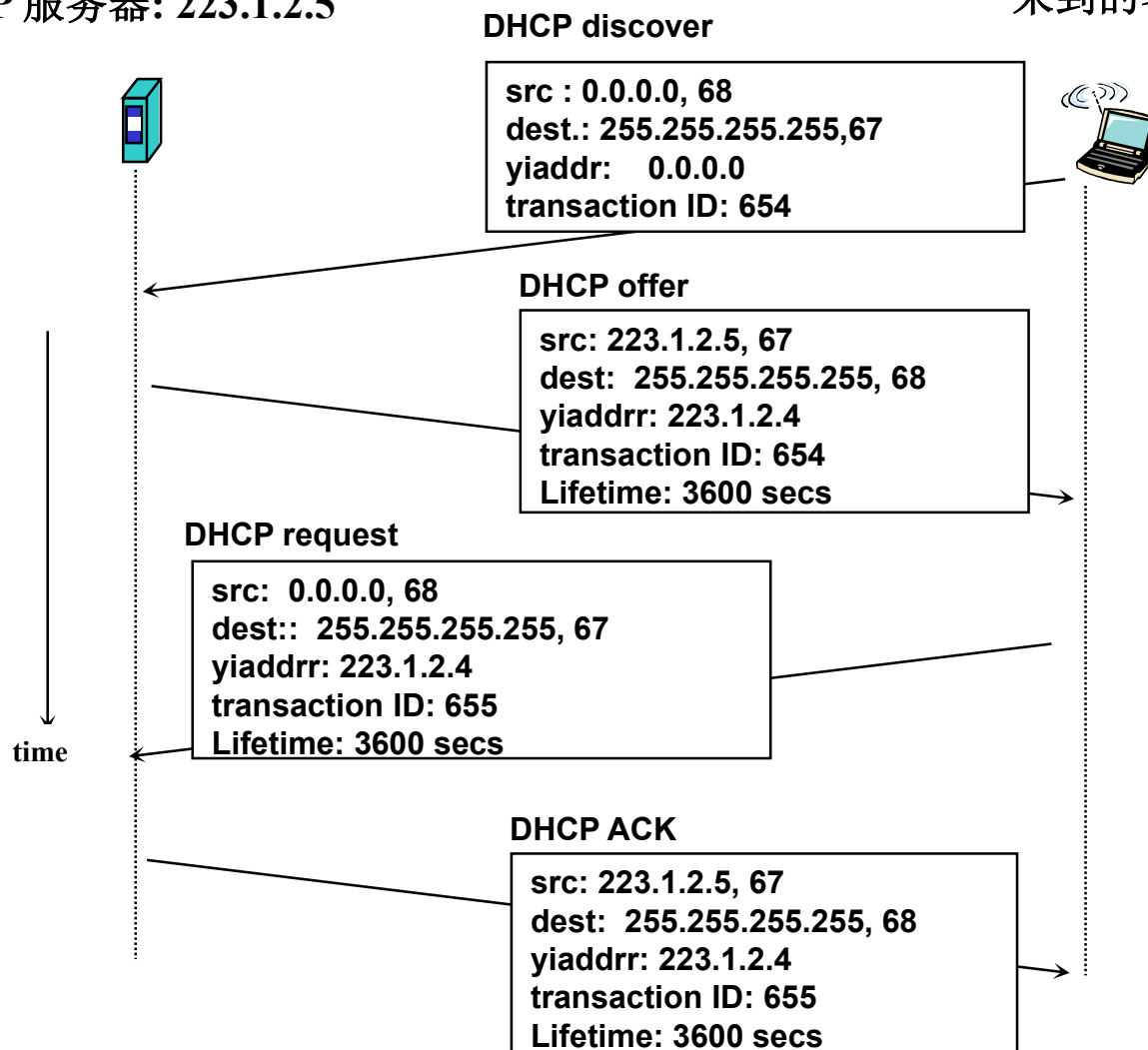
DHCP 客户服务器协议



DHCP客户服务器协议

DHCP 服务器: 223.1.2.5

来的客户



IP 地址: 如何获取?

Q: 怎样获取IP地址中的网络号部分?

A: 从ISP的地址空间中划分一块给申请者

ISP's block	<u>11001000 00010111 00010000</u> 00000000	200.23.16.0/20
Organization 0	<u>11001000 00010111 00010000</u> 00000000	200.23.16.0/23
Organization 1	<u>11001000 00010111 00010010</u> 00000000	200.23.18.0/23
Organization 2	<u>11001000 00010111 00010100</u> 00000000	200.23.20.0/23
...
Organization 7	<u>11001000 00010111 00011110</u> 00000000	200.23.30.0/23

CIDR地址划分

Q: 给定一个CIDR地址块，划分为同等大小的网络

例：将**163.135.16.0/20**划分为**16**个相同大小的子网



网络号**20bit**，主机号**12bit**，需要向主机号借若干bit构成新的子网号

$2^4=16$ ，**16**个子网用**4bit**编号，因此需借用**4bit**的主机号，从而构成**24bit**的子网号



第1个子网ID: **163.135.16.0/24**，第1个可用IP地址**163.135.16.1**，最大可用IP**163.135.16.254**，广播地址**163.135.16.255**

