



5.2 网际协议IP



◆ 主要内容

1. 分类的IP地址
2. IP地址的分配与使用
3. IP分组的格式
4. 因特网地址到物理地址的映射（ARP协议）
5. 差错与控制报文协议(ICMP)
6. 子网编址
7. 无分类编址与CIDR
8. IP分组的转发



5.2 网际协议IP



1、分类的IP地址

- 把整个因特网看成为一个单一的、抽象的网络。IP地址就是给每个连接在因特网上的主机分配一个在全世界范围是惟一的32 bit 的标识符。
- IP地址采用分层的地址结构：**前缀 + 后缀**
- **前缀**（ network- ID，网络号部分）：表示主机所属的物理网络
- **后缀**（ host- ID，主机号部分）：用来区分物理网络内的主机
- 南京市鼓楼区东方雅苑5号301室

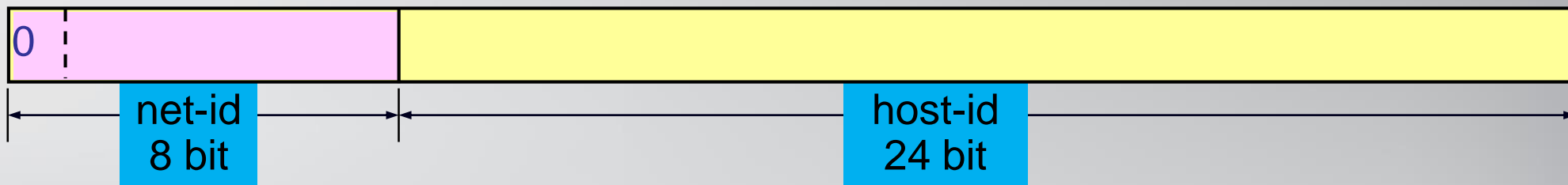
前缀

后缀

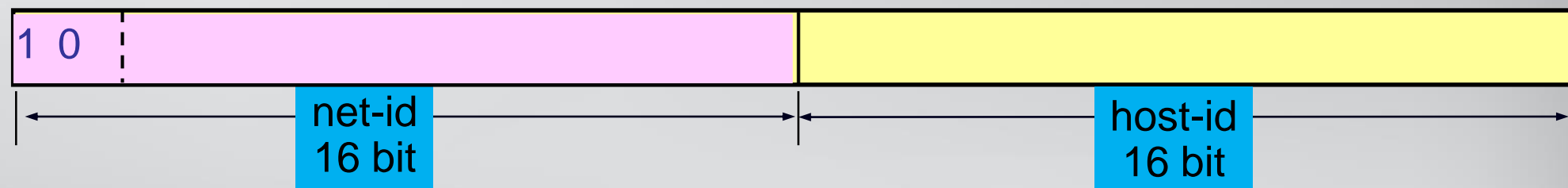
