

网络层

网络层服务

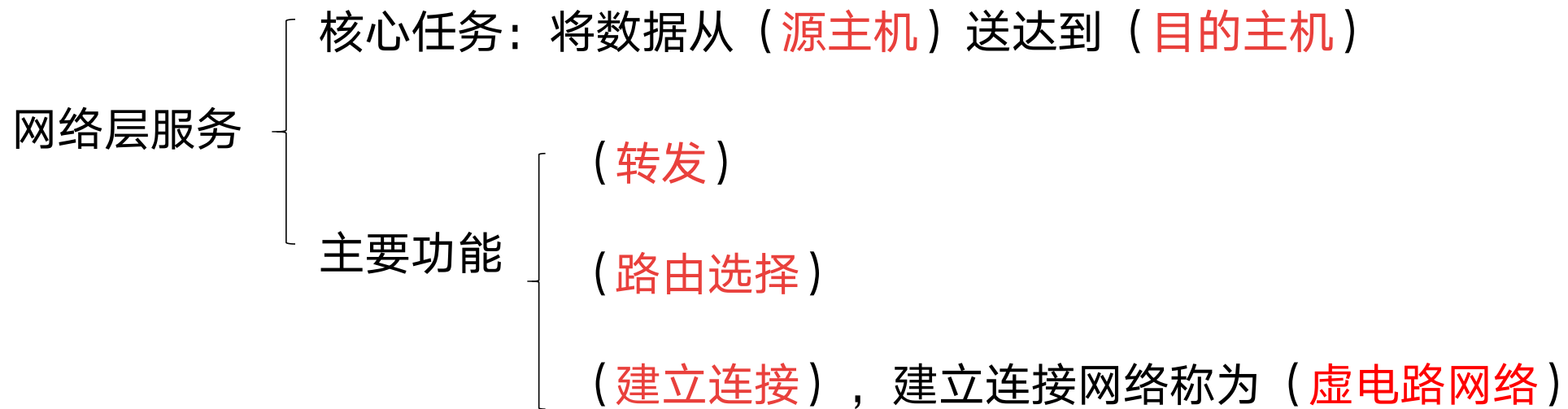
数据报网络虚电路网络

网络互连与网络互连设备

网络层拥塞控制

Internet 网络层

路由算法与路由协议



4.2 数据报网络与虚电路网络

| 项目 | 虚电路交换 | 数据报交换 |
|--------|---------------------------|---------------|
| 是否建立连接 | 需要先建立连接 | 不需要建立连接 |
| 地址 | 每个分组含有一个短的虚电路号 | 每个分组包含源和目的端地址 |
| 分组顺序 | 按序发送，按序接收 | 按序发送，不一定按序接收 |
| 路由选择 | 建立VC时需要路由选择，之后所有分组都沿此路由转发 | 对每个分组独立选择 |
| 典型网络 | X.25、帧中继、ATM | 因特网 |

4.3 网络互连与网络互连设备

路由器：具有多个输入端口和多个输出端口的**专用计算机**，主要任务就是获取与维护路由信息以及转发分组。**最典型的网络层设备。**

输入端口：**查找，转发**，到达分组 **缓存排队**功能。

交换结构：将输入端口的IP数据报交换到指定的输出端口。

主要包括基于内存交换、基于总线交换、基于网络交换3种交换结构。

输出端口：缓存排队，从队列中取出分组进行数据链路层数据帧的封装，发送。

路由处理器：执行命令；路由协议运行；路由计算以及路由表的更新和维护。

4.4 网络层拥塞控制

知识点1：网络拥塞

网络层拥塞控制

网络拥塞

流量感知路由

准入控制

流量调节

负载脱落

网络层拥塞：一种持续过载的网络状态。用户对网络资源（包括链路带宽、存储空间和处理器处理能力等）的总需求超过了网络固有的容量。

4.4 网络层拥塞控制

知识点1：网络拥塞

网络层拥塞控制

网络拥塞

流量感知路由

准入控制

流量调节

负载脱落

网络负载在**膝点**附近时，吞吐量和分组平均延迟达到理想的平衡，网络的**使用效率最高**。

4.4 网络层拥塞控制

知识点1：网络拥塞

发生拥塞的原因：

- 1) 缓冲区容量有限
- 2) 传输线路的带宽有限
- 3) 网络结点的处理能力有限
- 4) 网络中某些部分发生了故障

网络层拥塞控制

网络拥塞

流量感知路由

准入控制

流量调节

负载脱落

4.4 网络层拥塞控制

知识点1：网络拥塞

网络层拥塞控制

网络拥塞

流量感知路由

准入控制

流量调节

负载脱落

网络层常采用的拥塞控制措施：流量感知路由

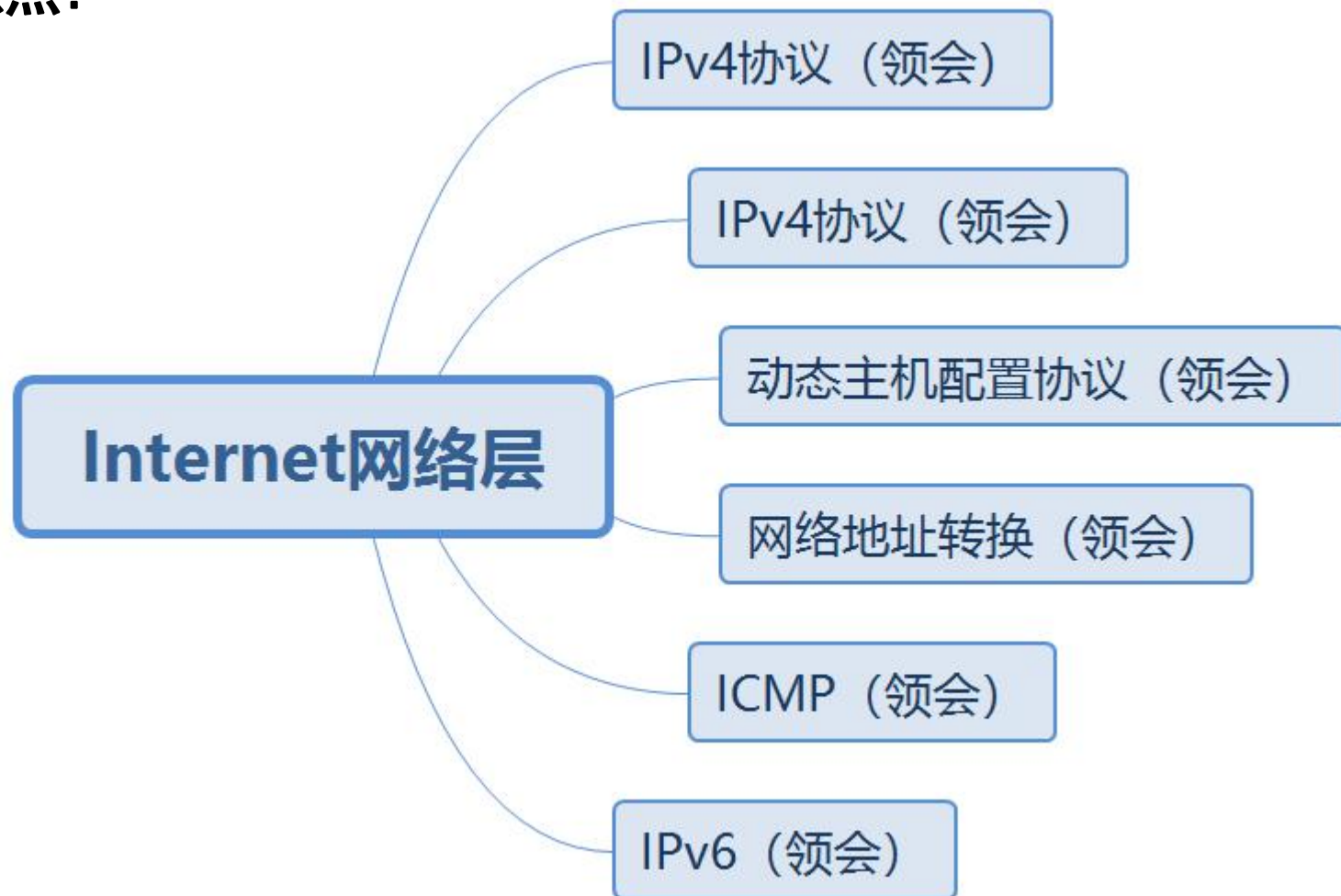
准入控制

流量调节

负载脱落

4.5 Internet网络层

本节知识点：



4.5 Internet网络层

Internet网络层主要协议：

- 1、网际协议（Internet Protocol,IP）
- 2、路由协议
- 3、互联网控制报文协议（Internet Control Message Protocol,ICMP）

4.5 Internet网络层

知识点1：IPv4协议

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

IP目前两个版本：IPv4和IPv6

IPv4协议：Internet网络层最核心的协议。

定义了如何封装上层协议（如UDP、TCP等）的报文段；

定义了Internet网络层寻址（IP地址）以及如何转发IP数据报等内容；

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
 - 动态主机配置协议
 - 流量调节
 - ICMP
 - IPv6