最后一个子网ID: **163.135.31.0/24**，第1个可用IP地址**163.135.31.1**，最大可用IP**163.135.31.254**，广播地址**163.135.31.255**

Q: 给定一个CIDR地址块，划分为不同大小的网络

例：一公司有IP地址块**192.77.34.0/23**，有4个部门分别有各自网络，其中**N1**有**120**台主机，**N2**有**200**台主机，**N3**有**40**台主机，**N4**有**60**台主机，试分配地址(从大到小一次分配)



1.N2有200 ($<2^8$) 台主机，主机需要8bit编号，故网络号bit为 $32-8=24$ ，需借用1bit



N2子网ID: **192.77.34.0/24**，第1个可用IP地址**192.77.34.1**，最大可用IP**192.77.34.254**，广播地址**192.77.34.255**

2.N1有120 ($<2^7$) 台主机，主机需要7bit编号，故网络号bit为 $32-7=25$ ，需借用2bit



N1子网ID: **192.77.35.0/25**，第1个可用IP地址**192.77.35.1**，最大可用IP**192.77.35.126**，广播地址**192.77.35.127**

3.N4有60 ($<2^6$) 台主机，主机需要6bit编号，故网络号bit为32-6=26，需借用3bit



N4子网ID: 192.77.35.128/26，第1个可用IP地址192.77.35.129，最大可用IP 192.77.35.190，广播地址192.77.35.191

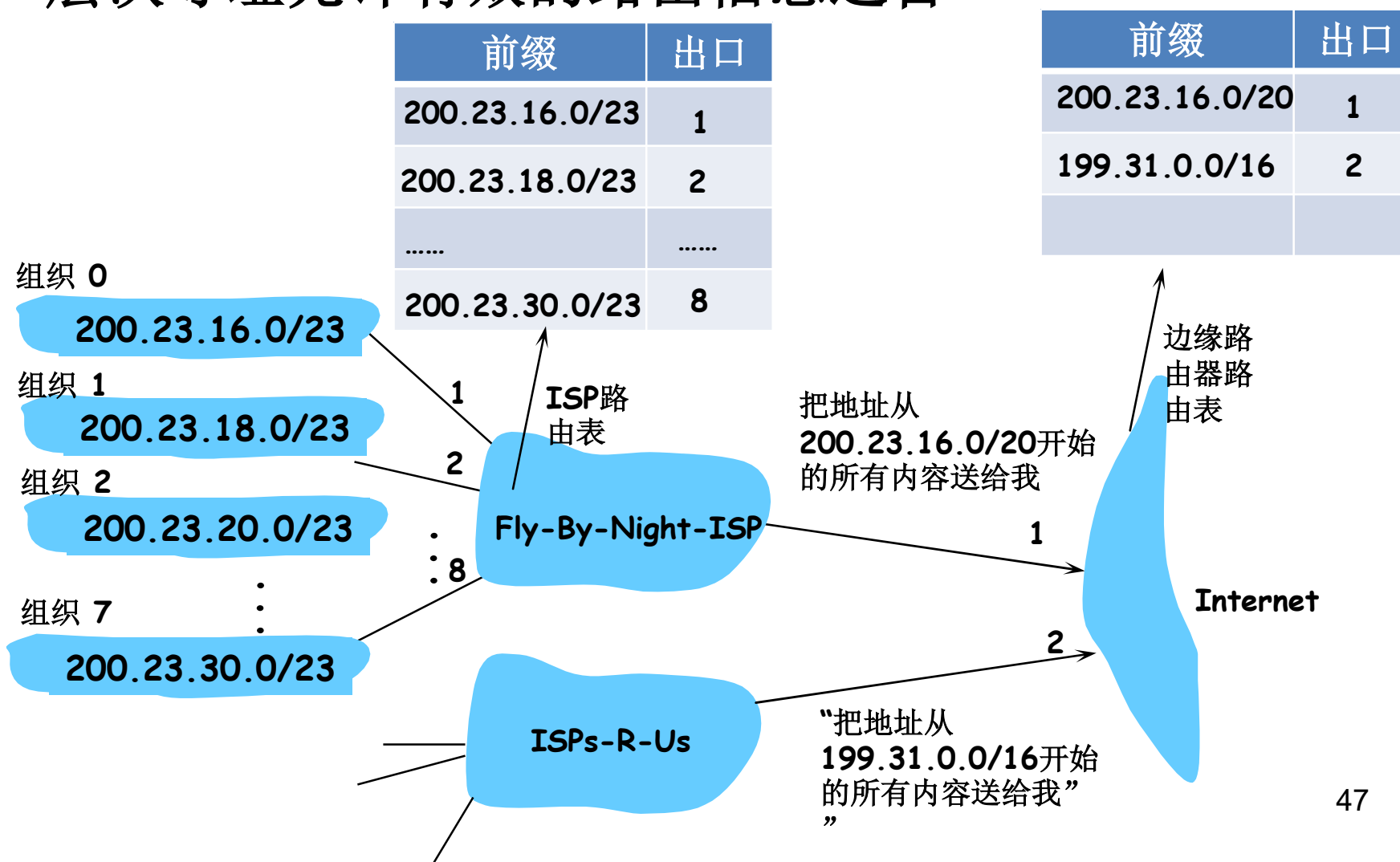
4.N3有40 ($<2^6$) 台主机，主机需要6bit编号，故网络号bit为32-6=26，需借用3bit



