



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

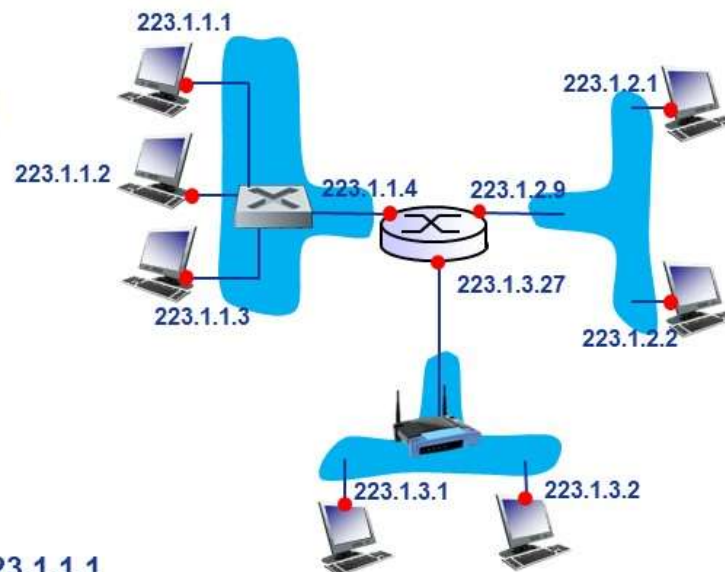
4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



IP编址(addressing)

- ❖ **IP地址: 32比特(IPv4)编号**
标识主机、路由器的**接口**
- ❖ **IP地址与每个接口关联**
- ❖ **接口(interface): 主机/路由器与物理链路的连接**
 - 路由器通常有多个接口
 - 主机通常只有一个或两个接口 (e.g. 有线的以太网接口, 无线的802.11接口)



$\underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_{1} \underbrace{00000001}_{1} \underbrace{00000001}_{1} = 223.1.1.1$



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



IP子网 (Subnets)

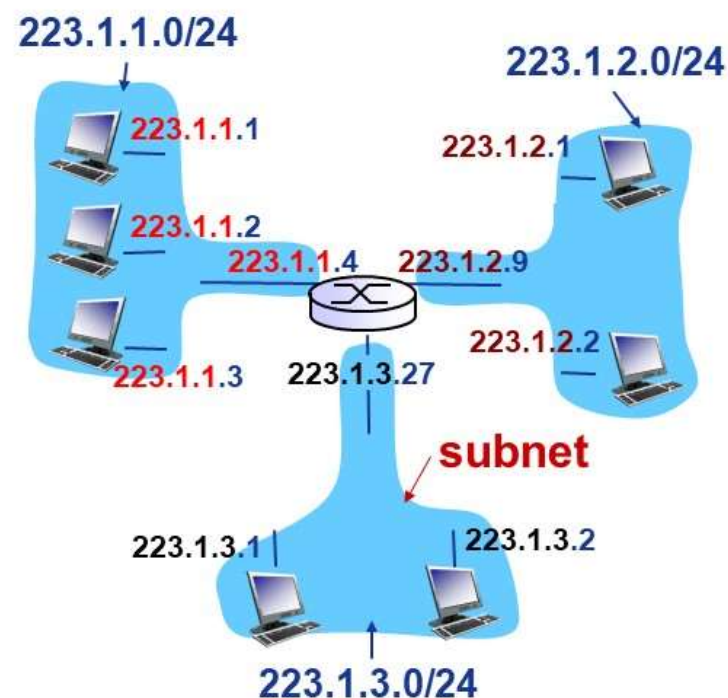
❖ IP地址:

- **网络号(NetID)** – 高位比特
- **主机号(HostID)** – 低位比特

NetID	HostID
-------	--------

❖ IP子网:

- IP地址具有相同网络号的设备接口
- **不跨越路由器** (第三及以上层网络设备) 可以**彼此物理联通**的接口





4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

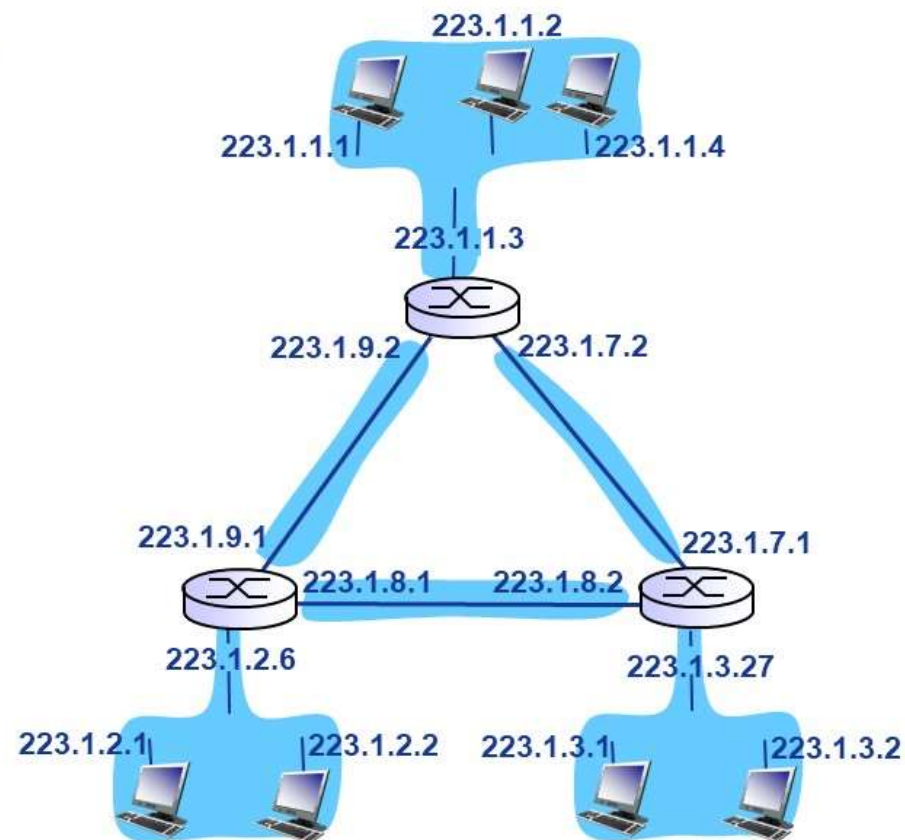
4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



IP子网 (Subnets)

图中网络有多少个IP子网?



141



IP地址(Addresses)

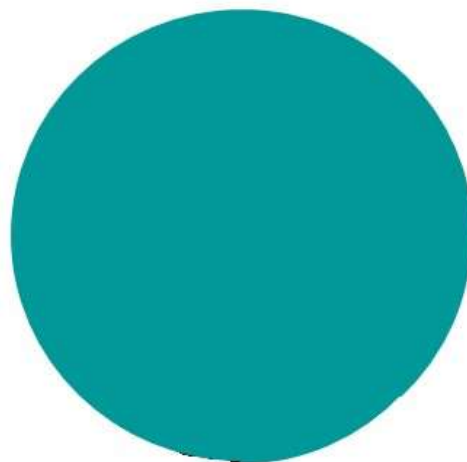
4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