IP 地址中的网络号字段和主机号字段



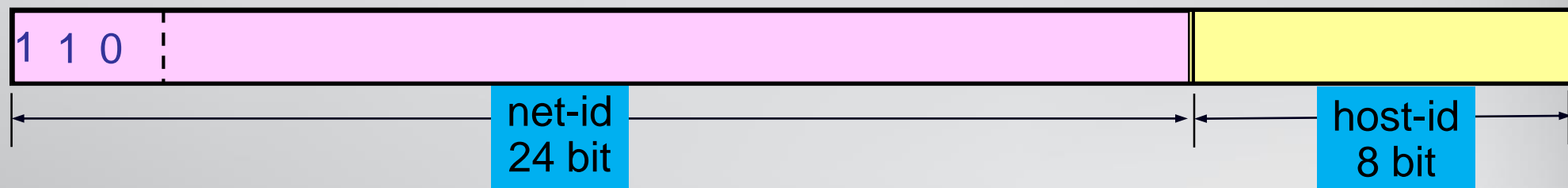
A 类地址



B 类地址



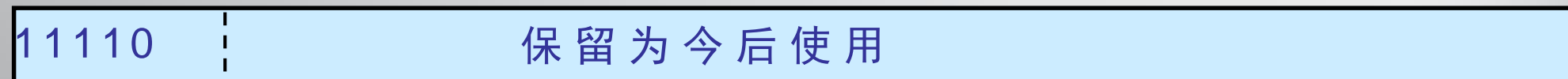
C 类地址



D 类地址

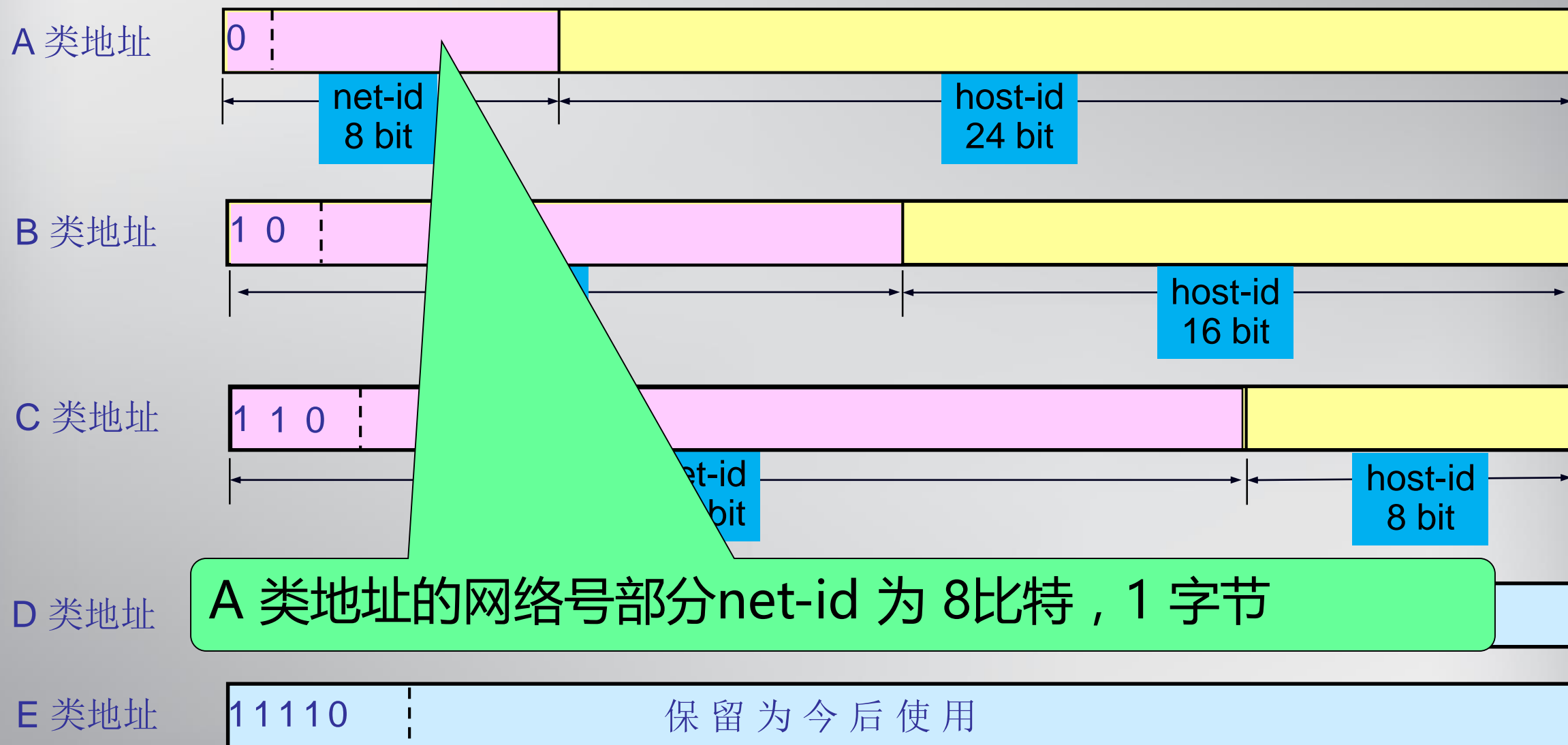


E 类地址

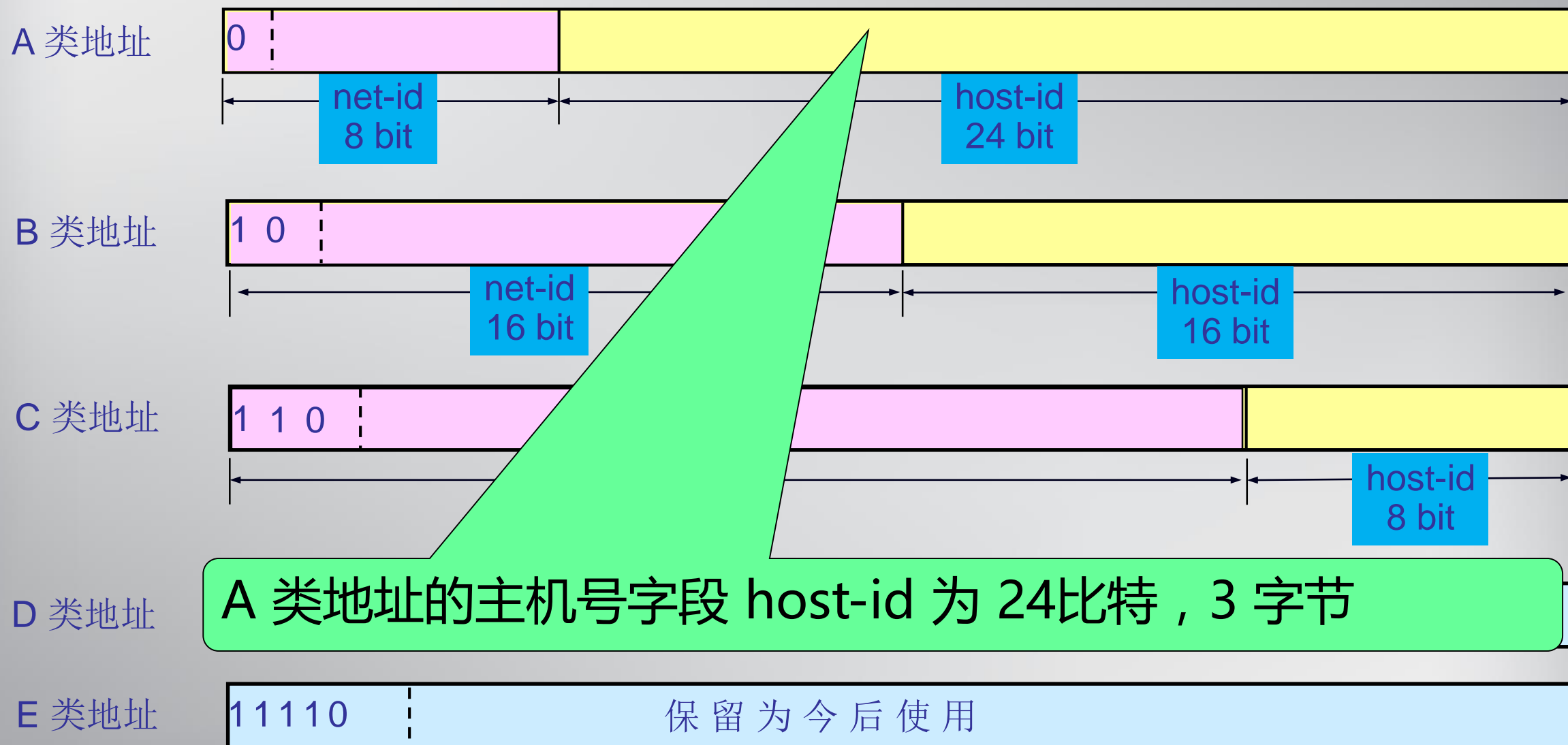




IP 地址中的网络号字段和主机号字段



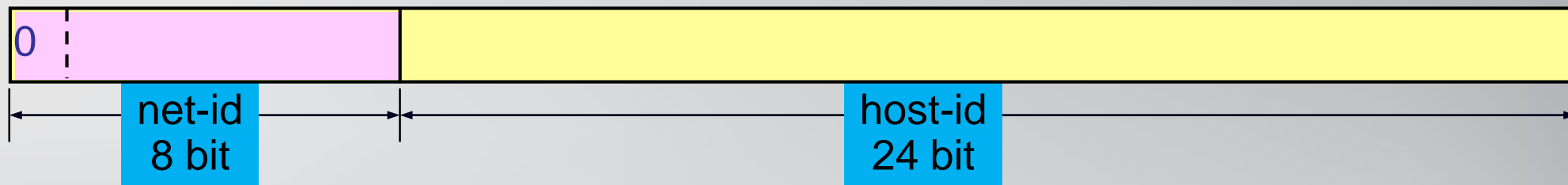
IP 地址中的网络号字段和主机号字段



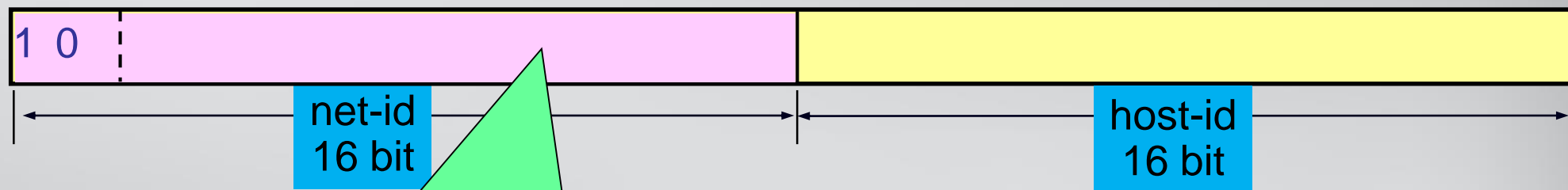


IP 地址中的网络号字段和主机号字段

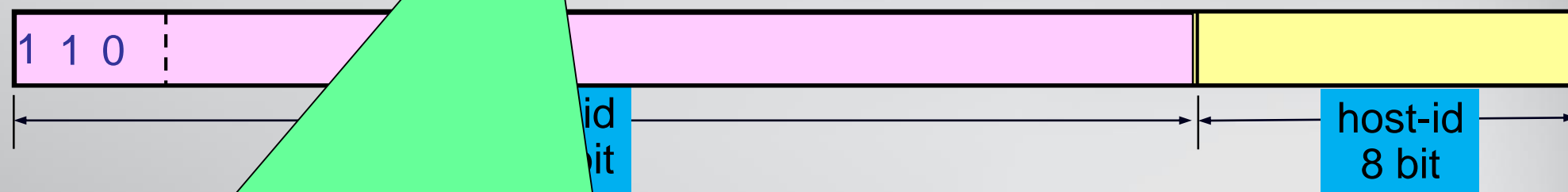
A 类地址



B 类地址



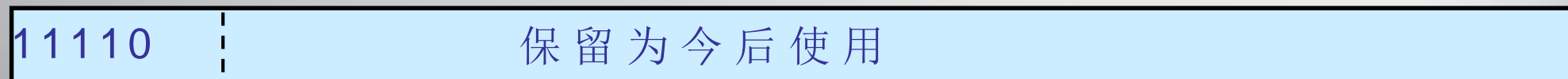