N3子网ID: 192.77.35.192/26，第1个可用IP地址192.77.35.193，最大可用IP 192.77.35.254，广播地址192.77.35.255

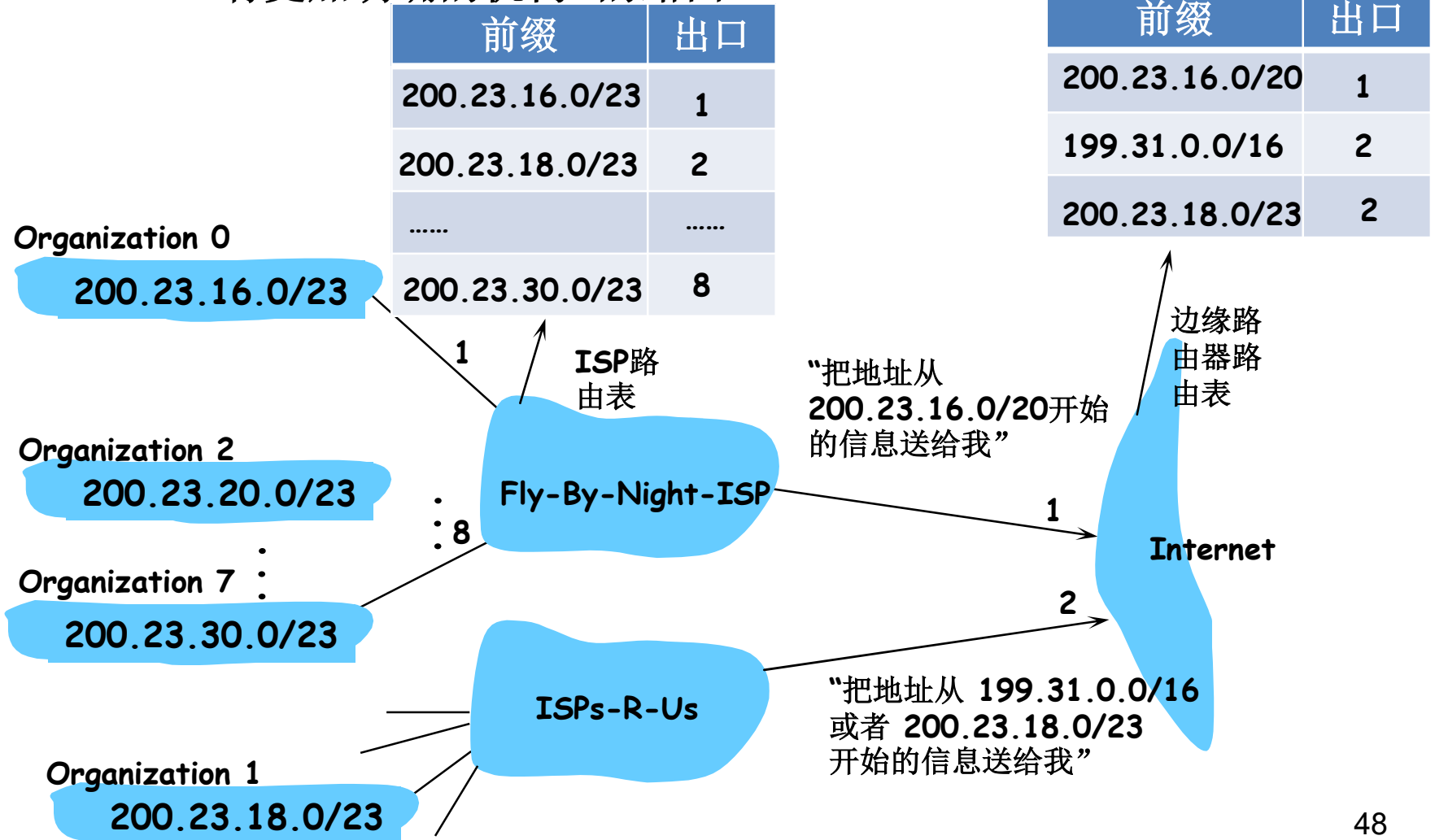
层次寻址: 路由聚合

层次寻址允许有效的路由信息通告::