一、IP数据报格式

| | | | | |
|-------------|----------|----------|------------|-----------|
| 32位 | | | | |
| | | | | |
| 版本（4位） | 首部长度（4位） | 区分服务（8位） | 数据报长度（16位） | |
| 标识（16位） | | | 标志（3位） | 片偏移量（13位） |
| 生存时间（8位） | | 上层协议（8位） | 首部校验和（16位） | |
| 源IP地址（32） | | | | |
| 目的IP地址（32） | | | | |
| 选项（可选，长度可变） | | | | |
| 数据 | | | | |

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

一、IP数据报格式

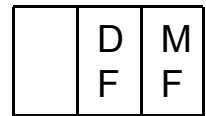
Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

| | | | |
|-------------|----------|------------|------------|
| 32位 | | | |
| | | | |
| 版本（4位） | 首部长度（4位） | 区分服务（8位） | 数据报长度（16位） |
| 标识（16位） | | 标志（3位） | 片偏移量（13位） |
| 生存时间（8位） | 上层协议（8位） | 首部校验和（16位） | |
| 源IP地址（32） | | | |
| 目的IP地址（32） | | | |
| 选项（可选，长度可变） | | | |
| 数据 | | | |

15、标识:字段占16位，标识一个IP数据报

16、标志:标志位字段占3位，其结构如下:



DF禁止分片标志

DF=0，允许分片；

DF=1，禁止分片；

MF更多分片标志

MF=0，未被分片或分片的最后一片。

MF=1，一定是分片，且不是最后一个。

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

一、IP数据报格式

Internet网络层

- IPv4协议
 - IPv4编址
 - 动态主机配置协议
 - 流量调节
 - ICMP
 - IPv6

| | | | |
|-------------|----------|------------|------------|
| 32位 | | | |
| | | | |
| 版本（4位） | 首部长度（4位） | 区分服务（8位） | 数据报长度（16位） |
| 标识（16位） | | 标志（3位） | 片偏移量（13位） |
| 生存时间（8位） | 上层协议（8位） | 首部校验和（16位） | |
| 源IP地址（32） | | | |
| 目的IP地址（32） | | | |
| 选项（可选，长度可变） | | | |
| 数据 | | | |

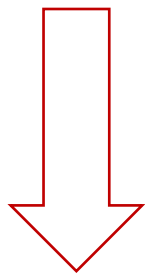
17、片偏移量:以8B为单位。
表示一个IP数据报分片与原IP数据报数据的相对偏移量。
当该字段值为0时，且MF=1， 则表示这是一个IP分片， 且是第一个分片

4.5 Internet网络层

知识点1：IPv4协议

二、IP数据报分片

最大传输单元(Maximum Transmission Unit,MTU)



IP数据报分片

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

4.5 Internet网络层

知识点1：IPv4协议

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

二、IP数据报分片

IP数据报分片的相关计算方法：

原数据IP报总长度为L字节，待转发链路的MTU为M字节。

1、尽可能少分片。

2、一个最大分片可封装的数据字节数是8的倍数。

每个分片的标识字段复制原IP数据报的标识字段。

MF标志位，除了最后一个分片位0外，其余分片全为1。

4.5 Internet网络层

知识点1：IPv4协议

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

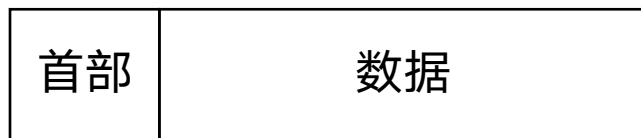
流量调节

ICMP

IPv6

通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过
MTU=1500字节的链路转发

IP数据报



首部+数据=3400字节 > 1500字节

4.5 Internet网络层

知识点1：IPv4协议

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

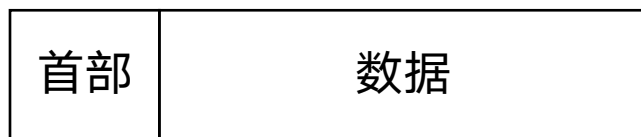
流量调节

ICMP

IPv6

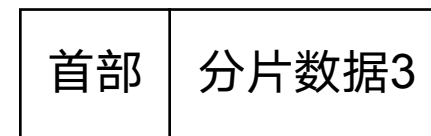
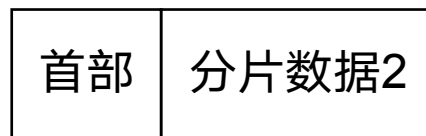
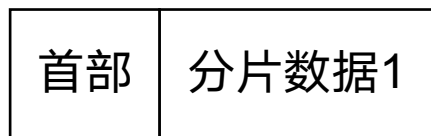
通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过
MTU=1500字节的链路转发

IP数据报



首部+数据=3400字节 > 1500字节

IP分片



4.5 Internet网络层

知识点1：IPv4协议

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

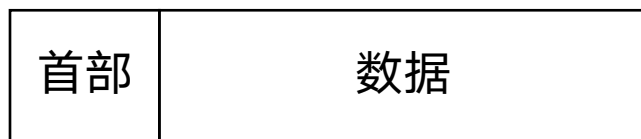
流量调节

ICMP

IPv6

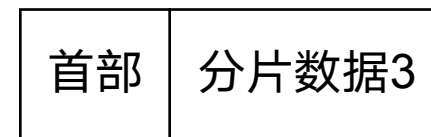
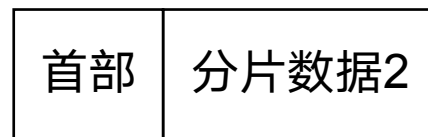
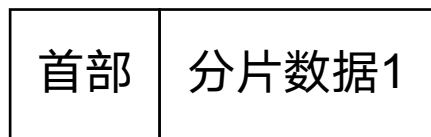
通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过
MTU=1500字节的链路转发

IP数据报



首部+数据=3400字节 > 1500字节

IP分片



首部+首部+首部+分片数据1+分片数据2+分片数据3= 字节

4.5 Internet网络层

知识点1: IPv4协议

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

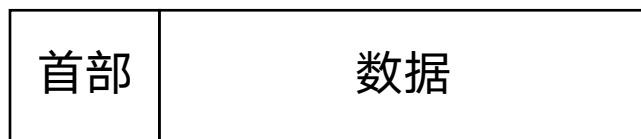
流量调节

ICMP

IPv6

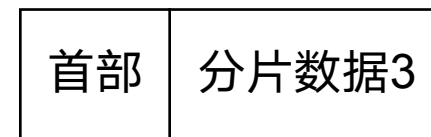
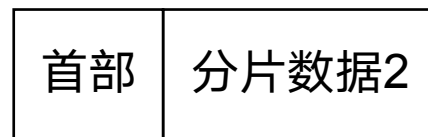
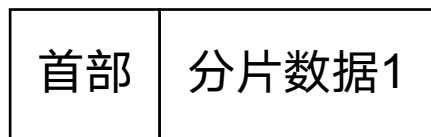
通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过
MTU=1500字节的链路转发

IP数据报



首部+数据=3400字节 > 1500字节

IP分片



首部+首部+首部+分片数据1+分片数据2+分片数据3=3440字节

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | 标志 | 封装原IP数据报中的字节数 |
|-----|--------|-----|----|---------------|
| 第1片 | | | | |
| 第2片 | | | | |
| 第3片 | | | | |

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | 标志 | 封装原IP数据报中的字节数 |
|-----|--------|-----|----|---------------|
| 第1片 | 1500 | | 1 | |
| 第2片 | | | | |
| 第3片 | | | | |

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | 标志 | 封装原IP数据报中的字节数 |
|-----|--------|-----|----|-----------------|
| 第1片 | 1500 | | 1 | 0-1479（共1480字节） |
| 第2片 | | | | |
| 第3片 | | | | |

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | 标志 | 封装原IP数据报中的字节数 |
|-----|--------|-----|----|-----------------|
| 第1片 | 1500 | 0 | 1 | 0-1479（共1480字节） |
| 第2片 | | | | |
| 第3片 | | | | |

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | 标志 | 封装原IP数据报中的字节数 |
|-----|--------|-----|----|--------------------|
| 第1片 | 1500 | 0 | 1 | 0-1479（共1480字节） |
| 第2片 | 1500 | | 1 | 1480-2959（共1480字节） |
| 第3片 | | | | |

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | 标志 | 封装原IP数据报中的字节数 |
|-----|--------|-----|----|--------------------|
| 第1片 | 1500 | 0 | 1 | 0-1479（共1480字节） |
| 第2片 | 1500 | 185 | 1 | 1480-2959（共1480字节） |
| 第3片 | | | | |

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | 标志 | 封装原IP数据报中的字节数 |
|-----|--------|-----|----|--------------------|
| 第1片 | 1500 | 0 | 1 | 0-1479（共1480字节） |
| 第2片 | 1500 | 185 | 1 | 1480-2959（共1480字节） |
| 第3片 | | | 0 | |

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | 标志 | 封装原IP数据报中的字节数 |
|-----|--------|-----|----|--------------------|
| 第1片 | 1500 | 0 | 1 | 0-1479（共1480字节） |
| 第2片 | 1500 | 185 | 1 | 1480-2959（共1480字节） |
| 第3片 | 440 | | 0 | |