“有类”编址：





4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

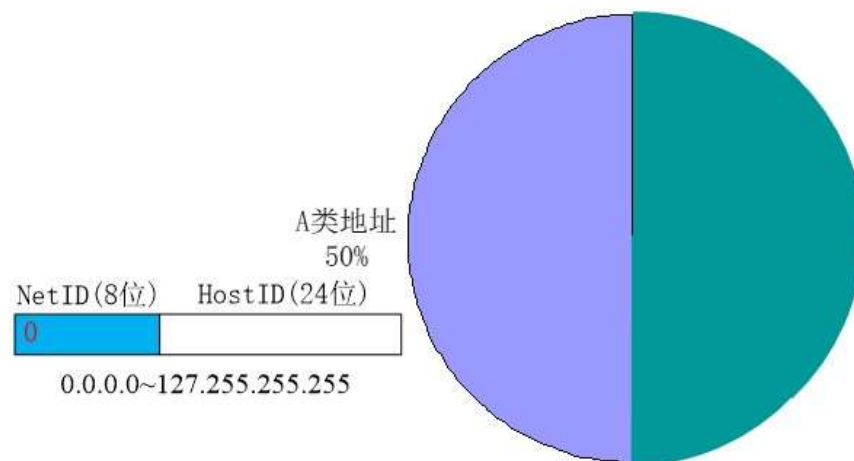
4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



IP地址(Addresses)

“有类”编址:





4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

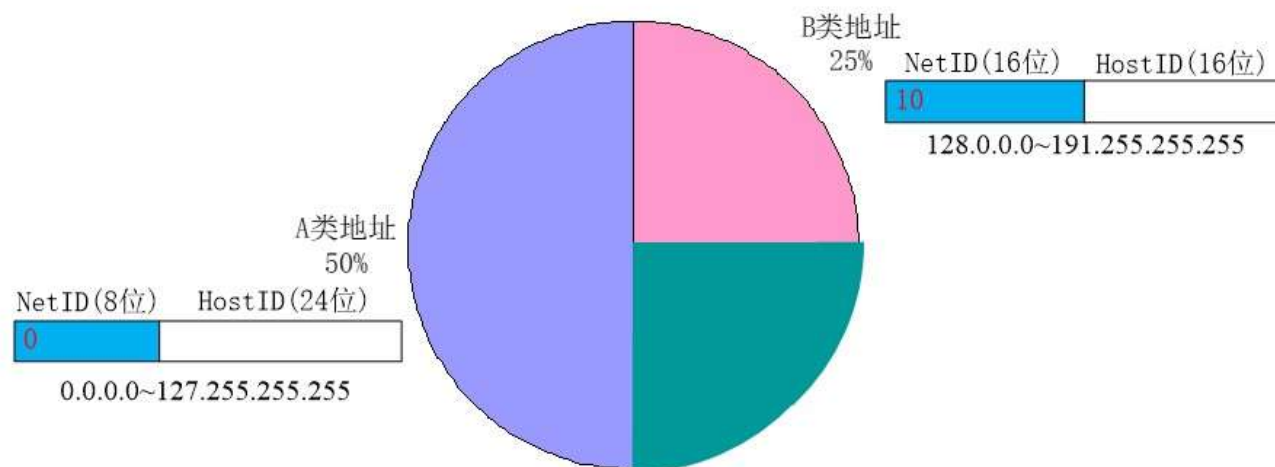
4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



IP地址(Addresses)

“有类”编址:



IP地址(Addresses)

“有类”编址:





4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

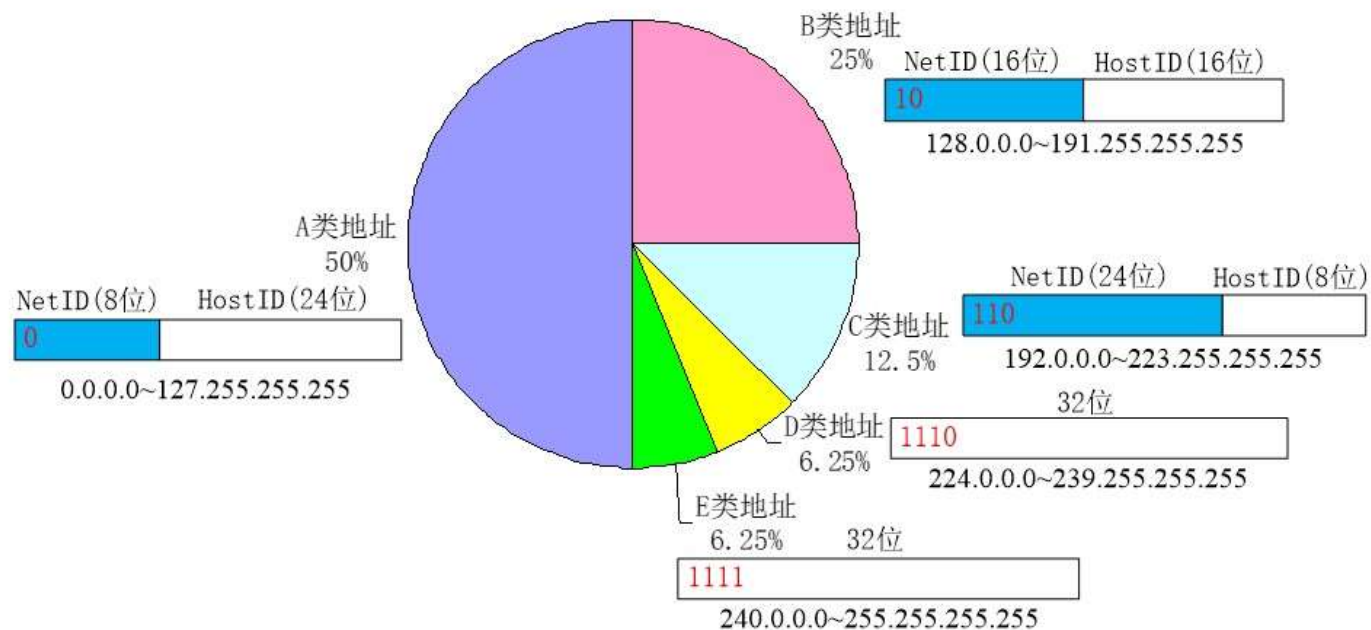
4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



IP地址(Addresses)

“有类”编址:





4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

IP 地址的指派范围

网络类别	最大可指派的网络数	第一个可指派的网络号	最后一个可指派的网络号	每个网络中最大主机数
A	126 ($2^7 - 2$)	1	126	16777214
B	16383 ($2^{14} - 1$)	128.1	191.255	65534
C	2097151 ($2^{21} - 1$)	192.0.1	223.255.255	254

147



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

特殊IP地址

NetID	HostID	作为IP分组 源地址	作为IP分组 目的地址	用途
全0	全0	可以	不可以	在本网范围内表示本机；在路由表中用于表示默认路由(相当于表示整个Internet网络)
全0	特定值	不可以	可以	表示本网内某个特定主机
全1	全1	不可以	可以	本网广播地址(路由器不转发)
特定值	全0	不可以	不可以	网络地址，表示一个网络
特定值	全1	不可以	可以	直接广播地址，对特定网络上的所有主机进行广播
127	非全0或非全1的任何数	可以	可以	用于本地软件环回测试，称为环回地址



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

私有 (Private) IP地址

Class	NetIDs	Blocks
A	10	1
B	172.16 to 172.31	16
C	192.168.0 to 192.168.255	256



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

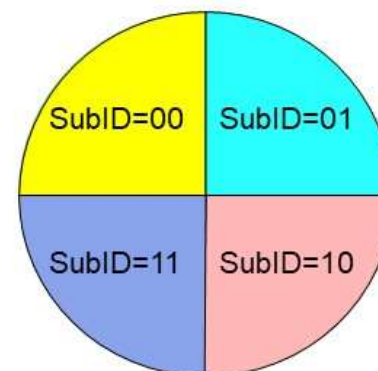
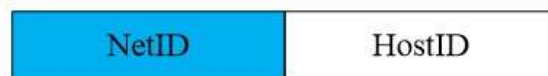
4.4 IP协议



子网划分?