层次寻址: 更加具体的路由

ISPs-R-Us 有更加明确的机构1的路由



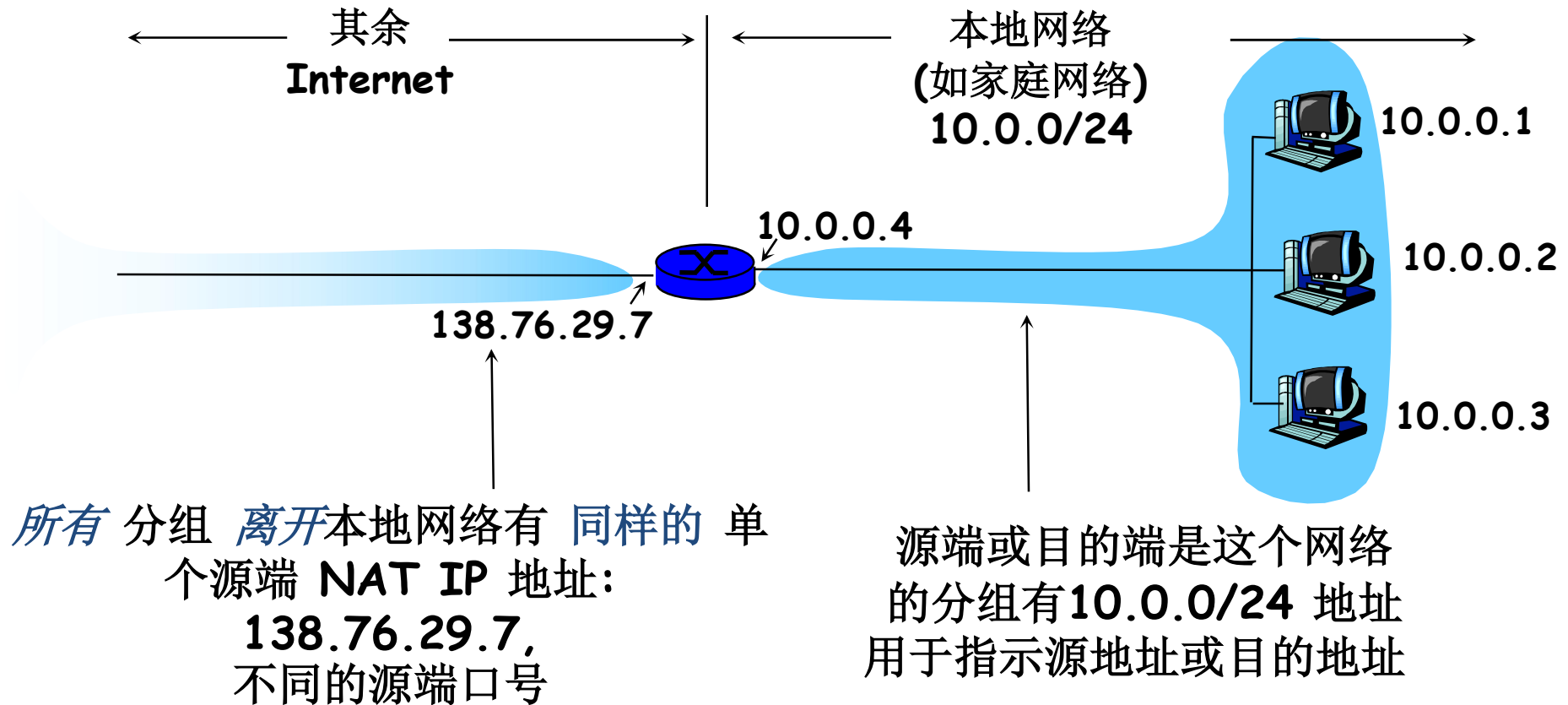
IP 寻址: 最后...

Q: ISP如何得到一块地址?