4.5 Internet网络层

知识点1：IPv4协议

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | 标志 | 封装原IP数据报中的字节数 |
|-----|--------|-----|----|--------------------|
| 第1片 | 1500 | 0 | 1 | 0-1479（共1480字节） |
| 第2片 | 1500 | 185 | 1 | 1480-2959（共1480字节） |
| 第3片 | 440 | | 0 | 2960-3379（共420字节） |

4.5 Internet网络层

知识点1： IPv4协议

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

通过PingPlotter工具发送一个总长度为3400字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | 标志 | 封装原IP数据报中的字节数 |
|-----|--------|-----|----|--------------------|
| 第1片 | 1500 | 0 | 1 | 0-1479（共1480字节） |
| 第2片 | 1500 | 185 | 1 | 1480-2959（共1480字节） |
| 第3片 | 440 | 370 | 0 | 2960-3379（共420字节） |

练习：

发送一个总长度为5000字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发。

求：分片；每片总长度；DF、MF标志；封装原IP数据报中的字节数；片偏移量。

练习：

发送一个总长度为5000字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发。
求：分片；每片总长度；DF、MF标志；封装原IP数据报中的字节数；片偏移量。

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | DF | MF | 封装原IP数据报中的字节数 |
|---|--------|-----|----|----|---------------|
|---|--------|-----|----|----|---------------|

练习：

发送一个总长度为5000字节的IP数据报，通过MTU=1500字节的链路转发。

求：分片；每片总长度；DF、MF标志；封装原IP数据报中的字节数；片偏移量。

| 片 | 总长度/字节 | 片偏移 | DF | MF | 封装原IP数据报中的字节数 |
|-----|--------|-----|----|----|--------------------|
| 第1片 | 1500 | 0 | 0 | 1 | 0-1479（共1480字节） |
| 第2片 | 1500 | 185 | 0 | 1 | 1480-2959（共1480字节） |
| 第3片 | 1500 | 370 | 0 | 1 | 2960-4439（共1480字节） |
| 第4片 | 560 | 555 | 0 | 0 | 4440-4979（共540字节） |

4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

IPv4地址的长度为32位，共有 2^{32} 个不同的IP地址，约为43亿个

4.5 Internet网络层

知识点2： IPv4编址

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

IPv4地址192.168.1.101的三种标记方式

| 方法 | 表示方式 |
|----------|-------------------------------------|
| 二进制标记法 | 11000000 10101000 00000001 01100101 |
| 点分十进制标记法 | 192.168.1.101 |
| 十六进制标记法 | 0xC0A80165 |

| 方法 | 表示方式 |
|----------|-------------------------------------|
| 二进制标记法 | 11000000 10101000 00000001 01100101 |
| 点分十进制标记法 | 192.168.1.101 |
| 十六进制标记法 | 0xC0A80165 |

| | | | | | | | | | |
|--|-----|----|----|----|---|---|---|---|--|
| | 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | |
|--|-----|----|----|----|---|---|---|---|--|

二进制转十进制：

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

128+64=192

| 方法 | 表示方式 |
|----------|-------------------------------------|
| 二进制标记法 | 11000000 10101000 00000001 01100101 |
| 点分十进制标记法 | 192.168.1.101 |
| 十六进制标记法 | 0xC0A80165 |

| | | | | | | | |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|
| 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|

二进制转十进制：

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

128+64=192

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| 方法 | 表示方式 |
|----------|-------------------------------------|
| 二进制标记法 | 11000000 10101000 00000001 01100101 |
| 点分十进制标记法 | 192.168.1.101 |
| 十六进制标记法 | 0xC0A80165 |

| | | | | | | | |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|
| 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|

二进制转十进制：

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

128+64=192

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

64+32+4+1=101

| 方法 | 表示方式 |
|----------|-------------------------------------|
| 二进制标记法 | 11000000 10101000 00000001 01100101 |
| 点分十进制标记法 | 192.168.1.101 |
| 十六进制标记法 | 0xC0A80165 |

| | | | | | | | |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|
| 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|

二进制转十进制：

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

128+64=192

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

64+32+4+1=101

十进制转二进制：

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

168

| 方法 | 表示方式 |
|----------|-------------------------------------|
| 二进制标记法 | 11000000 10101000 00000001 01100101 |
| 点分十进制标记法 | 192.168.1.101 |
| 十六进制标记法 | 0xC0A80165 |

| | | | | | | | |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|
| 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 |
|-----|----|----|----|---|---|---|---|

二进制转十进制：

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

$128+64=192$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

$64+32+4+1=101$

十进制转二进制：

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

168

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

255

4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

IP地址分配:

具有3个接口的路由器，通过两台交换机，互连了6台主机。

Internet网络层

IPv4协议

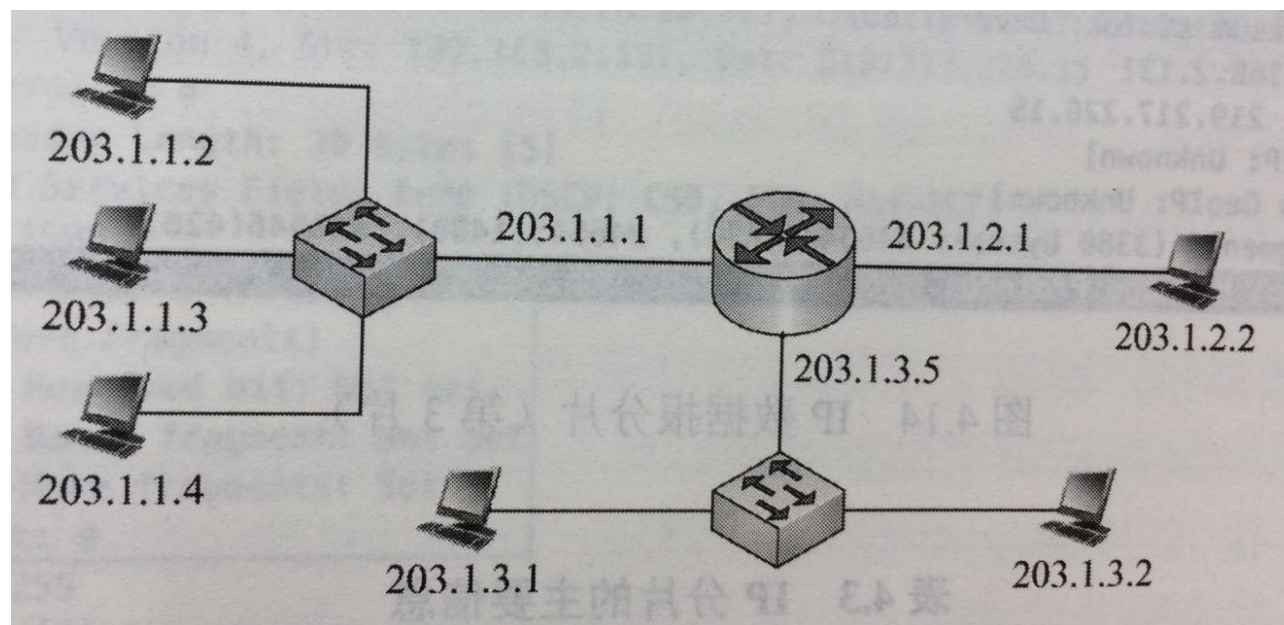
IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6



4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

IP地址分配:

具有3个接口的路由器，通过两台交换机，互连了6台主机。

Internet网络层

IPv4协议

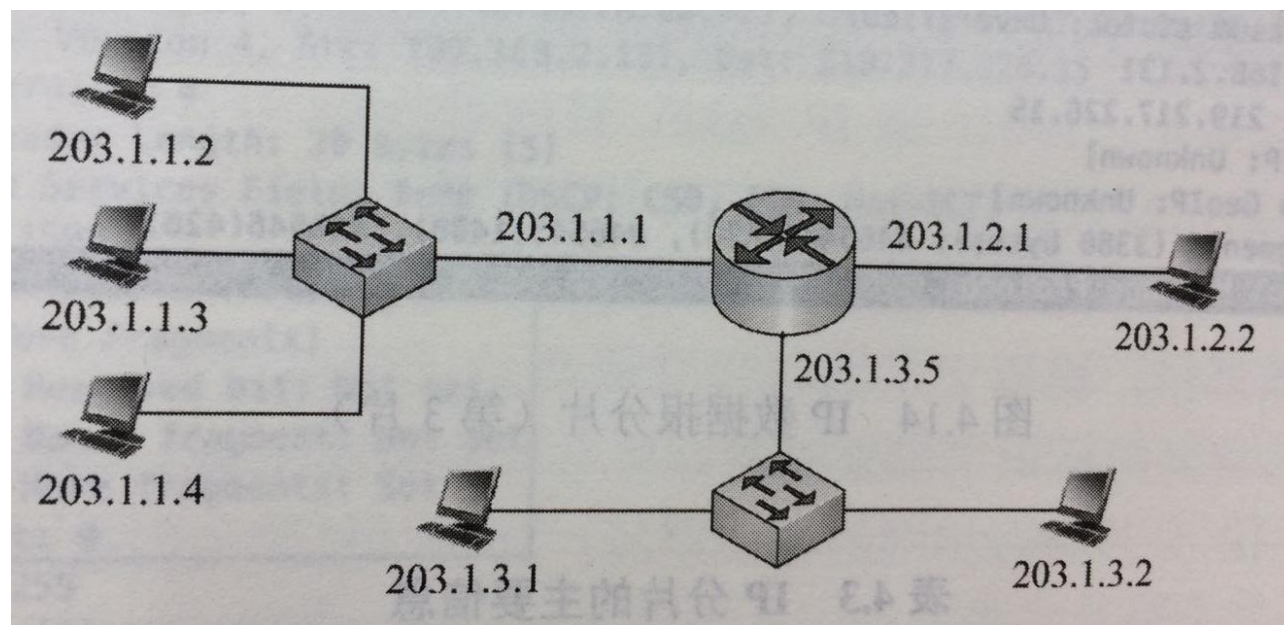
IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6