❖ IP地址:

- **网络号(NetID)** – 高位比特
- **子网号(SubID)** – 原网络主机号部分比特
- **主机号(HostID)** – 低位比特





4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

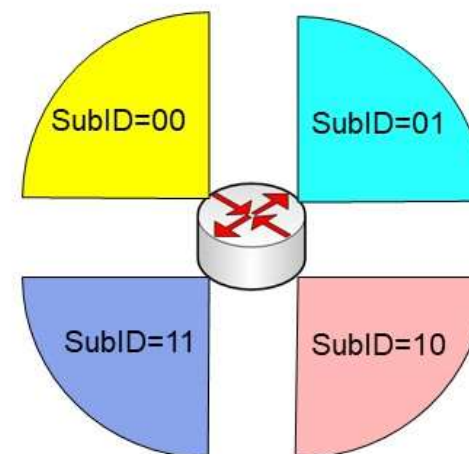
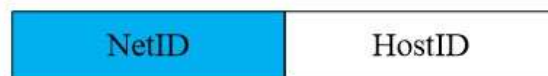
4.4 IP协议



子网划分?

❖ IP地址:

- **网络号(NetID)** – 高位比特
- **子网号(SubID)** – 原网络主机号部分比特
- **主机号(HostID)** – 低位比特



❖ 如何确定是否划分了子网? 利用多少位划分子网?

- **子网掩码**



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



子网掩码

❖ 形如IP地址:

- 32位
- 点分十进制形式

NetID	SubID	HostID
-------	-------	--------

❖ 取值:

- NetID、SubID位全取1
- HostID位全取0

❖ 例如:

- A网的默认子网掩码为: 255.0.0.0
- B网的默认子网掩码为: 255.255.0.0
- C网的默认子网掩码为: 255.255.255.0
- 借用3比特划分子网的B网的子网掩码为: 255.255.224.0

子网地址+子网掩码
→ 准确确定子网大小



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

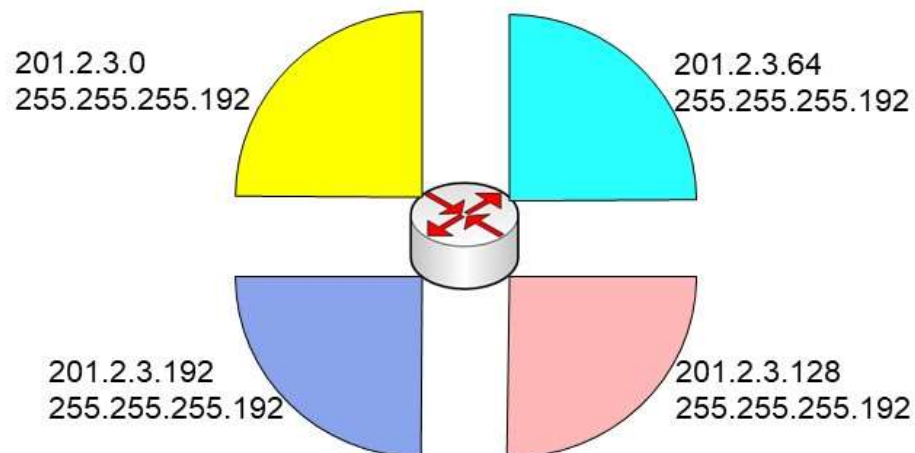
4.4 IP协议



子网划分

❖ 例如:

■ 子网201.2.3.0, 255.255.255.0, 划分为等长的4个子网



❖ 路由器如何确定应该将IP分组转发到哪个子网?



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



子网掩码的应用

❖ 将IP分组的目的IP地址与子网掩码按位与运算，提取子网地址

❖ 例如：

▪ 目的IP地址：172.32.1.112，子网掩码：255.255.254.0

172.32.1.112=	10101100	00100000	00000001	01110000
255.255.254.0=	11111111	11111111	11111110	00000000
	<hr/>			
	10101100	00100000	00000000	00000000
	172	32	0	0

▪ 子网地址：172.32.0.0(子网掩码：255.255.254.0)

▪ 地址范围：172.32.0.0~172.32.1.255

▪ 可分配地址范围：172.32.0.1~172.32.1.254

▪ 广播地址：172.32.1.255



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



一个C类网络划分子网举例

子网	SubID (二进制)	HostID取值范围 (二进制)	第4八位组取值范围 (十进制)
1#	000	00000 thru 11111	.0 thru .31
2#	001	00000 thru 11111	.32 thru .63
3#	010	00000 thru 11111	.64 thru .95
4#	011	00000 thru 11111	.96 thru .127
5#	100	00000 thru 11111	.128 thru .159
6#	101	00000 thru 11111	.160 thru .191
7#	110	00000 thru 11111	.192 thru .223
8#	111	00000 thru 11111	.224 thru .255



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



一个C类网络划分子网举例

子网	SubID (二进制)	HostID取值范围 (二进制)	第4八位组取值范围 (十进制)
1#	000	00000 thru 11111	.0 thru .31
2#	001	00000 thru 11111	.32 thru .63
3#	010	00000 thru 11111	.64 thru .95
4#	011	00000 thru 11111	.96 thru .127
5#	100	00000 thru 11111	.128 thru .159
6#	101	00000 thru 11111	.160 thru .191
7#	110	00000 thru 11111	.192 thru .223
8#	111	00000 thru 11111	.224 thru .255



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



CIDR

无类域间路由(CIDR: Classless InterDomain Routing)

- 消除传统的 A 类、B 类和 C 类地址界限
 - NetID+SubID→Network Prefix (Prefix)可以任意长度
- 融合子网地址与子网掩码, 方便子网划分
 - 无类地址格式: **a.b.c.d/x**, 其中**x**为前缀长度
- 例如

← Prefix → HostID →

11001000 00010111 00010000 00000000

200.23.16.0/23

- 子网201.2.3.64, 255.255.255.192→201.2.3.64/26



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

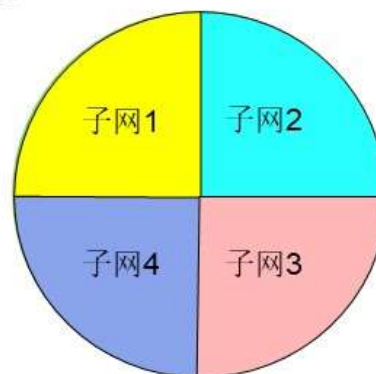
4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

CIDR与路由聚合

无类域间路由(CIDR: Classless InterDomain Routing)

- 提高IPv4 地址空间分配效率
- 提高路由效率
 - 将多个子网聚合为一个较大的子网
 - 构造超网 (supernetting)



- 路由聚合 (route aggregation)