C 类地址



D 类地址

B 类地址的网络号字段 net-id 为 2 字节

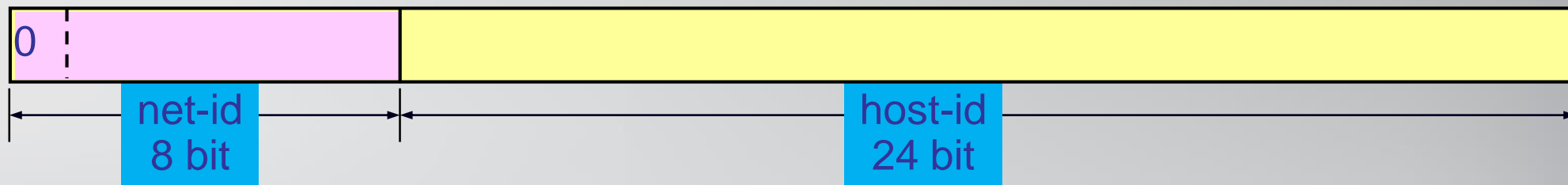
E 类地址



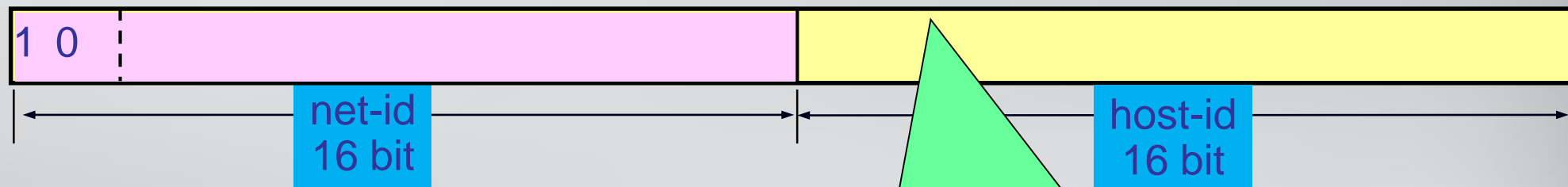


IP 地址中的网络号字段和主机号字段

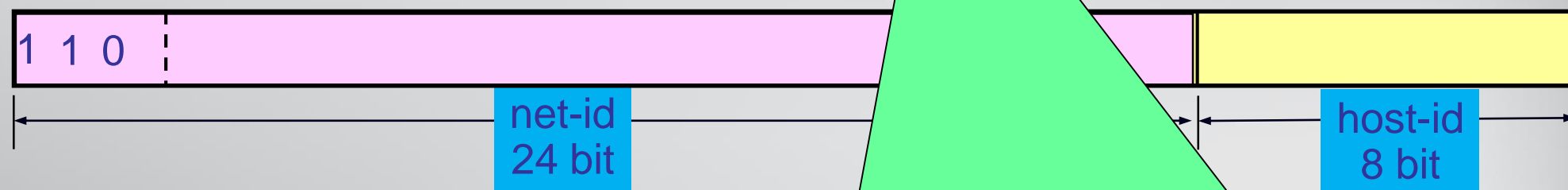
A 类地址



B 类地址



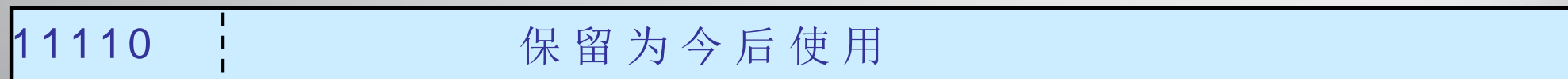
C 类地址



D 类地址

B 类地址的主机号字段 host-id 为 2 字节

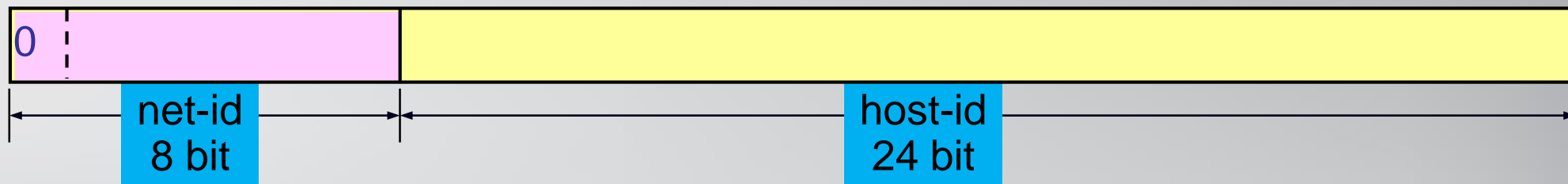
E 类地址



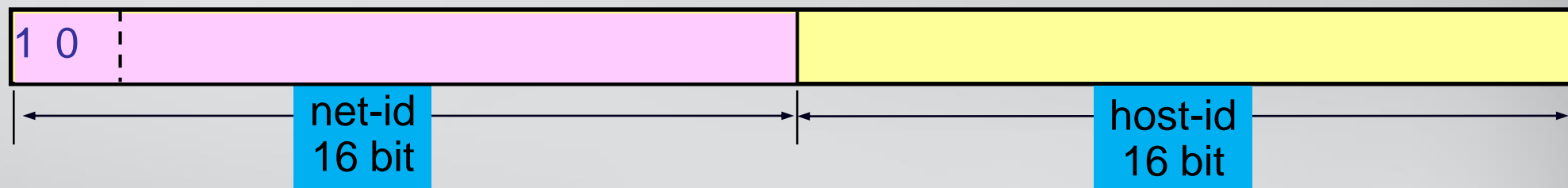


IP 地址中的网络号字段和主机号字段

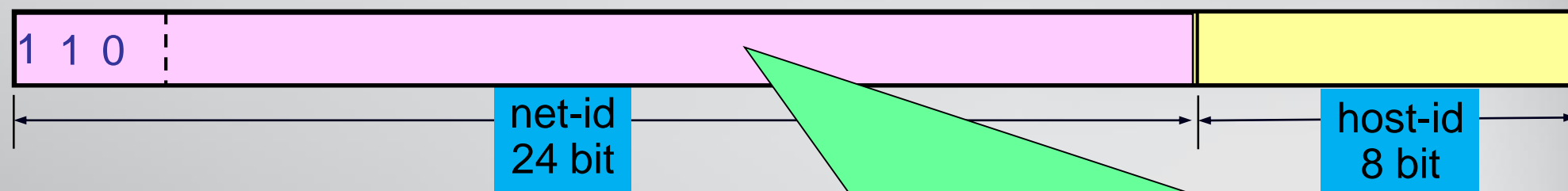