4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

IP地址分配:

这三台主机与路由器左侧接口的网络称为一个**IP子网**

Internet网络层

IPv4协议

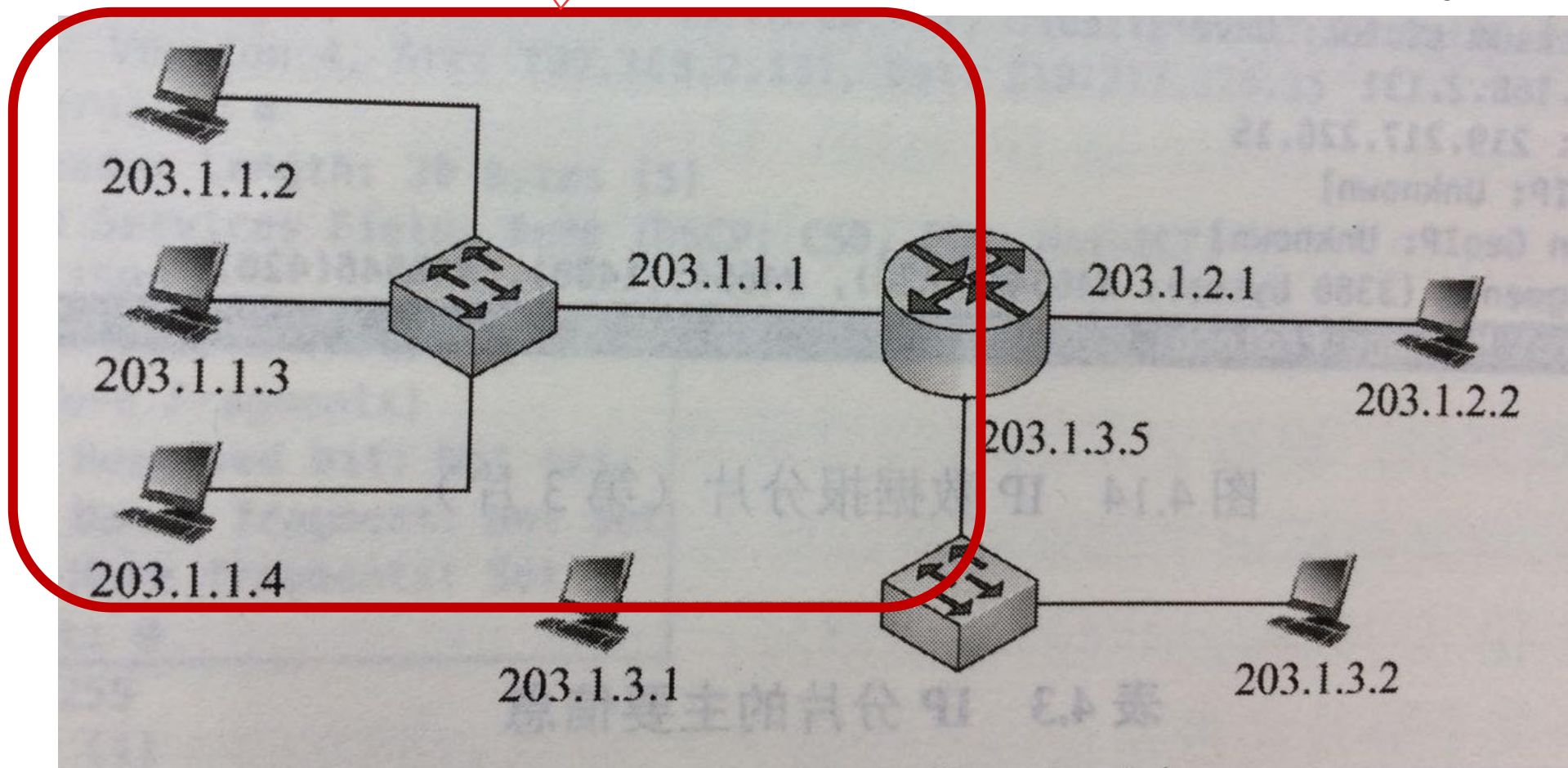
IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6



4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

IP地址分配:

1、为每一个IP子网分配一个子网地址。

IP子网地址为: 203.1.1.0/24

/24: 24位前缀

子网203.1.1.0/24由3台主机以及一个路由器接口(203.1.1.1)组成。

(203.1.1.2, 203.1.1.3, 203.1.1.4)

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

IP地址分配:

IP子网的概念, 将主机IP地址划分为两个部分:

1、前缀(Prefix), 即网络部分(NetID)用于描述主机所归属的网络

2、后缀(Postfix), 即主机部分(HostID)用于表示主机在网络中的唯一地址

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

IP地址分配:

IP子网的概念, 将主机IP地址划分为两个部分:

1、前缀(Prefix), 即网络部分(NetID)用于描述主机所归属的网络

分类地址: 定长前缀。

无类地址: 前缀长度可变。

2、后缀(Postfix), 即主机部分(HostID)用于表示主机在网络中的唯一地址

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

4.5 Internet网络层

知识点2： IPv4编址

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

分类地址划分

| 类 | 前缀长度 | 前缀 | 首字节 |
|---|------|---|---------|
| A | 8位 | 0xxxxxxx | 0-127 |
| B | 16位 | 10xxxxxx xxxxxxxxxx | 128-191 |
| C | 24位 | 110xxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx | 192-223 |
| D | 不可用 | 1110xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx | 224-239 |
| E | 不可用 | 1111xxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx xxxxxxxxxx | 240-255 |

4.5 Internet网络层

知识点2：IPv4编址

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

分类地址划分

分类寻址：

A、B、C类地址可以用于标识网络中的主机或路由器

D类地址作为组广播地址

E类是地址保留。

4.5 Internet网络层

知识点2：IPv4编址

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

分类地址划分

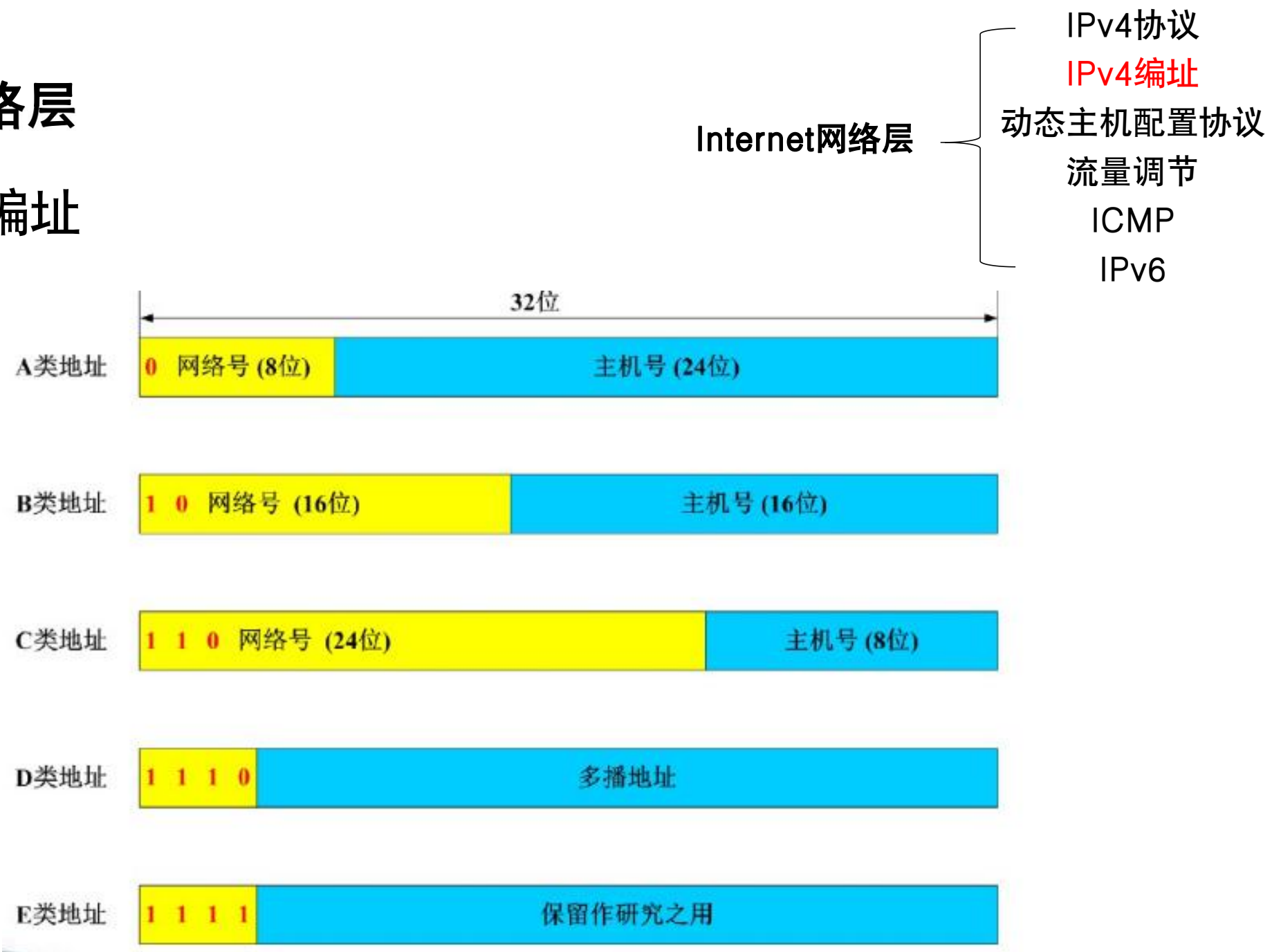
IP地址中用前缀中的后几位来表示网络地址个数，除去前缀外的位数是这类网络中的IP地址总数。