4.1 网络层服务

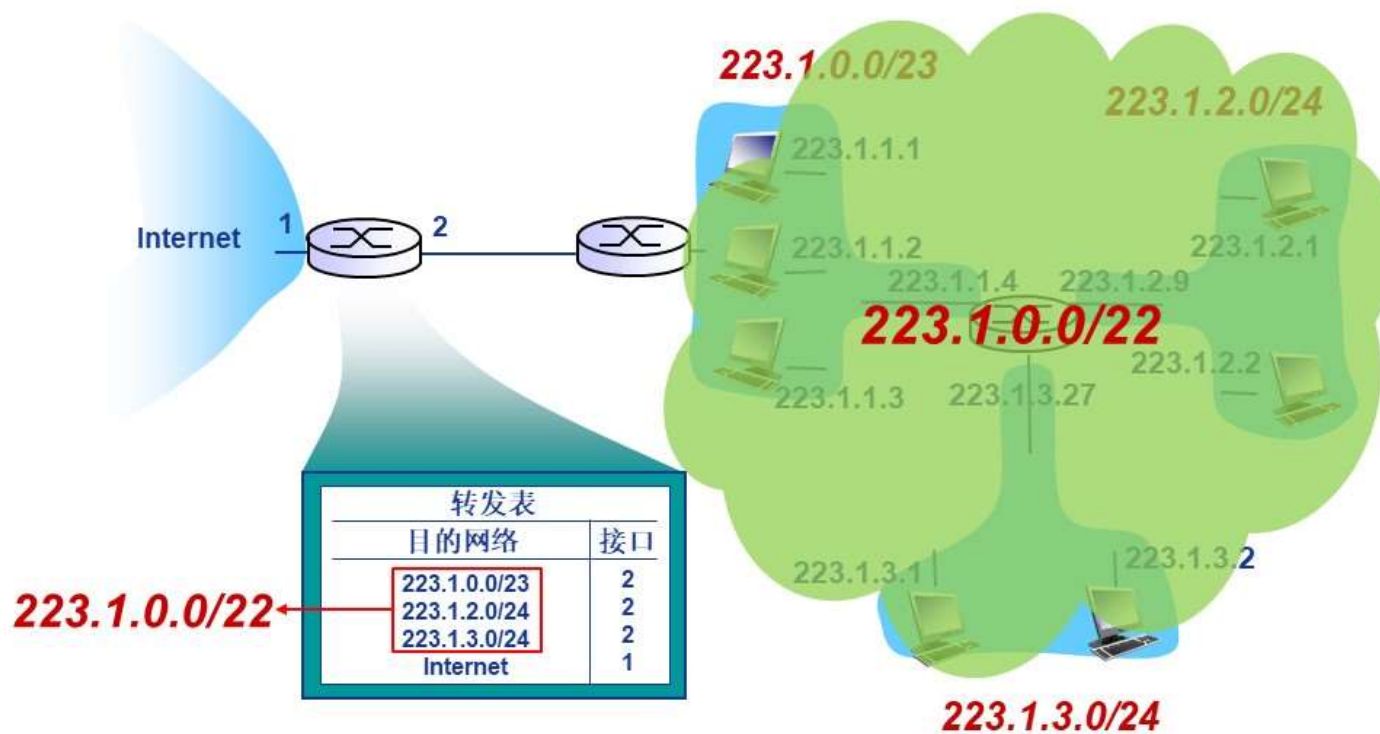
4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



路由聚合





4.1 网络层服务

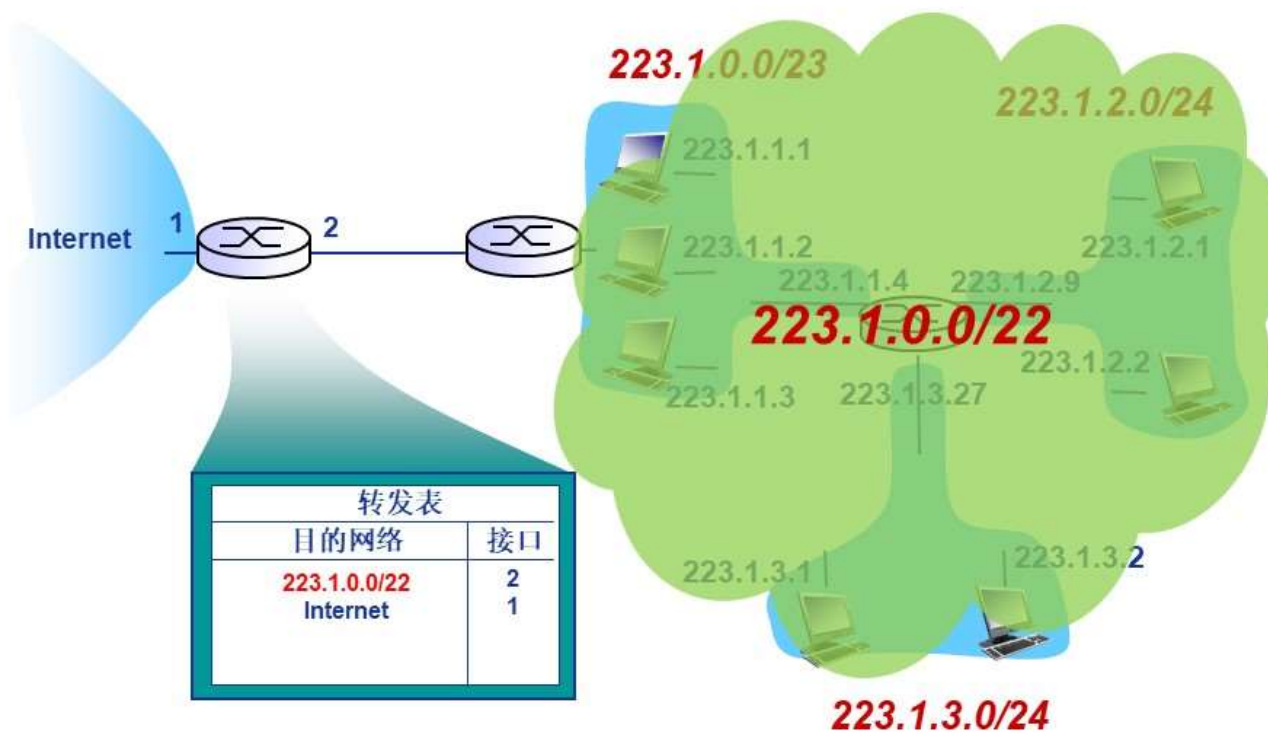
4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



路由聚合



IP 地址：如何获取？

这实际上是**两个**问题：

- 1.Q: 主机如何获取其所在网络的 IP 地址（地址的主机部分）？
- 2.Q: 网络如何获取自身的 IP 地址（地址的网络部分）

主机如何获取IP地址？

- 硬编码，**静态**（人工）配置（图形界面或配置文件，
e.g., /etc/rc.config in UNIX)
- **DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol**: 从 DHCP
服务器**动态**获取地址
 - “plug-and-play”