A: ICANN: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers

- 分配地址
- 管理 **DNS**
- 分配域名, 解决域名纷争

4.3.4 NAT: 网络地址转换



NAT: 网络地址转换

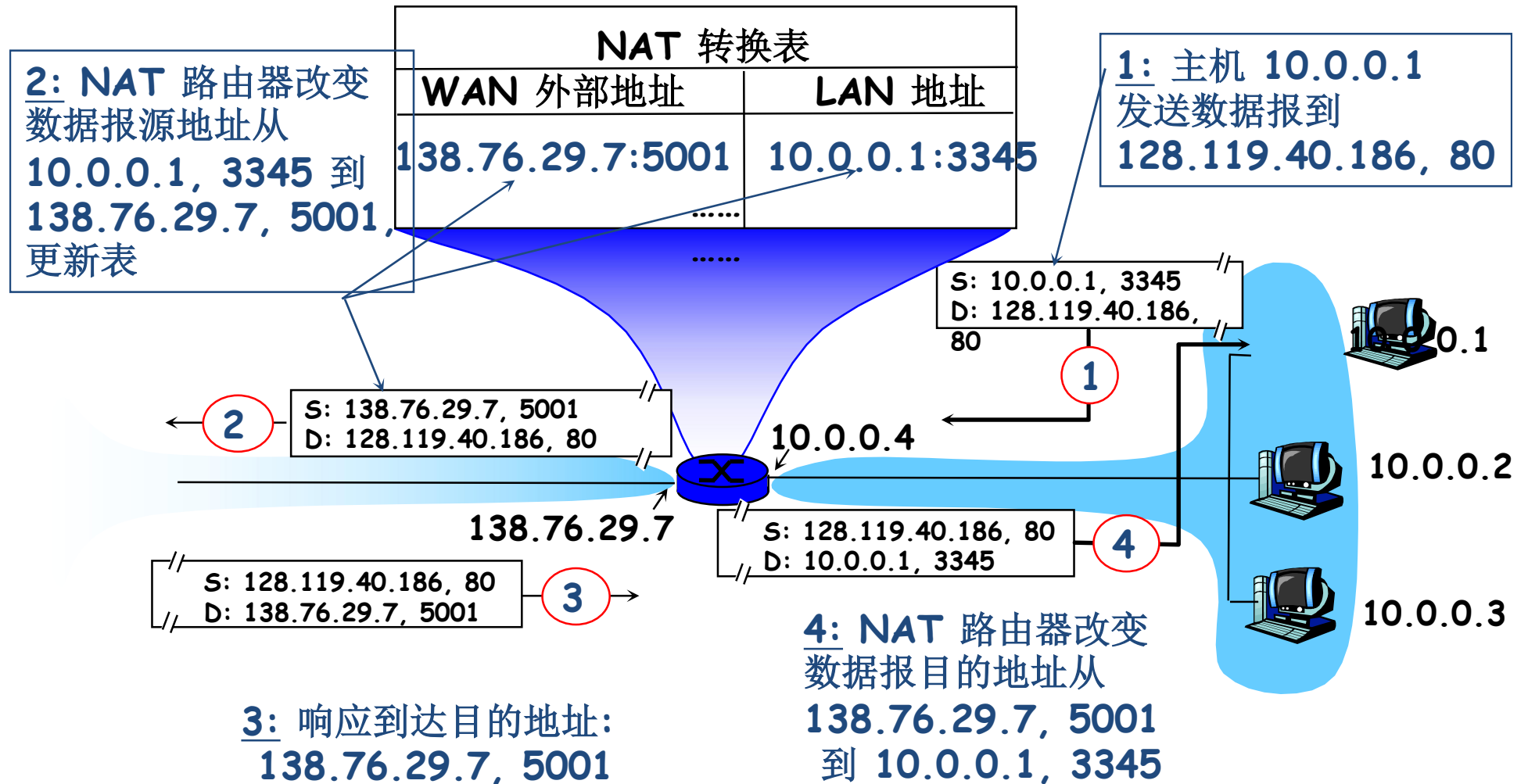
- **动机:** 对外部网络来讲, 本地网络只用一个**IP**地址:
 - 不需要从 **ISP** 分配一系列地址—— 只要一个**IP**地址用于所有设备
 - 在本地网络改变设备的**IP**地址不用通知外部世界
 - 可以变更 **ISP** 而不用改变本地网络的设备的地址
 - 本地网络内部设备不能被外部世界明确寻址,或是不可见 (增加了安全性).

NAT: 网络地址转换

执行: NAT 路由器必须做到:

- 外出的分组: 替换每个外出的分组的(源IP 地址, 端口号) 为 (NAT IP 地址, 新端口号)
远程客户/服务器用(NAT IP地址, 新端口号)作为目的地来响应。
- 记住(在NAT转换表中) 每个(源IP 地址, 端口号)到 (NAT IP 地址, 新端口号) 转换配对
- 进来的分组: 对每个进来的分组, 用保存在NAT表中的对应的(源IP 地址, 端口号) 替换分组中的目的域(NAT IP 地址, 新端口号)

NAT: 网络地址转换



NAT:网络地址转换

- **16-bit 端口号:**
 - 一个局域网地址可以同时支持**60,000** 个并发连接!
- **NAT 存在争议**
 - 路由器只应该处理到第三层
 - 违反了端到端主张
 - 应用程序设计者在设计时不得不将**NAT**加以考虑
如**P2P**应用程序
 - 应使用**IPv6**来解决地址短缺问题