A 类地址



B 类地址



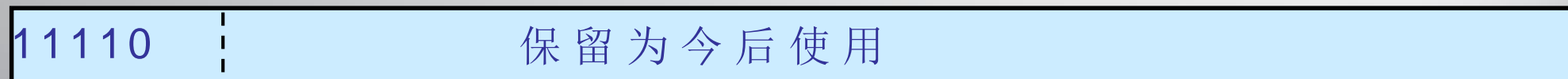
C 类地址



D 类地址

C 类地址的网络号字段 net-id 为 24 比特，3 字节

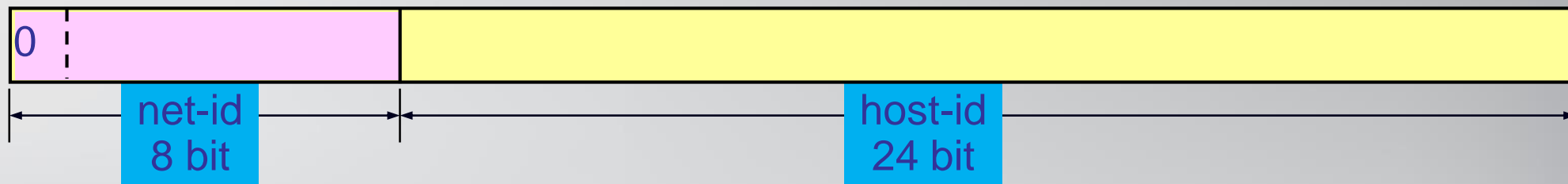
E 类地址



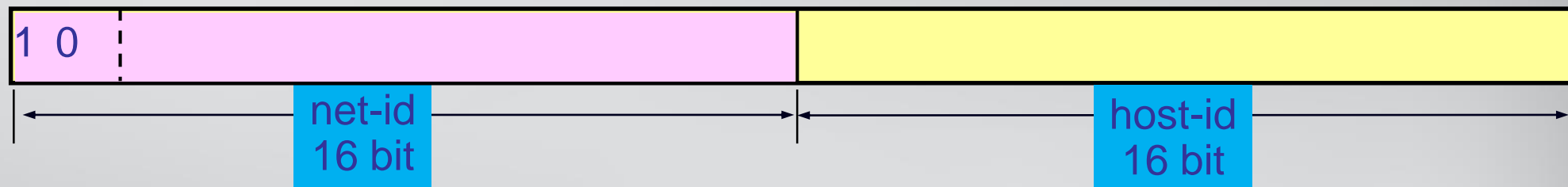


IP 地址中的网络号字段和主机号字段

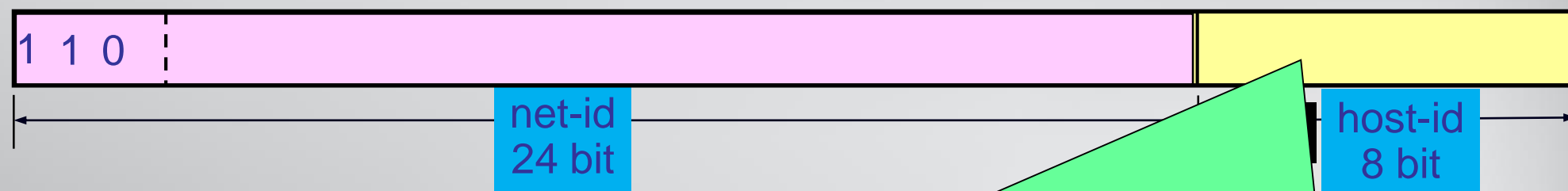
A 类地址



B 类地址



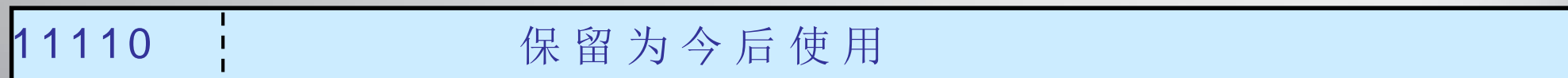
C 类地址



D 类地址

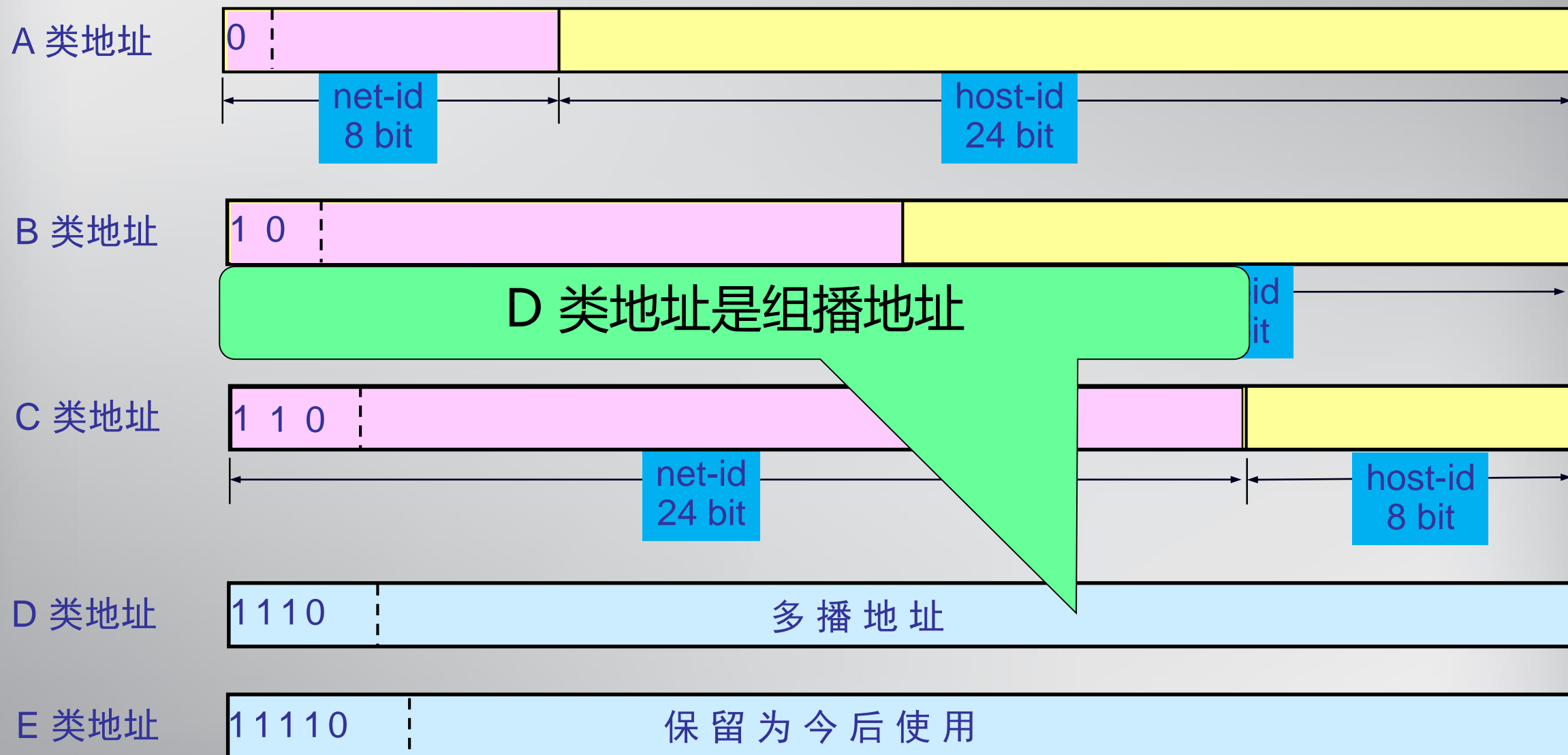
C 类地址的主机号字段 host-id 为 8 比特，1 字节

E 类地址



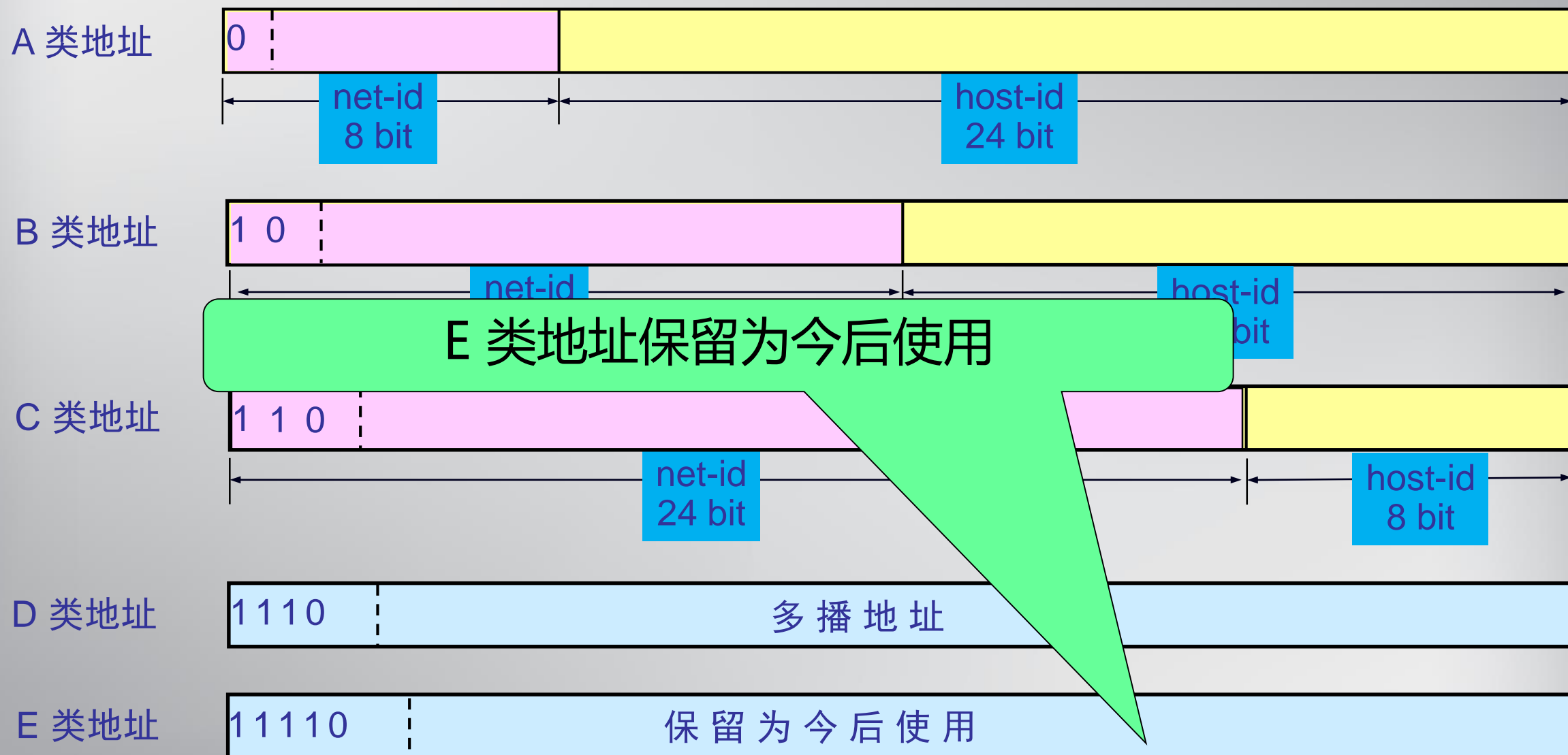


IP 地址中的网络号字段和主机号字段





IP 地址中的网络号字段和主机号字段





5.2 网际协议IP



1、分类的IP地址



点分十进制记法

机器中存放的 IP 地址
是 32 bit 二进制代码

10000011000010110010001100011010

将每 8 bit 的二进制数
转换为 0-255 之间的十进制数

10000011 00001011 00100011 00011010
131 11 35 26

采用点分十进制记法
则进一步提高可读性

131.11.35.26

网络地址

131.11.0.0



5.2 网际协议IP



1、分类的IP地址

常用的三种类型的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	16,384 (2^{14})	128.0	191.255	65,534
C	2,097,152 (2^{21})	192.0.0	223.255.255	254