Network Layer: 4-165



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

4.5 IP相关协议

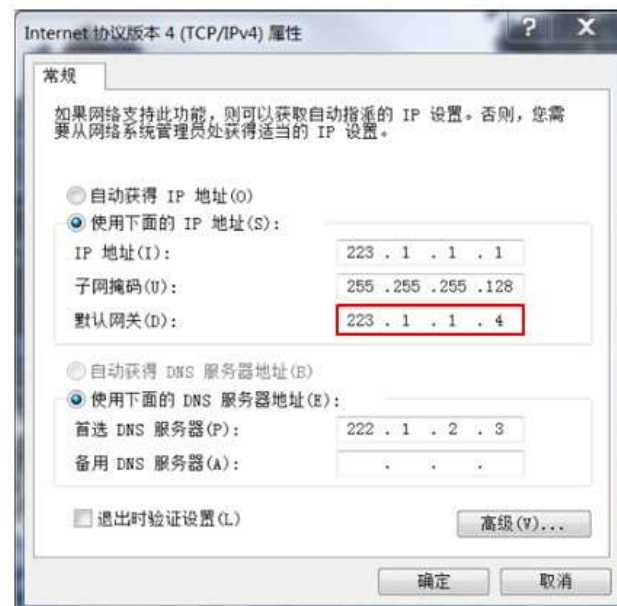
DHCP



如何获得IP地址？

Windows系统的配置界面

❖ 静态配置



223.1.0.0/25





4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

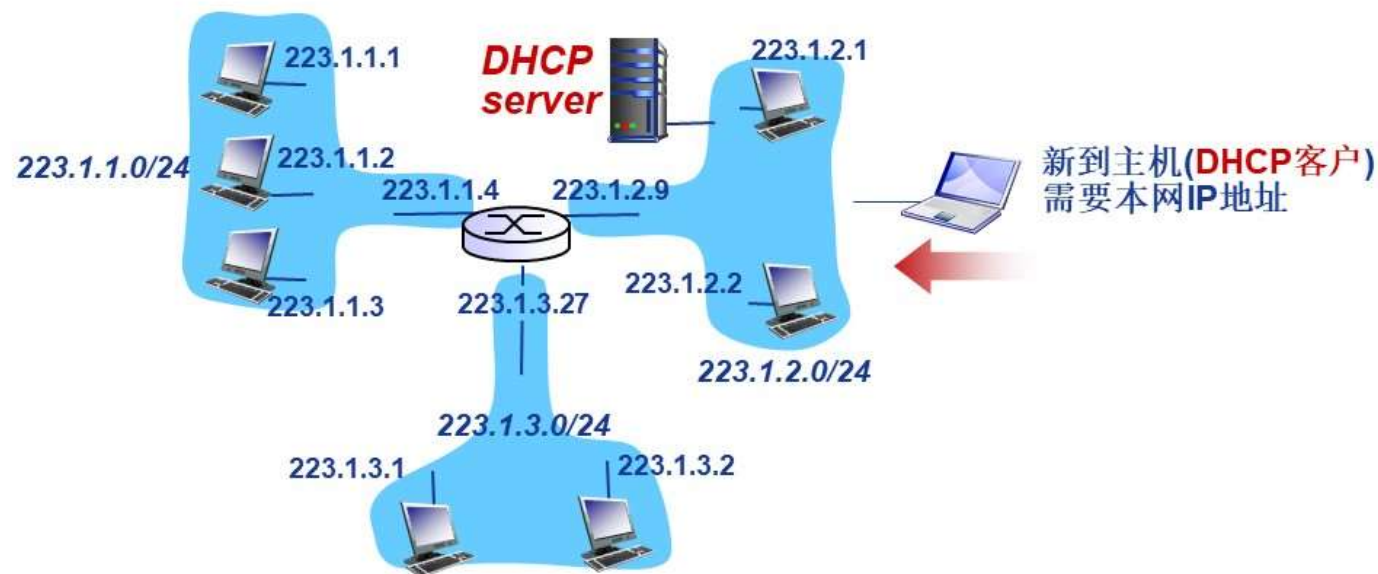
4.5 IP相关协议

DHCP



动态主机配置协议(DHCP)

- ❖ 主机广播 **"DHCP discover"** (发现报文)
- ❖ DHCP服务器利用 **"DHCP offer"** (提供报文) 进行响应
- ❖ 主机请求IP地址: **"DHCP request"** (请求报文)
- ❖ DHCP服务器分配IP地址: **"DHCP ack"** (确认报文)



169



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

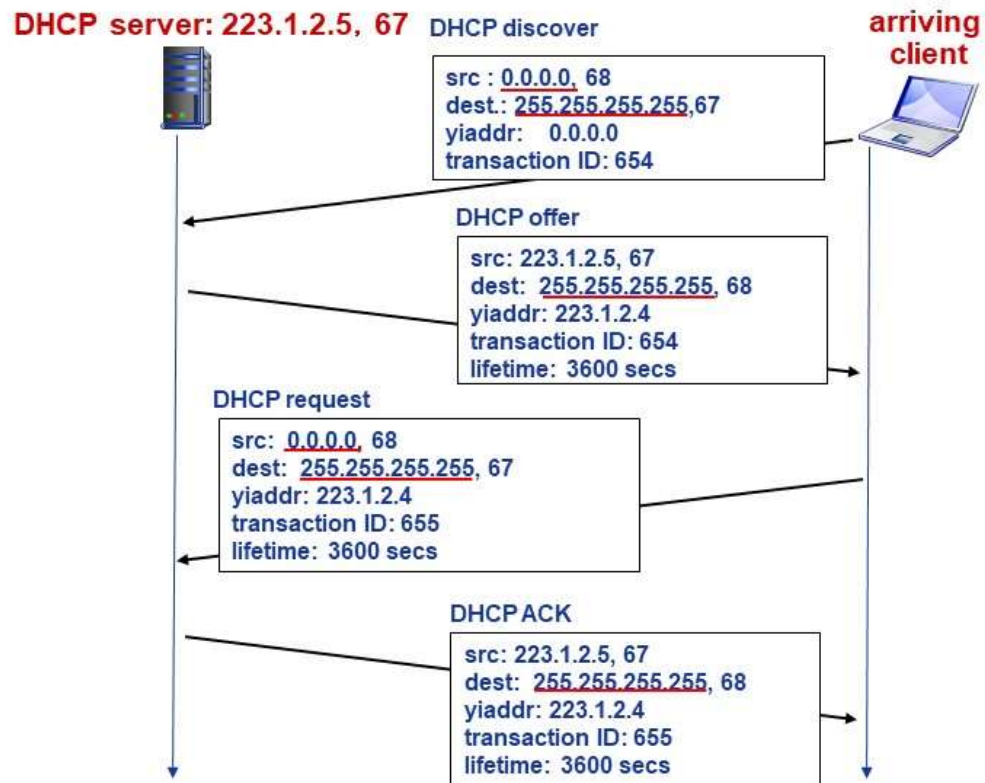
4.4 IP协议

4.5 IP相关协议

DHCP



DHCP工作过程示例





4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

4.5 IP相关协议

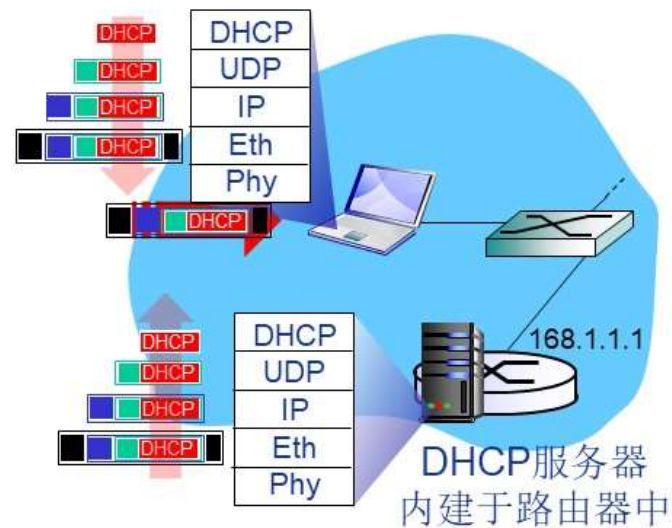
DHCP



DHCP工作过程示例

❖ DHCP协议在应用层实现

- DHCP报文封装到UDP数据报中
- IP广播
- 链路层广播 (e.g. 以太网广播)