| 类 | 前缀中后 | 网路地址 | 每个类网IP地址总数 |
|---|------|-------------|------------|
| A | 7位 | $2^7=128$ 个 | 2^{24} 个 |
| B | 14位 | 2^{14} 个 | 2^{16} 个 |
| C | 21位 | 2^{21} 个 | 2^8 个 |

4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

分类地址划分



4.5 Internet网络层

知识点2： IPv4编址

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

特殊地址

| NetID | HostID | 作为IP数据报源地址 | 作为IP数据报目的地址 | 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 |
| 全0 | 特定值 | 可以 | 不可以 | 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 |
| 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 |

4.5 Internet网络层

知识点2： IPv4编址

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

除去特殊IP地址外， 还有一部分地址保留用于内部网络， 称为私有地址。

这部分地址可以在内网使用， 但不能在公共互联网上使用。

| 私有地址类别 | 范围 |
|--------|---|
| A类 | 10.0.0.0——10.255.255.255（或10.0.0.0/8） |
| B类 | 172.16.0.0——172.31.255.255（或172.16.0.0/12） |
| C类 | 192.168.0.0——192.168.255.255（或192.168.0.0/16） |

4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

无类地址

在无类寻址方案中，不存在诸如分类寻址中的网络类别，网络前缀不再被设计为定长的8位、16位、24位，而变成可以是0-32位的任意值。

网络地址形式为a.b.c.d/x。这种地址形式称为无类域间路由(CIDR)。

4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

子网划分

子网化就是指将一个较大的子网划分为多个较小子网的过程。

超网化是指将具有较长前缀的相对较小的子网合并为一个具有稍短前缀的相对较大的子网。超网化是子网化的逆过程。

4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

子网掩码

子网掩码: 32位。

对应网络前缀, 全部为1;

其余位 (主机部分), 全部为0;

例如: 子网213.111.0.0/24的子网掩码是:

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

子网掩码

子网掩码：32位。

对应网络前缀，全部为1；

其余位（主机部分），全部为0；

例如：子网213.111.0.0/24的子网掩码是：255.255.255.0

4.5 Internet网络层

知识点2: IPv4编址

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

已知子网中某IP地址和子网掩码，就可以计算出一个子网的网络地址、广播地址、IP地址总数和可分配的IP地址数量等。

1、子网掩码和主机地址按位与运算可以得出网络地址。

与运算： $0 \& 0 = 0$; $0 \& 1 = 0$; $1 \& 0 = 0$; $1 \& 1 = 1$;

2、子网掩码的反码与主机地址按位或运算可得出直接广播地址。

反码： $1 \text{——} 0$; $0 \text{——} 1$;

或运算： $0 \parallel 0 = 0$; $1 \parallel 0 = 1$; $0 \parallel 1 = 1$; $1 \parallel 1 = 1$;

练习题

假设某子网中的一个主机的IP地址是203.123.1.135，子网掩码是 255.255.255.192。

1. 那么该子网的子网地址是什么？

2. 直接广播地址是什么？

3. 该子网IP地址总数是多少？

4. 该子网的可分配IP地址数是多少？

练习题

假设某子网中的一个主机的IP地址是203.123.1.135，子网掩码是 255.255.255.192。

1. 那么该子网的子网地址是什么？

答:将203.123.1.135与255.255.255.192按位与运算，得到203.123.1.128为该子网的子网地址，即该子网为203.123.1.128/26

2. 直接广播地址是什么？

答:该子网的直接广播地址是203.123.1.191

3. 该子网IP地址总数是多少？

主机位有 $32-26=6$ 位，即有 $2^6=64$ 个IP地址总数。

4. 该子网的可分配IP地址数是多少？

该子网的可分配IP地址数是 $64-2=62$ 个（子网地址占一个，广播地址占一个，所以用 $64-2$ 。）

4.5 Internet网络层

知识点2：IPv4编址

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

路由聚合：提高路由效率，减少路由表项数，将可以聚合在一起的子网聚合成一个大的子网。

| 网络地址 | 下一跳地址 | 接口 |
|------------------|-------------|----|
| 15.65.154.0/26 | 15.65.153.1 | S1 |
| 15.65.154.64/26 | 15.65.153.1 | S1 |
| 15.65.154.128/26 | 15.65.153.1 | S1 |
| 15.65.154.192/26 | 15.65.153.1 | S1 |
| 0.0.0.0/0 | | S0 |

| 网络地址 | 下一跳地址 | 接口 |
|----------------|-------------|----|
| 15.65.154.0/24 | 15.65.153.1 | S1 |
| 0.0.0.0/0 | | S0 |