5.2 网际协议IP



1、分类的IP地址

举例

IP地址是202.119.230.8的主机所在网络的网络地址是多少？

分析：因为该地址是C类地址，对于C类地址来说，网络号部分是24位，主机号部分是8位，所以对于其所在网络的网络地址来说，前24位保留，主机号部分则为全0。

答案：202.119.230.0



5.2 网际协议IP



2、IP地址的分配和使用

IP 地址是一种分等级的地址结构

- 第一，IP 地址管理机构在分配 IP 地址时只分配网络号，而剩下的主机号则由得到该网络号的单位自行分配。这样就方便了 IP 地址的管理。
- 第二，路由器仅根据目的主机所连接的网络号来转发分组（而不考虑目的主机号），这样就可以使路由表中的项目数大幅度减少，从而减小了路由表所占的存储空间和路由查找时间。



5.2 网际协议IP



2、IP地址的分配和使用

IP 地址是标志主机或路由器和一条网络链路的接口。

- 当一个主机同时连接到两个网络上时，该主机就必须同时具有两个IP 地址，且其网络号 net-id 必须是不同的。这种主机称为多接口主机(multihomed host)。
- 由于一个路由器至少应当连接到两个网络(这样它才能将 IP 数据报从一个网络转发到另一个网络)，因此一个路由器至少应当有两个不同的 IP 地址。



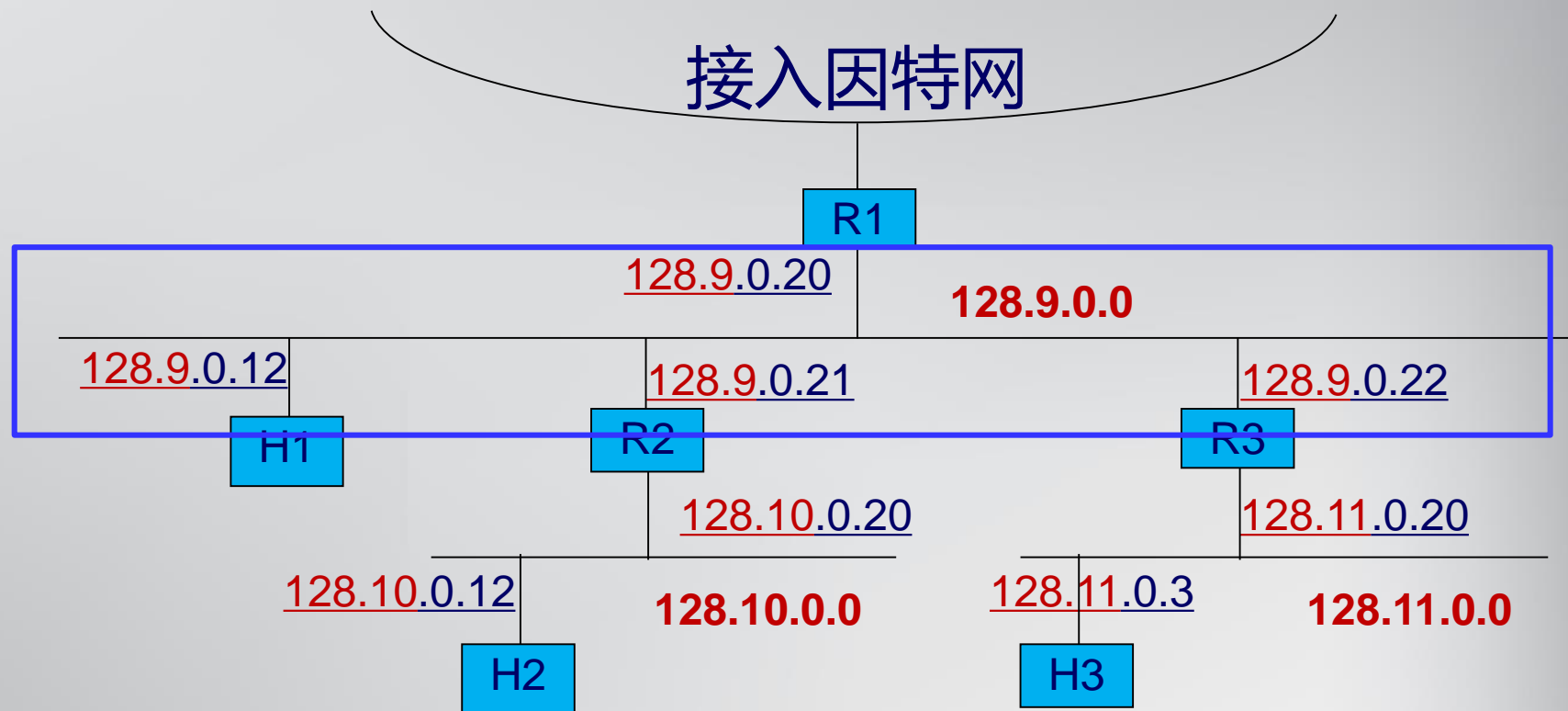
5.2 网际协议IP



2、IP地址的分配和使用

举例

设某单位有3个物理网络，分别分配了三个B类IP地址（如右图所示），请给图中的主机和路由器分配IP地址。





5.2 网际协议IP



3、IP数据报

- 因特网的基本传送单元是IP分组(或IP数据报)。
- 一个 IP 数据报由首部（报头）和数据两部分组成。
- 首部的前一部分是固定长度，共 20 字节，是所有 IP 数据报必须具有的。
- 在首部的固定部分的后面是一些可选字段，其长度是可变的。
- IP 数据报首部的固定部分和可选字段长度之和最大为 60 字节。

3、IP数据报



3、IP数据报



版本——占 4 bit，指IP协议的版本
目前的 IP 协议版本号为 0100，也就是4 (即 IPv4)