171



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

4.5 IP相关协议

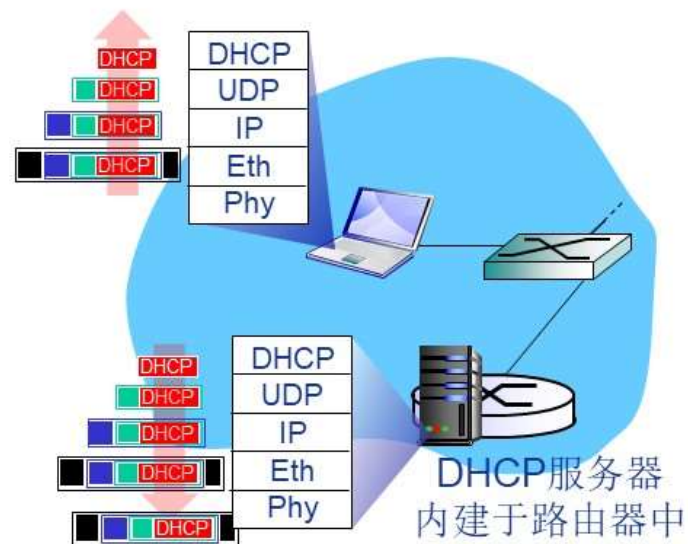
DHCP



DHCP工作过程示例

❖ DHCP服务器构造ACK报文

- 包括分配给客户的IP地址、子网掩码、默认网关、DNS服务器地址



IP 地址：如何获取？

Q: 网络如何获取IP地址的子网部分？

A: 从提供商 ISP 地址空间中分配一部分

ISP's block 11001000 00010111 00010000 00000000 200.23.16.0/20

然后，ISP 可以将其地址空间分成8块，分配给不同的组织

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

Network Layer: 4-180

IP 地址：如何获取？

Q: 网络如何获取IP地址的子网部分？

A: 从提供商 ISP 地址空间中分配一部分

ISP's block 11001000 00010111 00010000 00000000 200.23.16.0/20

然后，ISP 可以将其地址空间分成8块，分配给不同的组织

Organization 0	<u>11001000 00010111 0001</u> 000 0	00000000	200.23.16.0/23
Organization 1	<u>11001000 00010111 0001</u> 001 0	00000000	200.23.18.0/23
Organization 2	<u>11001000 00010111 0001</u> 010 0	00000000	200.23.20.0/23
...
Organization 7	<u>11001000 00010111 0001</u> 111 0	00000000	200.23.30.0/23

Network Layer: 4-181

IP 地址：如何获取？

Q: 网络如何获取IP地址的子网部分？

A: 从提供商 ISP 地址空间中分配一部分

ISP's block 11001000 00010111 00010000 00000000 200.23.16.0/20

然后，ISP 可以将其地址空间分成8块，分配给不同的组织

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

Network Layer: 4-182



4.1 网络层服务

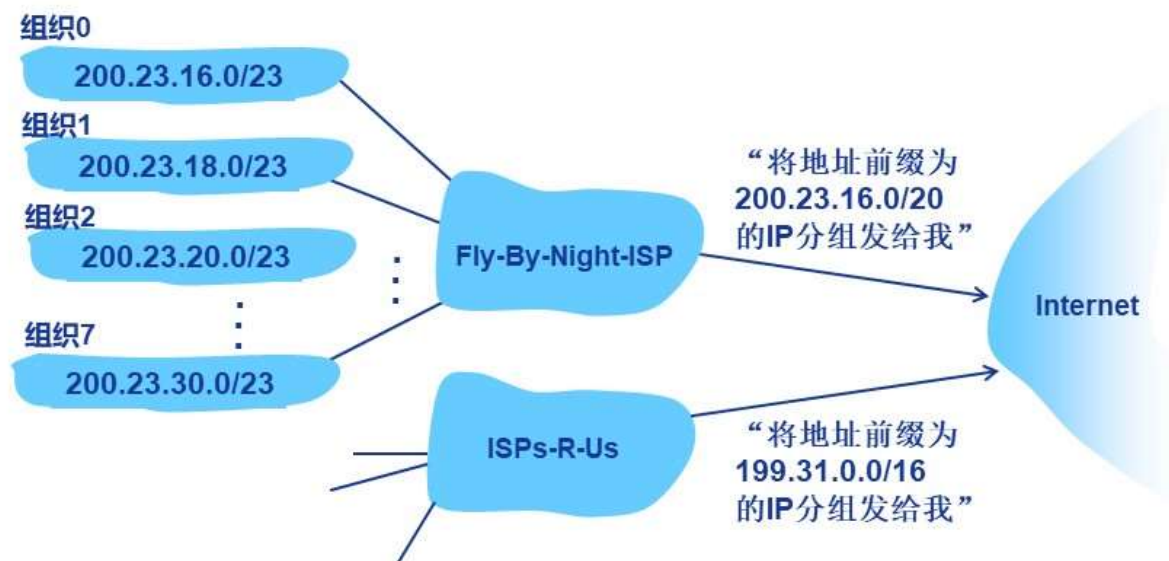
4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

路由聚合

层级编址使得路由信息通告更高效:





4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

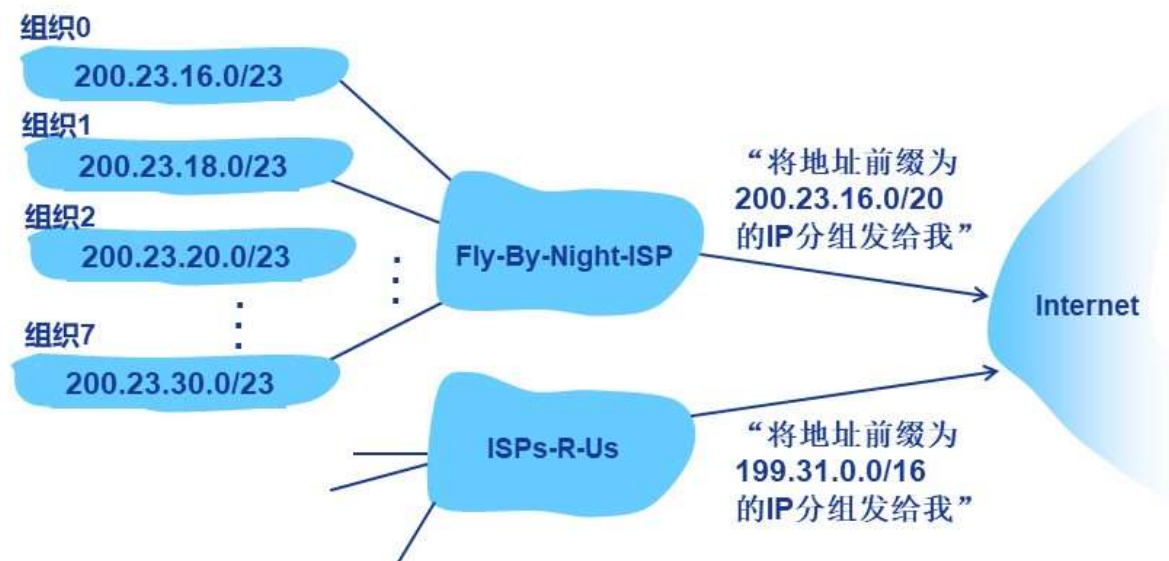
4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



路由聚合

层级编址使得路由信息通告更高效:





4.1 网络层服务

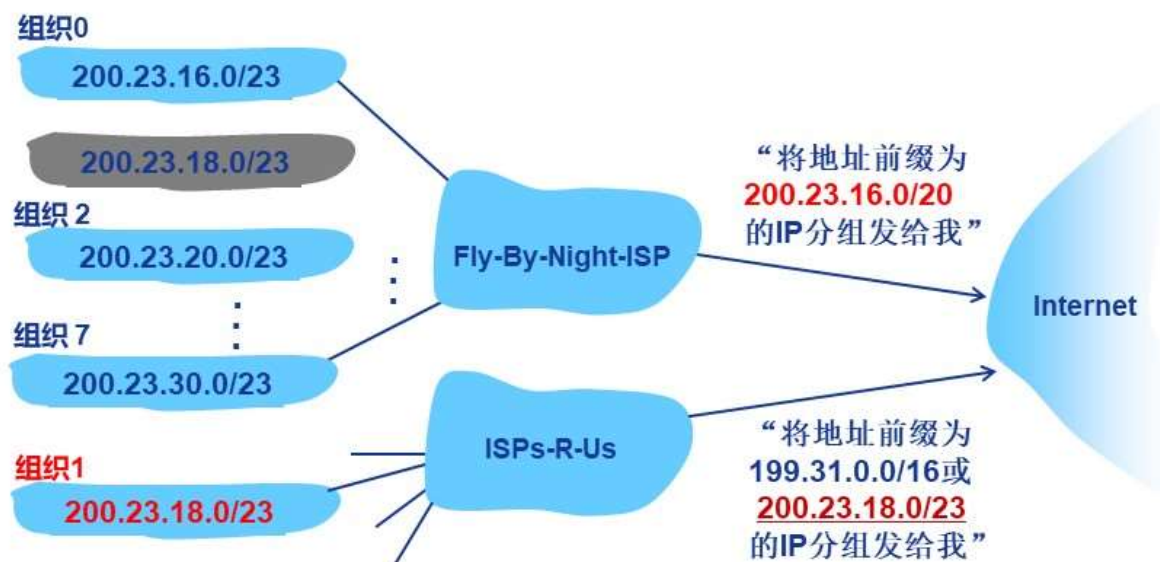
4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

路由聚合

选用更具体的路由：**最长前缀匹配优先！**





4.1 网络层服务

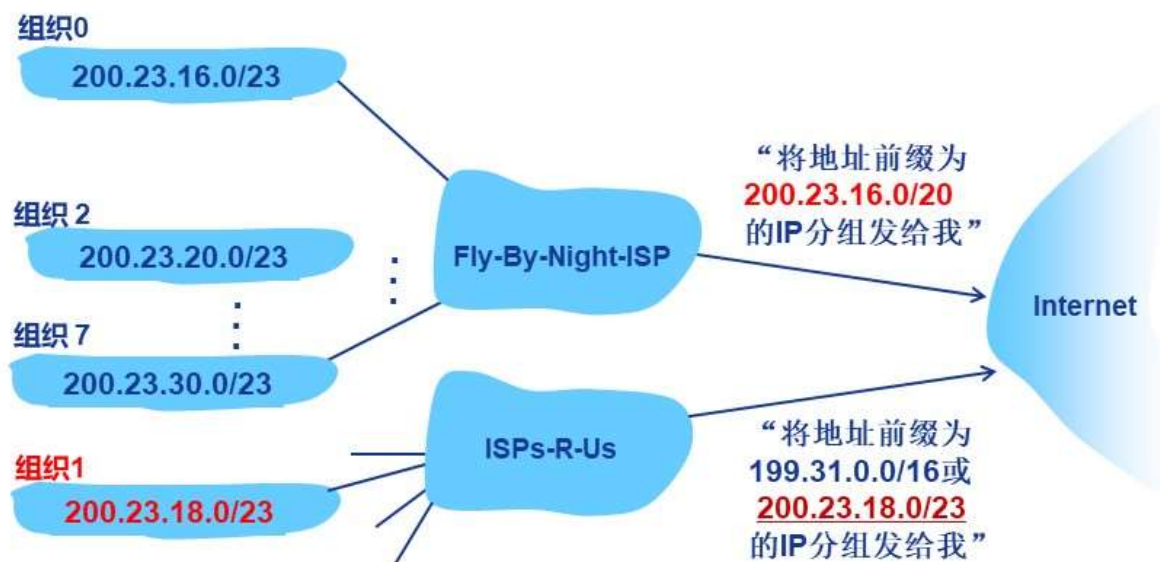
4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

路由聚合

选用更具体的路由：**最长前缀匹配优先！**



IP编址: 最后...

Q: ISP 如何获取地址块?

A: ICANN: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (互联网名称与数字地址分配机构)

<http://www.icann.org/>

- 具体分配 IP 地址, 通过 5 个区域注册管理机构 (RR, 然后可以分配给本地注册管理机构)
- 管理 DNS 根区域, 其中包括单个 TLD (.com、.edu 等) 管理的授权

Q: 32 位 IP地址是否有足够 ?

- ICANN 于 2011 年将最后一块 IPv4 地址分配给 RR
- NAT (next) 有助于缓解 IPv4 地址空间的耗尽
- IPv6 具有 128 位地址空间

“谁知道我们到底需要多少地址空间?”
Vint Cerf (反思将 IPv4 地址设置为 32 位的决定)

Network Layer: 4-188



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

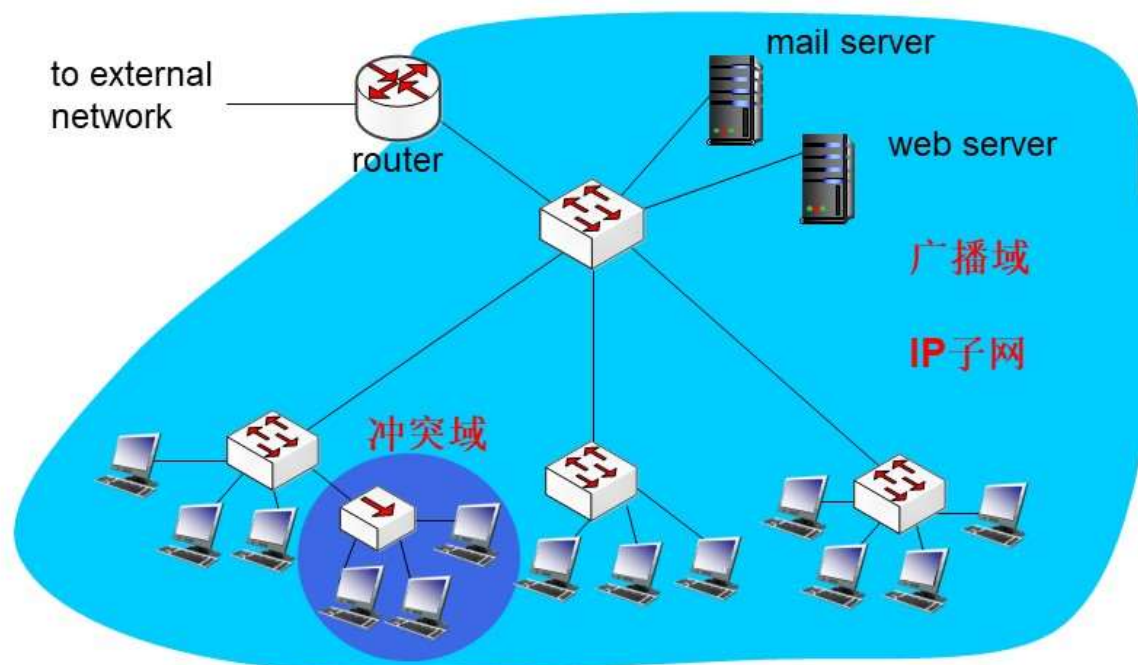
4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