练习题

1、网络标识域为14位的IP地址类型为（ ）。 **选择题**

A:A类

B:B类

C:C类

D:D类

练习题

1、网络标识域为14位的IP地址类型为（ B ）。 选择题

A:A类

B:B类

C:C类

D:D类

练习题

2、下列IP地址中正确的B类IP地址是（ ）。 **选择题**

A:182.16.0.18

B:202.96.209.5

C:255.255.0.0

D:59.117.25.22

练习题

2、下列IP地址中正确的B类IP地址是（ A ）。 选择题

A:182.16.0.18

B:202.96.209.5

C:255.255.0.0

D:59.117.25.22

练习题

3、（ ）是指将具有较长前缀的相对较小的子网合并为一个具有稍短前缀的相对较大的子网。 **填空题**

练习题

3、（ 超网化 ）是指将具有较长前缀的相对较小的子网合并为一个具有稍短前缀的相对较大的子网。 填空题

练习题

4、下列不属于特殊地址的是（ ）。 选择题

A:本地主机地址

B:有限广播地址

C:私有地址

D:回送地址

练习题

4、下列不属于特殊地址的是（ C ）。 选择题

A:本地主机地址

B:有限广播地址

C:私有地址

D:回送地址

练习题

5、下列不属于IPv4地址标记法的是（ ）。 **选择题**

A:二进制标记法

B:八进制标记法

C:点分十进制标记法

D:十六进制标记法

练习题

5、下列不属于IPv4地址标记法的是（ B ）。 选择题

A:二进制标记法

B:八进制标记法

C:点分十进制标记法

D:十六进制标记法

练习题

6、子网213.111.0.0/23的子网掩码是（ ）。 选择题

A:255.255.255.0

B:255.255.1.0

C:255.255.254.0

D:255.255.23.0

练习题

6、子网213.111.0.0/23的子网掩码是（ C ）。 选择题

A:255.255.255.0

B:255.255.1.0

C:255.255.254.0

D:255.255.23.0

4.5 Internet网络层

知识点3： 动态主机配置协议

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

IPv6

当组织分配到一个网络地址块后，就可以为该组织内的主机和路由器接口分配IP地址。

静态分配： 手动配置；

动态分配： 动态主机配置协议(DHCP)来分配。

DHCP服务器端口号67

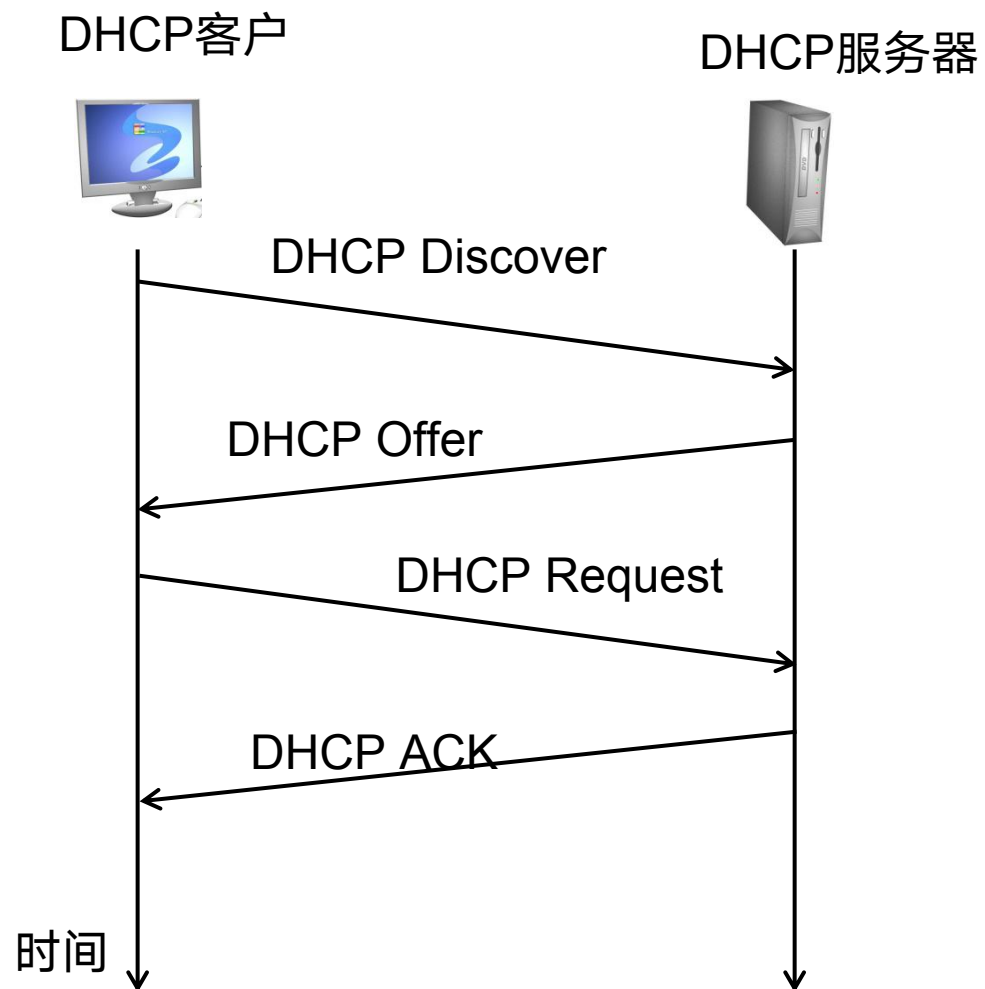
DHCP客户端端口号68

4.5 Internet网络层

知识点3： 动态主机配置协议

Internet网络层

IPv4协议
IPv4编址
动态主机配置协议
流量调节
ICMP
IPv6



4.5 Internet网络层

知识点3： 动态主机配置协议

- 1、DHCP服务器发现： 广播方式
- 2、DHCP服务器提供： 广播方式
- 3、DHCP请求： 广播方式
- 4、DHCP确认

Internet网络层

IPv4协议

IPv4编址

动态主机配置协议

流量调节

ICMP

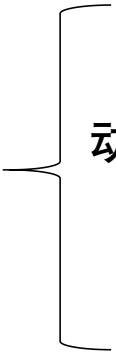
IPv6

4.5 Internet网络层

知识点4：网络地址转换

网络地址转换(NAT)

Internet网络层



- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节**
- ICMP
- IPv6

4.5 Internet网络层

知识点4：网络地址转换

Internet网络层

IPv4协议
IPv4编址
动态主机配置协议
流量调节
ICMP
IPv6

网络地址转换(NAT)工作原理：

对于从内网出去，进入公共互联网的IP数据报，将其IP地址替换为NAT服务器拥有的合法的公共IP地址，同时替换源端口号，并将替换关系记录到**NAT转换表**中；

对于从公共互联网**返回的IP数据报**，依据其目的IP地址与目的端口号检索**NAT转换表**，并利用检索到的内部私有IP地址与对应的端口号替换目的IP地址和目的端口号，然后将IP数据报转发到内部网络。

练习题

1、下列不属于DHCP工作过程的是（ ）。 选择题

A:DHCP服务器发现

B:DHCP服务器连接

C:DHCP服务器提供

D:DHCP确认

练习题

1、下列不属于DHCP工作过程的是（ B ）。 选择题

A:DHCP服务器发现

B:DHCP服务器连接

C:DHCP服务器提供

D:DHCP确认

练习题

2、使私有地址的主机能在Internet上进行正常通信的技术是（ ）。 选

择题

A:DHCP

B:ICMP

C:NAT

D:IPv4

练习题

2、使私有地址的主机能在Internet上进行正常通信的技术是（ C ）。 选择题

A:DHCP

B:ICMP

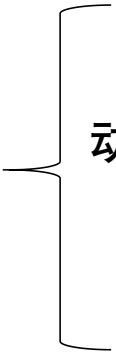
C:NAT

D:IPv4

4.5 Internet网络层

知识点5: ICMP

Internet网络层



- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP**
- IPv6

互联网控制报文协议(ICMP): 在主机或路由器间实现差错信息报告、信息探测。

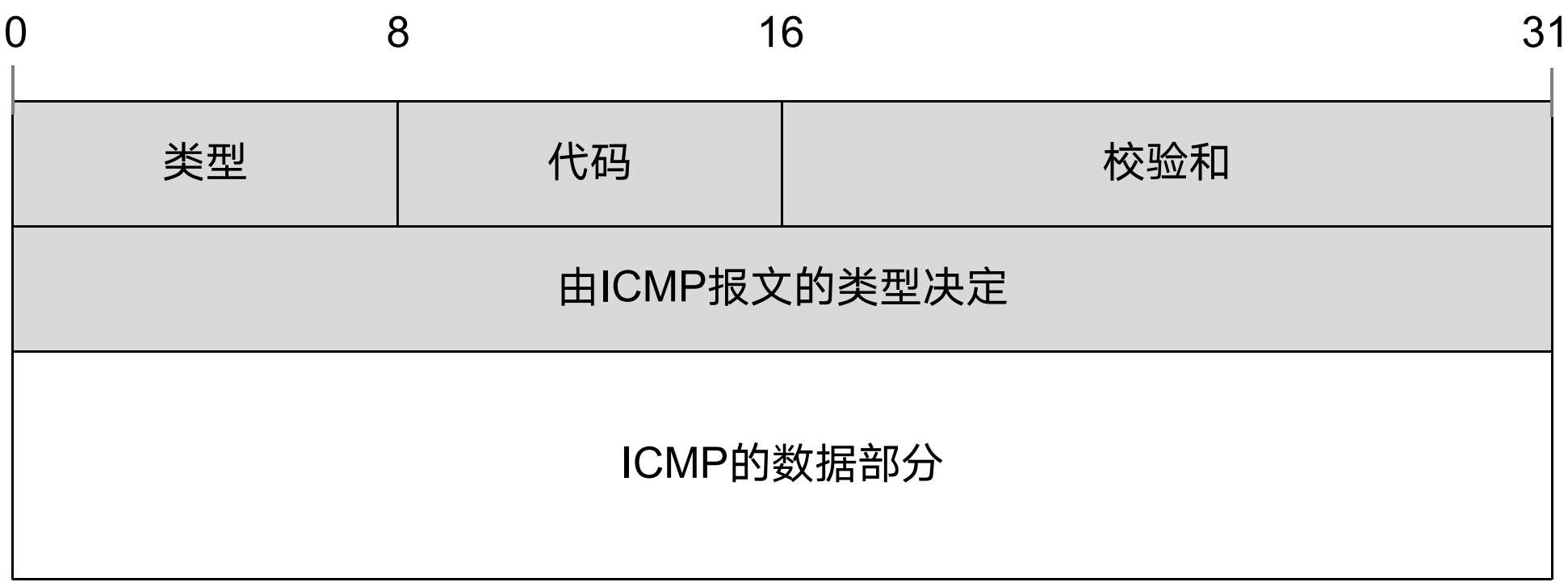
4.5 Internet网络层

知识点5：ICMP

ICMP报文：差错报告报文和询问报文

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

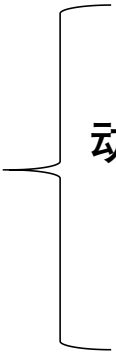


ICMP报文格式

4.5 Internet网络层

知识点5: ICMP

Internet网络层



- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP**
- IPv6

ICMP差错报告报文有5种：终点不可达、源点抑制、时间超时、参数问题、路由重定向

ICMP询问报文：回声（echo）请求/应答、时间戳请求/应答

练习题

1、下列不属于ICMP差错报告报文的是（ ）。 选择题

A:校验和

B:源点抑制

C:时间超时

D:路由重定向

练习题

1、下列不属于ICMP差错报告报文的是（ A ）。 选择题

A:校验和

B:源点抑制

C:时间超时

D:路由重定向

练习题

2、下列不属于ICMP报文字段的是（ ）。 选择题

A:版本

B:类型

C:代码

D:校验和

练习题

2、下列不属于ICMP报文字段的是（ A ）。 选择题

A:版本

B:类型

C:代码

D:校验和

练习题

3、下列哪种协议的主要功能是进行主机或路由器间的网络层差错报告（）。

选择题

A:IPv4

B:ICMP

C:DHCP

D:UPnP

练习题

3、下列哪种协议的主要功能是进行主机或路由器间的网络层差错报告
(B)。 选择题

A:IPv4

B:ICMP

C:DHCP

D:UPnP

4.5 Internet网络层

知识点6： IPv6

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

IPv6数据报格式（基本首部）

32位

| | | | |
|--------------|----------|-----------|----------|
| | | | |
| 版本（4位） | 流量类型（8位） | 流标签（20位） | |
| 有效载荷长度（16位） | | 下一个首部（8位） | 跳数限制（8位） |
| 源IP地址（128位） | | | |
| 目的IP地址（128位） | | | |
| 数据 | | | |