4.3.5 IPv6

- **初始动机: 32-bit 地址空间即将用尽。**
- **其他动机:**
 - 首部格式可帮助加速处理/转发
 - 改变首部利于QoS要求

IPv6 数据报格式

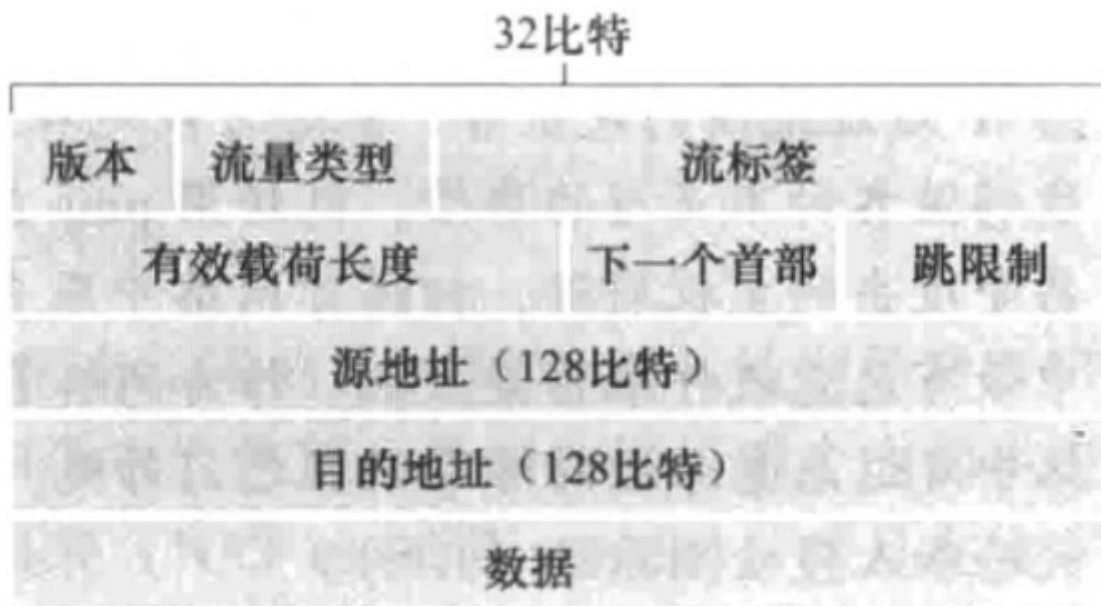
- 固定长度的 **40** 字节首部

IPv6 首部

优先级: 表示流中分组的优先级

流标识: 表示分组在同一个“流.”中

下一个首部: 表示数据的上层协议



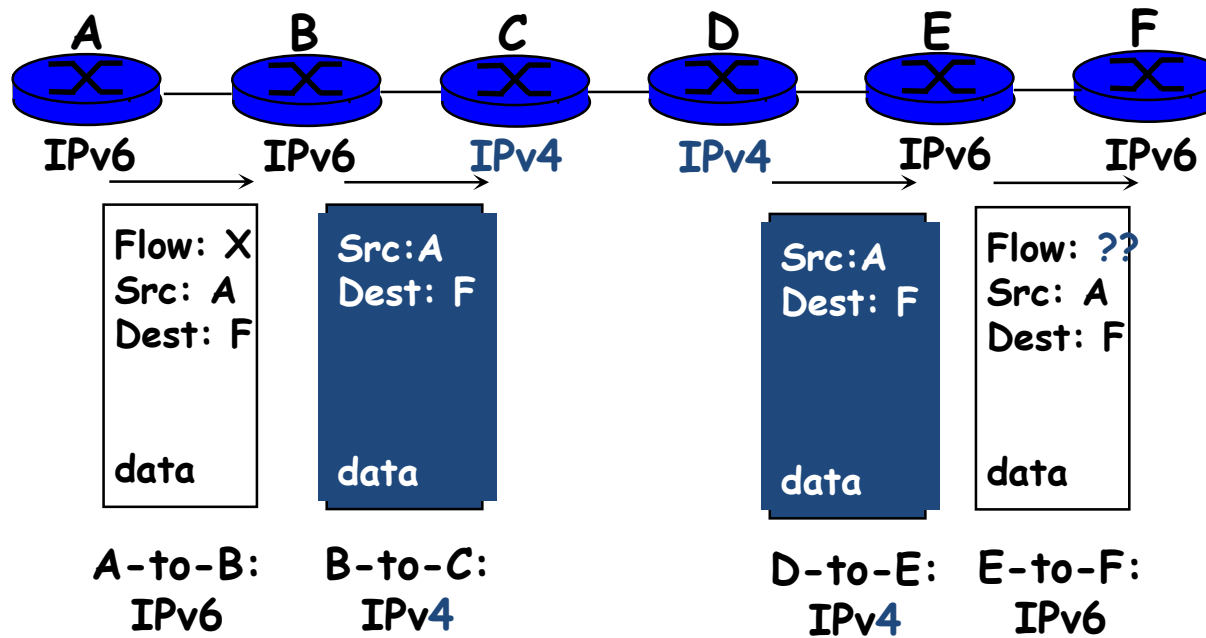
与IPv4的其它不同

- 分片/重组: 不允许分片
- 校验和: 全部去掉, 减少每一跳的处理时间
- 选项: 允许, 但是不是标准首部的一部分, 而是用下一个首部域指出
- **ICMPv6**: 新版本的 ICMP
 - 增加消息类型, 例如. “分组太大”
 - 多播组管理功能

从 IPv4 到 IPv6过渡

- 并不是所有的路由器都能够同时升级
 - 没有 “标志日”
 - 同时有 IPv4 和 IPv6 路由器的网络如何工作?
- 两种推荐方法:
 - **双栈**: 一些路由器具有双重栈 (v6, v4) 能够在两种格式中转换
 - **隧道**: 在穿过IPv4路由器时, IPv6分组作为 IPv4 分组的负载