冲突域 vs 广播域 vs 子网

❖ 冲突域、广播域和子网？如何分割冲突域？如何分割广播域？



单选题 1分

4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



在子网**192.168.4.0/30**中，能够接收目的地址为**192.168.4.3**的**IP**分组的最大主机数是_____。

A 0

B 1

C 2

D 4

190



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



IPv6: 动机

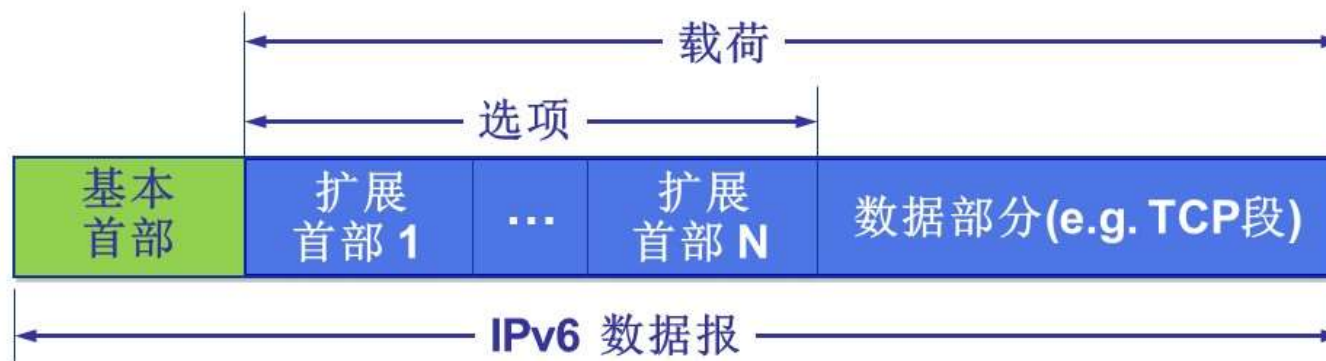
❖ **最初动机:** 32位IPv4地址空间已分配殆尽

❖ **其他动机:** 改进首部格式

- 快速处理/转发数据报
- 支持QoS (对“流”进行不同的网络层处理)

IPv6数据报格式:

- 固定长度的40字节基本首部
- 不允许分片





4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



IPv6数据报格式

优先级(priority): 标识数据报的优先级

流标签(flow Label): 标识同一“流”中的数据报

下一个首部(next header): 标识下一个选项首部或上层协议首部
(如TCP首部)



192



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



其他改变 vs IPv4

- ❖ **校验和(checksum):** 彻底移除, 以减少每跳处理时间
- ❖ **选项(options):** 允许, 但是从基本首部移出, 定义多个选项首部, 通过“下一个首部”字段指示
- ❖ **ICMPv6: 新版ICMP**
 - 附加报文类型, e.g. “Packet Too Big”
 - 多播组管理功能



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



IPv6地址表示形式

❖ **一般形式:** 1080:0:FF:0:8:800:200C:417A

❖ **压缩形式:** FF01:0:0:0:0:0:0:43

压缩→FF01::43

❖ **IPv4-嵌入形式:** 0:0:0:0:0:FFFF:13.1.68.3
或 ::FFFF:13.1.68.3

❖ **地址前缀:** 2002:43c:476b::/48
(注: IPv6不再使用掩码!)

❖ **URLs:** http://[3FFE::1:800:200C:417A]:8000



4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议

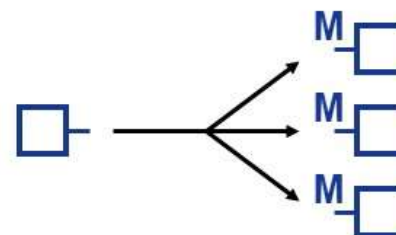


IPv6基本地址类型

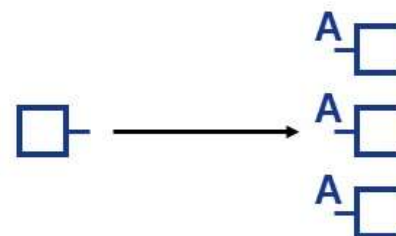
单播(unicast):
一对一通信



多播(multicast):
一对多通信



任意播(anycast):
一对一组之一
(最近一个)通信





4.1 网络层服务

4.2 虚电路vs数据报网络

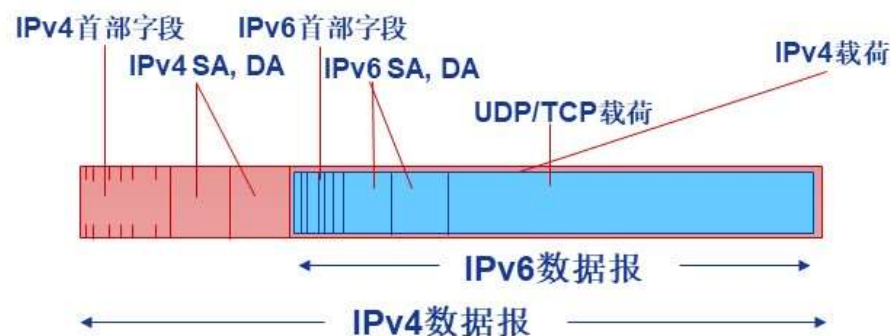
4.3 路由器体系结构

4.4 IP协议



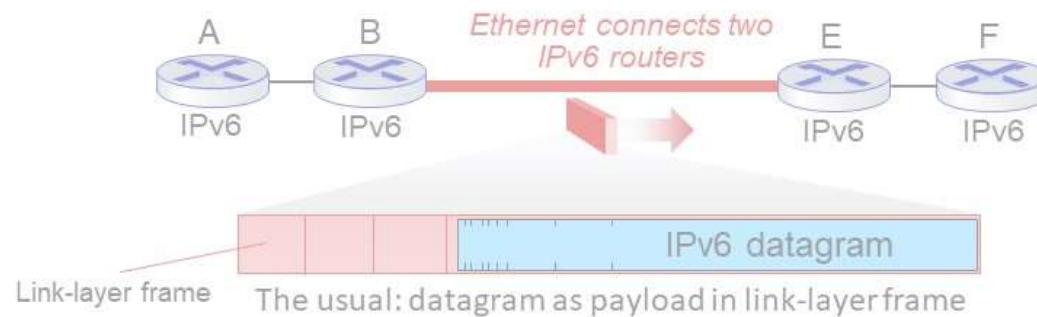
IPv4向IPv6过渡

- ❖ 不可能在某个时刻所有路由器同时被更新为IPv6
 - 不会有“标志性的日期”
 - IPv4和IPv6路由器共存的网络如何运行？
- ❖ 隧道(tunneling): IPv6数据报作为IPv4数据报的载荷进行封装，穿越IPv4网络

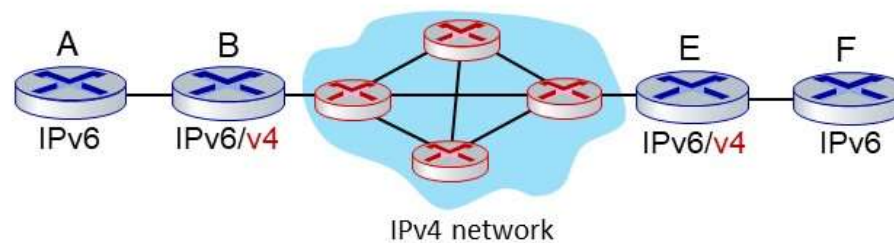


隧道和封装

以太网连接两个
IPv6 路由器:



IPv4 网络连接两个
IPv6 路由器



Network Layer: 4-199