4.5 Internet网络层

知识点6: IPv6

Internet网络层

- IPv4协议
- IPv4编址
- 动态主机配置协议
- 流量调节
- ICMP
- IPv6

IPv6地址：单播地址、组播地址、任播地址三类。

IPv6地址长度为128位，通常采用8组冒号分隔的十六进制数地址形式表示，例如：

5000:0000:00A1:0128:4500:0000:89CE:ABCD

4.5 Internet网络层

知识点6: IPv6

Internet网络层

IPv4协议
IPv4编址
动态主机配置协议
流量调节
ICMP
IPv6

IPV4到IPV6的迁移

(1) 双协议栈, 即支持IPV6的网络结点同时也支持IPv4, 同时具备发送IPV4与IPV6数据报的能力。为了实现IPv4与IPv6共存采用双协议栈, 其中通过DNS可以解决一个结点感知通信另一结点提供什么版本的网络层服务。

(2) 隧道, 可以很好地解决IPv6通信中经过IPv4路由器的问題, 同时也不会出现信息丢失的问题

练习题

1、IPv6 把 IP 地址的长度增加到了（ ）比特。 填空题

练习题

1、IPv6 把 IP 地址的长度增加到了（ 128 ）比特。 填空题

练习题

2、下列不属于IPv6地址的是（ ）。 选择题

A:单播地址

B:组播地址

C:全播地址

D:任播地址

练习题

2、下列不属于IPv6地址的是（ C ）。 选择题

A:单播地址

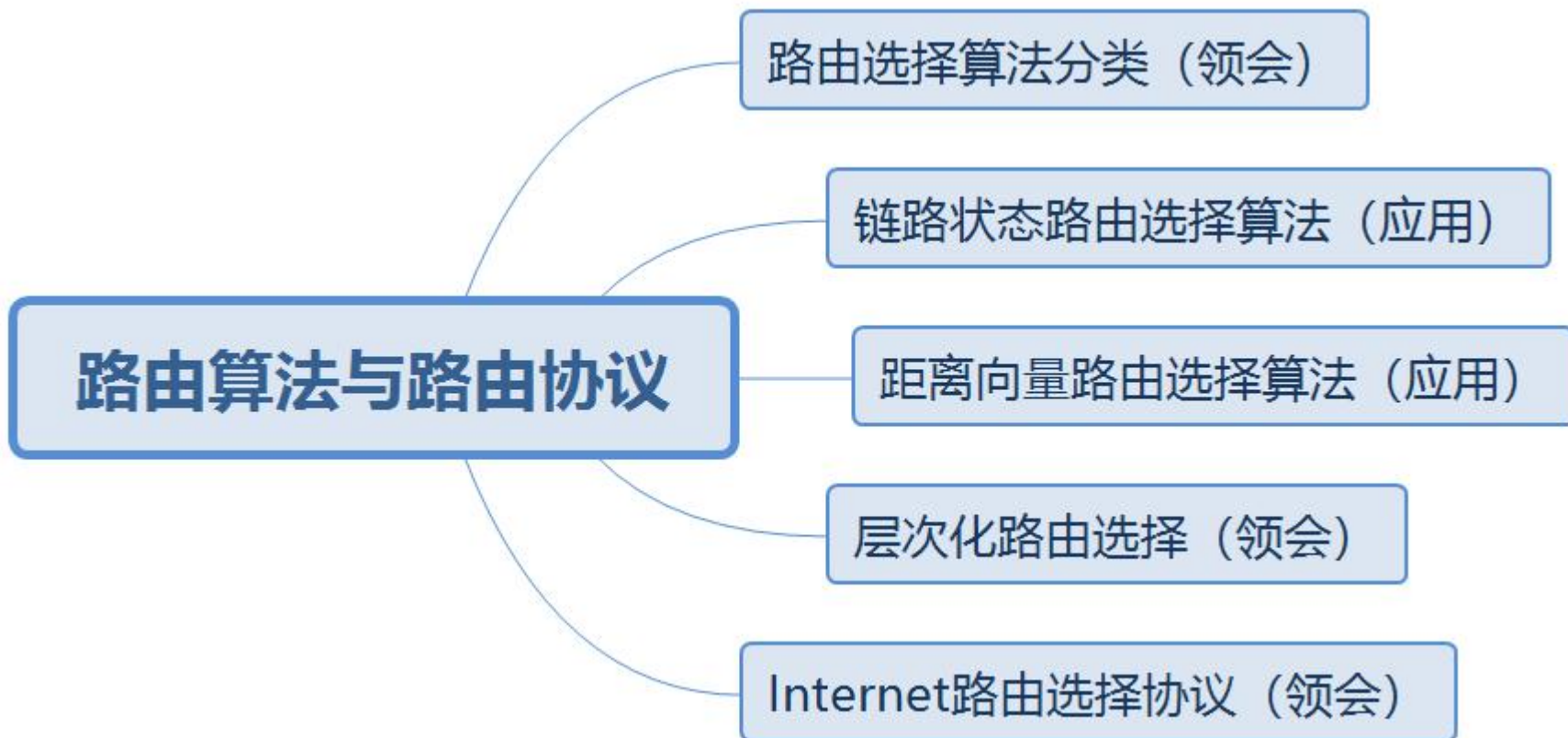
B:组播地址

C:全播地址

D:任播地址

4.6 路由算法与路由协议

本节知识点：



4.6 路由算法与路由协议

知识点1：路由选择算法分类

网络层拥塞控制

算法分类

链路状态

距离向量

层次化路由选择

路由选择协议

将网络抽象为一个带权无向图 $G=(N,E)$ ， N 表示结点集合， E 是边的集合。

4.6 路由算法与路由协议

知识点1：路由选择算法分类

网络层拥塞控制

算法分类

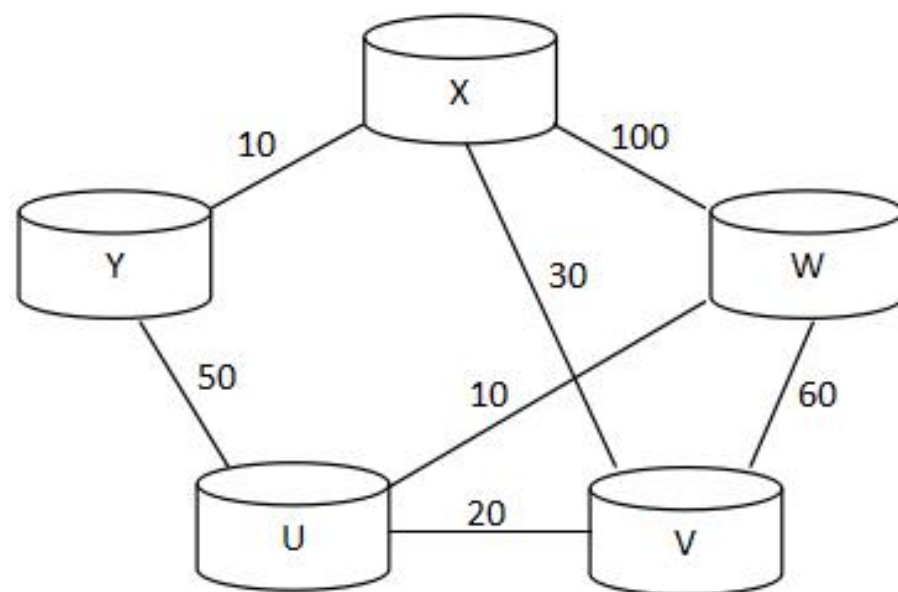
链路状态

距离向量

层次化路由选择

路由选择协议

网络中的路由器抽象为图G的结点，连接两个路由器的网络链路抽象为G的边



4.6 路由算法与路由协议

知识点1：路由选择算法分类

网络层拥塞控制

算法分类

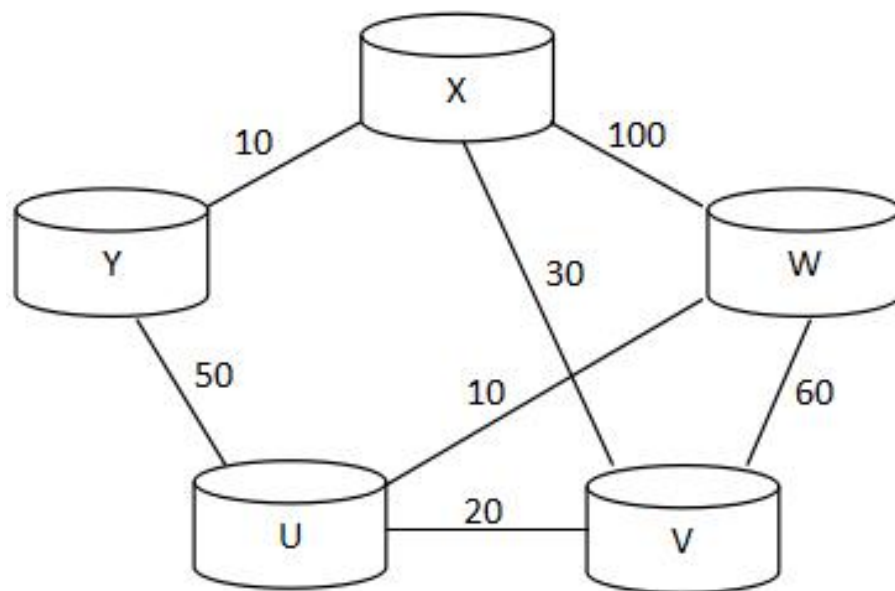
链路状态

距离向量

层次化路由选择

路由选择协议

网络链路的费用（比如带宽、时延等）抽象为G中的权值



4.6 路由算法与路由协议

知识点1：路由选择算法分类

网络层拥塞控制

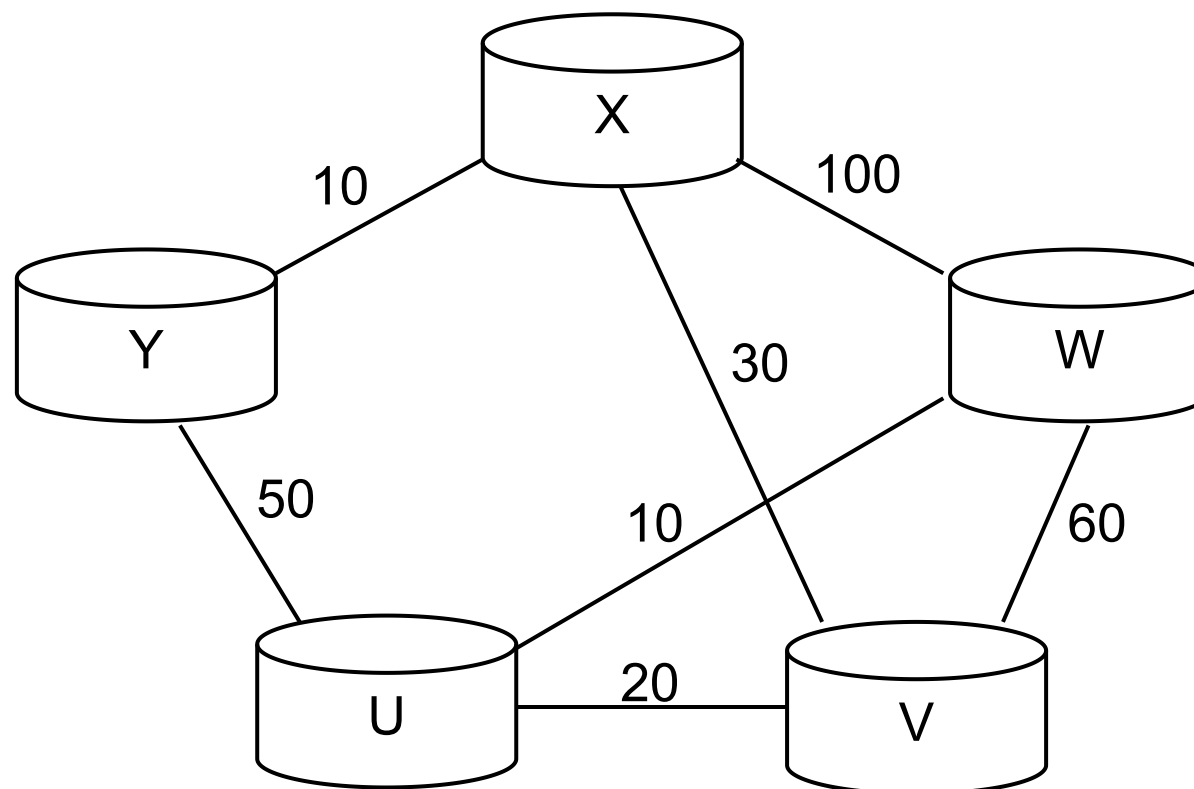