3、IP数据报



首部长度——占 4 bit，可表示的最大数值是 15 个单位(一个单位为 4 字节)
因此 IP 的首部长度的最大值是 60 字节。



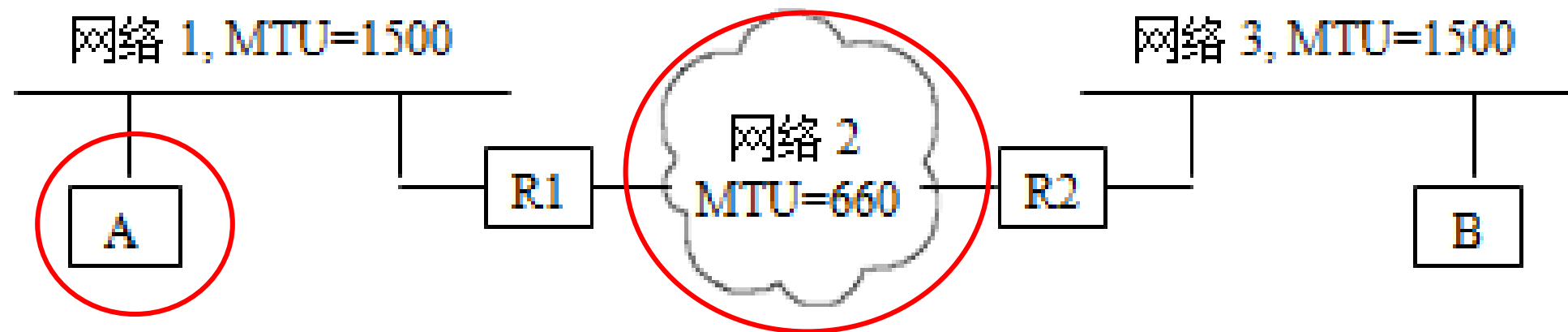
服务类型——占 8 bit，用来获得更好的服务
这个字段以前一直没有被人们使用，通常是00000000

3、IP数据报



总长度——占 16 bit，指首部和数据之和的长度，单位为字节，因此数据报的最大长度为 65535 字节。总长度必须不超过最大传送单元 MTU。

3、IP数据报



3、IP数据报



标识、标志和片偏移这三个字段和分片相关。

3、IP数据报



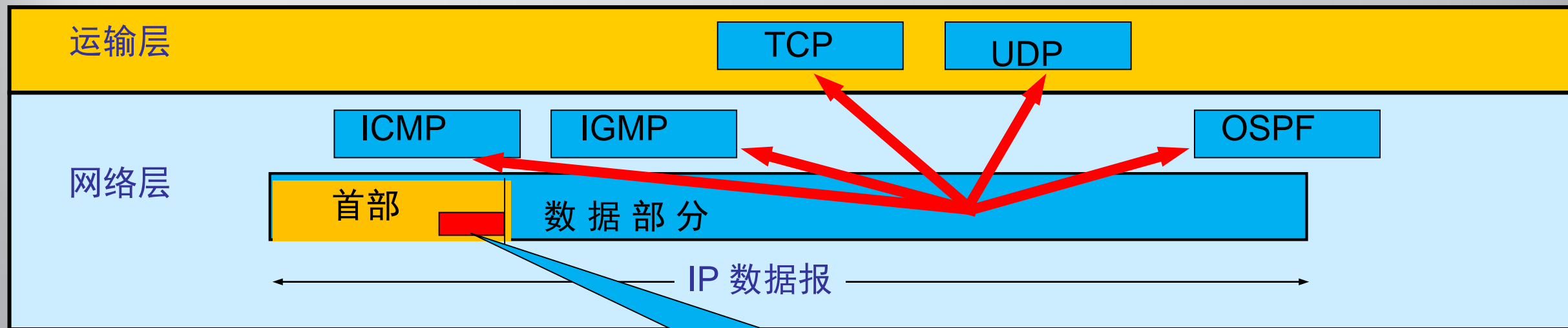
生存期(8 bit)记为 TTL (Time To Live)
表示IP数据报在网络中的寿命，目前的单位是跳。

3、IP数据报



协议(8 bit)字段指出此数据报携带的数据使用何种协议以便目的主机的 IP 层将数据部分上交给哪个协议软件处理

3、IP数据报



协议字段指出应将数据部分交给哪一个进程

3、IP数据报



指定的网际协议编号

协议字段值 (十进制表示)	1	4	6	17
协议名	ICMP	IP	TCP	UDP

3、IP数据报



首部检验和(16 bit)字段只检验数据报的首部
不包括数据部分。
这里不采用 CRC 检验码而采用简单的计算方法。

3、IP数据报



源IP地址和目的IP地址都各占 4 字节

3、IP数据报





5.2 网际协议IP



3、IP数据报

举例

使用Wireshark采集某主机访问南邮的网站服务器时所传输的报文，其中有个数据帧的内容如下图所示（均用16进制表示），请分析该帧中封装的IP数据报中的一些关键字段：

- ①数据报首部长度为多少字节？ ②数据报的总长度是多少字节？ ③数据报的协议字段是多少，表示什么协议？ ④源主机和目的主机IP地址分别是什么？ ⑤已知初始TTL=64，从当前主机到南邮的网站服务器，大概经过了几台路由器的转发？

<u>0000</u> :	f0 1f af 67 52 a7 00 19 e0 38 12 e4 08 00 45 00
<u>0010</u> :	00 34 00 00 40 00 3b 06 0b 76 ca 77 e0 c9 c0 a8
<u>0020</u> :	c8 64 00 50 c5 74 13 0b 52 0c 53 fa d8 8c 80 12
<u>0030</u> :	16 d0 cc 7f 00 00 02 04 05 b4 01 01 04 02 01 03