双栈方法

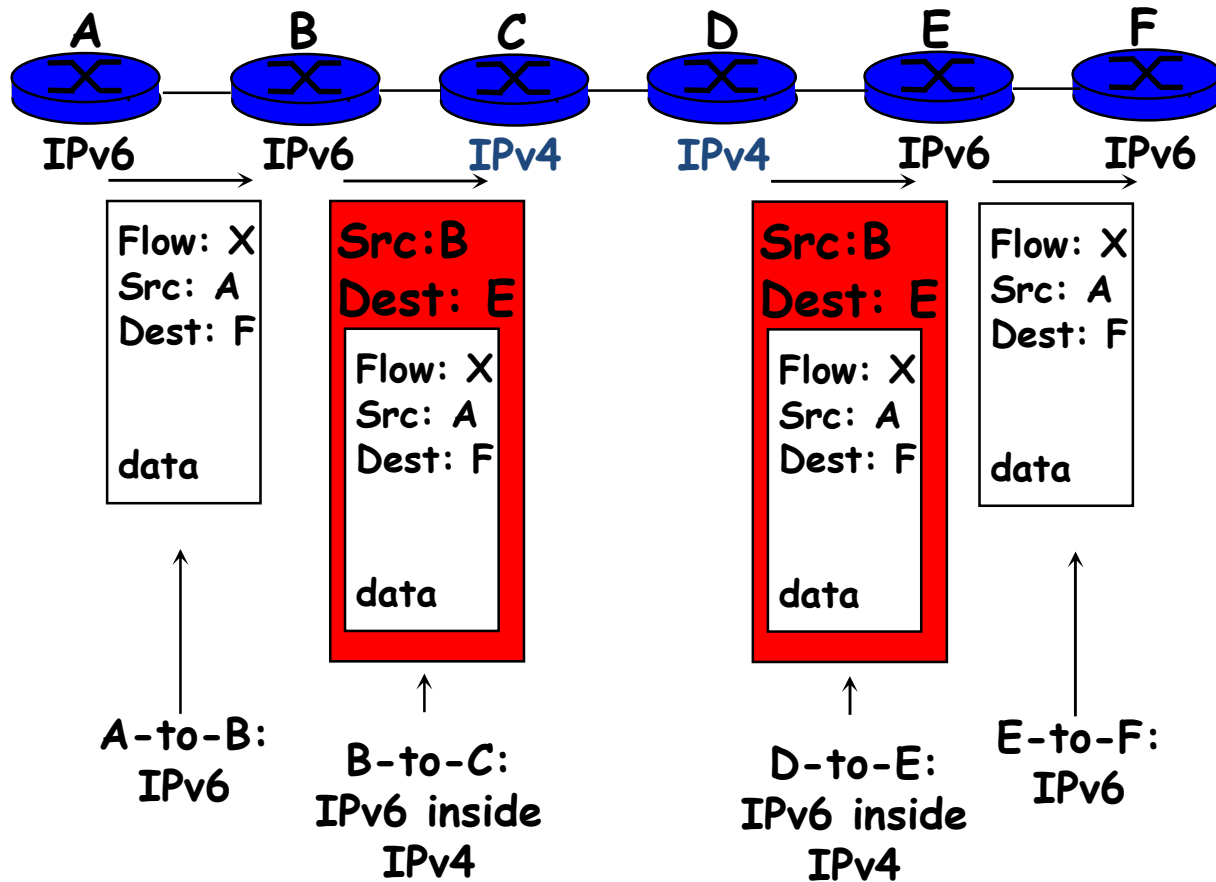


隧道

逻辑观点:



物理观点:



第4章 网络层

- 网络层：主机之间分组的传输
- 网络层功能
 - 转发
 - 选路
 - 连接建立（非互联网）
- 互联网网络层服务模型——尽力而为*
 - 不保证带宽、不保证分组是否丢失、不保证时延、分组失序
- 数据报网络——无连接服务*
 - 分组使用目的主机地址进行转发
 - 分组独立选路
 - 根据转发表，按**最长前缀匹配**原则选择输出链路
- 路由器工作原理
 - 输入端口、交换结构、输出端口、路由处理器
 - 交换结构：共享内存、总线交换、互联网络交换

- IP数据报格式

- IP的分片与重组*

- 分组途径链路的MTU可能不同
- 路由器进行分片，接收主机进行重组

	length	ID	fragflag	offset	
	=4000	=x	=0	=0	

- 若MTU=1500

一个大的数据报被分成三个小的数据报
offset以8字节为单位

	length	ID	fragflag	offset	data
	=1500	=x	=1	=0	1480 Bytes

	length	ID	fragflag	offset	data
	=1500	=x	=1	=185	1480 Bytes

	Length	ID	fragflag	offset	data
	=1040	=x	=0	=370	1020 Bytes

← 32 bits →				
ver	head. len	type of service	length	
16-bit identifier			flgs	fragment offset
time to live	upper layer		Internet checksum	
32 bit 源IP 地址				
32 bit 目的 IP 地址				
选项 (如果需要的话)				
data (变长, 典型地是一个 TCP 或者 UDP 数据段)				

IP寻址

- 32bit的主机标识符

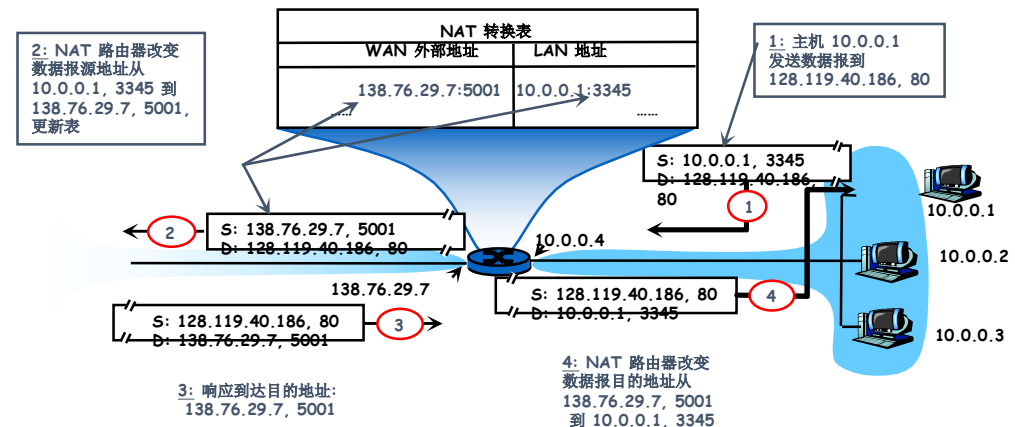


- 子网掩码：子网部分高位bit全1，和给定IP地址做AND运算可获得该IP地址所在网络号*

	A类地址	B类地址	C类地址	CIDR
网络号bit位数	8 (首位为0)	16 (前2位为 10)	24 (前3位为110)	X (非固定)
主机号bit数	24	16	8	32-x
每个网络包含主机数	$2^{24}-2$ (全0表示网络地址, 全1表示广播地址)	$2^{16}-2$	$2^8-2=254$	$2^{(32-x)}-2$
子网掩码	/8或255.0.0.0	/16或255.255.0.0	/24或255.255.255.0	/x 高x bit全1