算法分类

链路状态

距离向量

层次化路由选择

路由选择协议



简单计算机网络的抽象

4.6 路由算法与路由协议

知识点1：路由选择算法分类

网络层拥塞控制

算法分类

链路状态

距离向量

层次化路由选择

路由选择协议

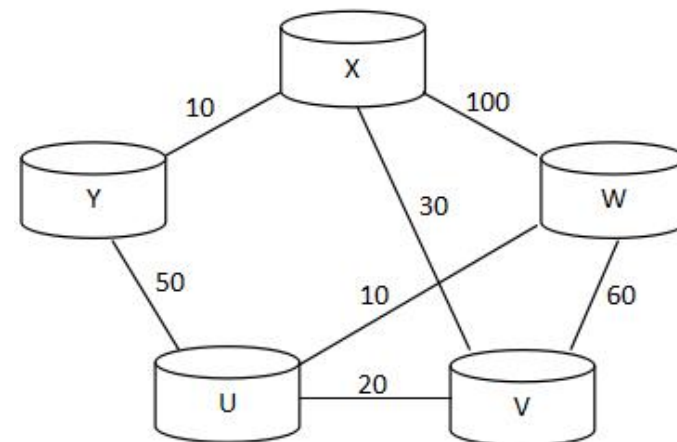
网络链路的费用（比如带宽、时延等）抽象为G中的权值。

两个结点x和y之间边的权值(即直接链路费用)，用 $c(x,y)$ 来表示。

如果x,y之间存在边， $c(x,y)=10$

如果不存在边， $c(x,u)=\infty$

路径{x,y,u,v}的费用是：



4.6 路由算法与路由协议

知识点1：路由选择算法分类

网络层拥塞控制

算法分类

链路状态

距离向量

层次化路由选择

路由选择协议

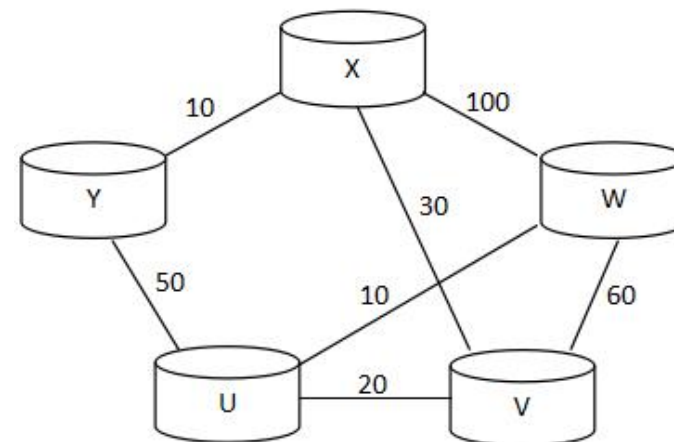
网络链路的费用（比如带宽、时延等）抽象为G中的权值。

两个结点x和y之间边的权值(即直接链路费用)，用 $c(x,y)$ 来表示。

如果x,y之间存在边， $c(x,y)=10$

如果不存在边， $c(x,u)=\infty$

路径{x,y,u,v}的费用是：80



4.6 路由算法与路由协议

知识点1：路由选择算法分类

第一种分类：

网络层拥塞控制

算法分类

链路状态

距离向量

层次化路由选择

路由选择协议

| | | |
|-----------|---|------------------|
| 全局式路由选择算法 | 需要根据网络的完整信息来计算最短路径 | 链路状态路由选择算法(LS算法) |
| 分布式路由选择算法 | 结点不会（也不需要）尝试获取整个网络拓扑信息，结点只需获知与其相连的链路的“费用”信息，以及邻居结点通告的到达其他结点的最短距离（估计）信息，经过不断的迭代计算，最终获知经由哪个邻居可以具有到达目的结点的最短距离。 | 距离向量路由选择算(DV算法) |

4.6 路由算法与路由协议

知识点1： 路由选择算法分类

第二种分类：

网络层拥塞控制

算法分类

链路状态

距离向量

层次化路由选择

路由选择协议

| | | |
|----|---------------------------|-----------|
| 静态 | 人工配置，网络变化时，不进行人工干预，就无法匹配。 | |
| 动态 | 网络发生变化，自动计算最佳路由。 | LS算法、DV算法 |

4.6 路由算法与路由协议

知识点1：路由选择算法分类

网络层拥塞控制

算法分类

链路状态

距离向量

层次化路由选择

路由选择协议

第三种分类：负载敏感的路由选择算法；负载迟钝的路由选择算法。