- DHCP协议
 - UDP传输、DHCP服务器端口67，客户端端口68
 - 四次握手：DHCP Discover，DHCP Offer，DHCP Request，DHCP ACK

- *CIDR地址划分：网络号借用主机号若干bit构成新的网络号，借用bit位数根据新的网络包含的主机数而定——从最大网络开始依次分配
- CIDR路由聚合：多个具有相同前缀的网络能够聚合为一个更大前缀的网络
- *NAT网络地址转换：本地网络使用私有IP，共同使用NAT公有IP和外网通信
 - NAT转换表：(本地源IP地址，源端口号)和(NAT IP地址，新端口号)的映射
 - 破坏了端到端原则



IPv6

- 解决IPv4中地址不足的问题，固定首部格式、利于QoS要求

	地址长度	首部长度	校验和	分片	优先级	选项	ICMP
IPv4	32bit	20-60字节	有	允许	不支持	首部中直接支持	v4
IPv6	128bit	40字节	无，加快处理速度	不允许	支持	支持，下一首部字段指出	V6，增加消息类型，多播管理

- IPv4到IPv6的过渡
 - 双栈：路由器同时支持IPv4和IPv6协议，完成分组格式的转换
 - 隧道：IPv6分组作为负载封装在IPv4分组中在IPv4网络中传输

本章作业

- 习题： R10, R25, P5, P8, P14

涉及计算-IP分片

- 给出IP分组长度，链路MTU

	Len	ID=x	Flag=0	Offset	...	数据Data
--	-----	------	--------	--------	-----	--------

- 数据长度DataLen=分组长度Len-20（IP首部无选项）
- 分片长不超过MTU，其中分片包含的数据长度为len=MTU-20
- 则分片数量 $n = \text{DataLen} / (\text{MTU} - 20)$ ，**向上取整**，则分片首部信息为：

Length=MTU	ID=x	Flag=1	Offset=0	...	数据Data
------------	------	--------	----------	-----	--------

Length=MTU	ID=x	Flag=1	Offset=(MTU-20)/8	...	数据Data
------------	------	--------	-------------------	-----	--------

Length=Len-(n-1)(MTU-20)	ID=x	Flag=0	Offset=(n-1)*(MTU-20)/8	...	数据Data
--------------------------	------	--------	-------------------------	-----	--------

涉及计算-IP分片

- **Tips:** 分组的长度，MTU长度，分组或分片承载数据的长度

$$\text{MTU} = \text{MSS} + \text{TCP首部长} + \text{IP首部长} = \text{MSS} + 40$$

(不考虑首部的选项字段)

- 分片重组，反向推导

涉及计算-子网掩码

- 给出a.b.c.d/x的地址块，子网掩码为

网络部分（高x比特全1）

主机部分全0

- 例：子网掩码/25和255.255.255.128等价
- 给出IP地址，求该地址的网络地址/网络号/网络前缀
IP地址写成二进制形式与子网掩码进行与操作，网络地址需加上/x
- 给出若干主机的IP地址，判断各主机是否处于相同网络
根据各主机IP地址和子网掩码求网络地址，网络地址相同意味着处于同一网络，不同则位于不同网络，需要通过路由器通信

涉及计算-CIDR地址分配

- 给出a.b.c.d/x的地址块，等分成若干子网

网络部分（高x比特）	主机号（32-x）
------------	-----------

网络部分（高x比特）	借用y比特主机号	主机号（32-x-y）
------------	----------	-------------

- 借用y比特主机号，原地址块可划分为 2^y 个包含 $2^{(32-x-y)}$ 个IP的子网
- 例：x=23，原地址块512个IP地址，y=3，则源地址分成了8个64个IP的子网
X000 对应64个IP，X001对应64个IP...X111 对应64个IP地址

涉及计算-CIDR地址分配

- 给出a.b.c.d/x的地址块，分成不同大小的子网

网络部分（高x比特）	主机号（32-x）
------------	-----------

网络部分（高x比特）	借用y比特主机号	主机号（32-x-y）
------------	----------	-------------

- 根据题意获知各子网i所容纳的主机数 n_i ，确定给 n_i 台主机编址所需的最小比特数 k_i ， $n_i \leq 2^{k_i}$
- 则各子网的网络前缀比特数为 $32-k_i$
- 从子网从大到小依次分配，确定借用主机比特数 $y_i=32-x-k_i$ ，分配该子网所需地址块
- 注意：子网中全0，全1的地址不分配给主机，全0表示子网本身，全1表示本网络的广播地址