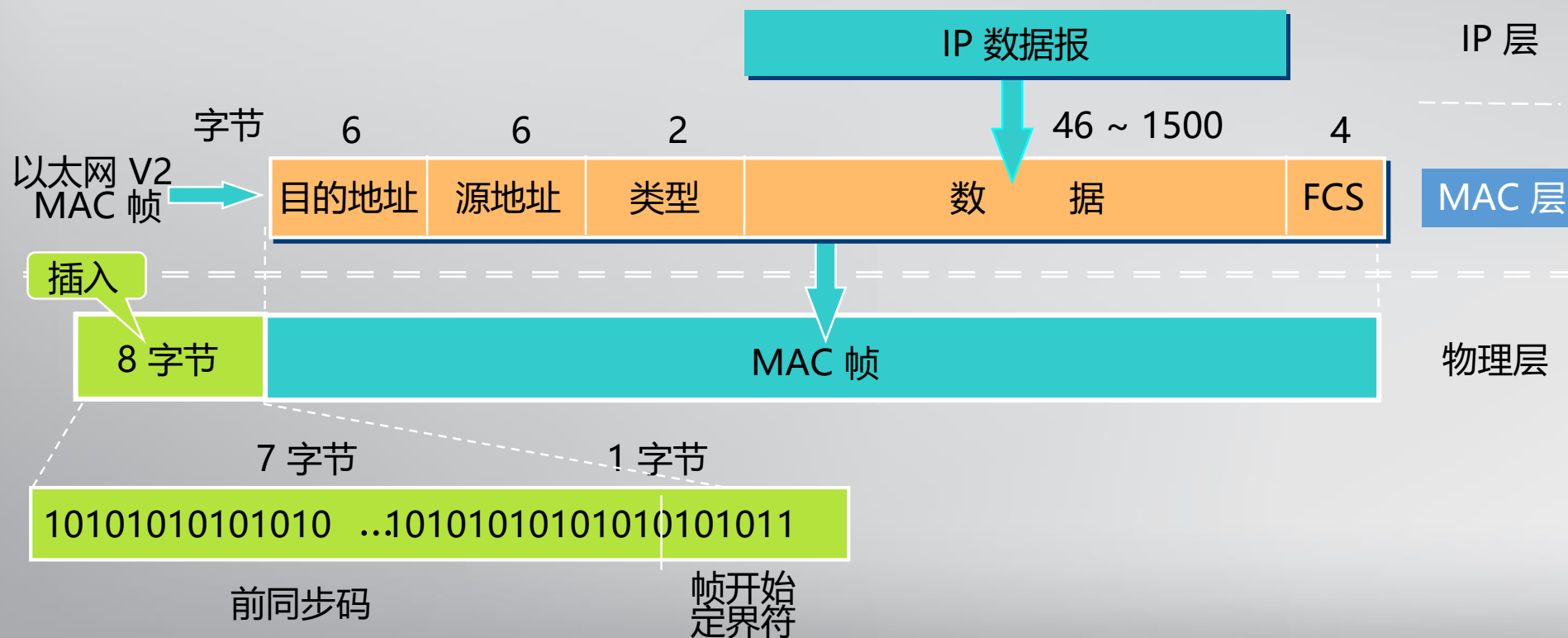
5.2 网际协议IP



3、IP数据报

举例

首先来看封装的关系，当以太网MAC帧首部中的类型字段是0800时，表示其数据部分封装的是IP数据报。





5.2 网际协议IP



3、IP数据报

举例

①数据报首部长度的多少字节？ ②数据报的总长度是多少字节？
③数据报的协议字段是多少，表示什么协议？ ④源主机和目的主机IP地址分别是什么？ ⑤已知初始TTL=64，从当前主机到南邮的网站服务器，大概经过了几台路由器的转发？

目的MAC地址

源MAC地址

首部长度=5*4=20

<u>0000</u> :	f0	1f	af	67	52	a7	00	19	e0	38	12	e4	08	00	45	00
<u>0010</u> :	00	34	00	00	40	00	3b	06	0b	76	ca	77	e0	c9	c0	a8
<u>0020</u> :	c8	64	00	50	c5	74	13	0b	52	0c	53	fa	d8	8c	80	12
<u>0030</u> :	16	d0	cc	7f	00	00	02	04	05	b4	01	01	04	02	01	03



5.2 网际协议IP



3、IP数据报

举例

①数据报首部长度的多少字节？ ②数据报的总长度是多少字节？
③数据报的协议字段是多少，表示什么协议？ ④源主机和目的主机IP地址分别是什么？ ⑤已知初始TTL=64，从当前主机到南邮的网站服务器，大概经过了几台路由器的转发？

协议类型字段，表示TCP

总长度
=52字节

<u>0000</u> :	f0	1f	af	67	52	a7	00	10	e0	38	12	e4	08	00	45	00
<u>0010</u> :	00	34	00	00	40	00	3b	06	0b	76	ca	77	e0	c9	c0	a8
<u>0020</u> :	c8	64	00	50	c5	74	13	0b	52	0c	53	fa	d8	8c	80	12
<u>0030</u> :	16	d0	cc	7f	00	00	02	04	05	b4	01	01	04	02	01	03



5.2 网际协议IP



3、IP数据报

举例

- ①数据报首部长度的多少字节？ ②数据报的总长度是多少字节？
③数据报的协议字段是多少，表示什么协议？ ④源主机和目的主机IP地址分别是什么？ ⑤已知初始TTL=64，从当前主机到南邮的网站服务器，大概经过了几台路由器的转发？

目的IP地址：192.168.200.100 源地址：202.119.224.201

<u>0000:</u>	f0	af	67	52	a7	00	19	e0	38	12	08	00	45	00		
<u>0010:</u>	00	4	00	00	40	00	3b	06	0b	76	ca	77	e0	c9	c0	a8
<u>0020:</u>	c8	64	00	50	c5	74	13	0b	52	0c	53	fa	d8	8c	80	12
<u>0030:</u>	16	d0	cc	7f	00	00	02	04	05	b	01	01	04	02	01	03

TTL: 64-59=5



5.2 网际协议IP



南京邮电大学
Nanjing University of Posts and Telecommunications



3、IP数据报

小结

刚刚通过一道例题给大家讲解了如何对捕获到的数据帧以及IP数据报进行分析，请同学们一定要掌握分析的方法，特别是16进制和十进制或者二进制之间的转换不要出错，接下来要给同学们介绍的是在前面提到过的有关IP数据报的分片与重组。



5.2 网际协议IP

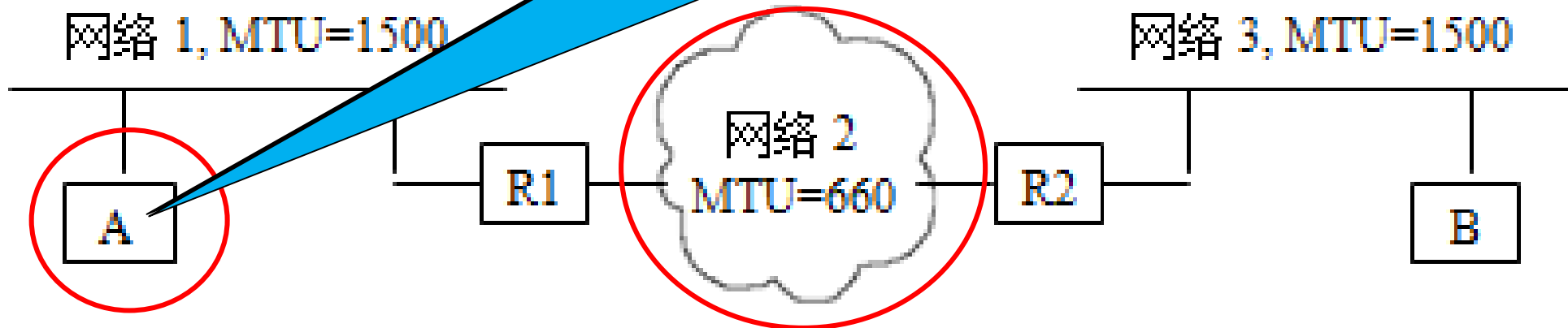


3、IP数据报

IP数据报的分片与重组

问题1：为什么要分片？

发送的IP数据报总长度=1420字节，超出了某网络的MTU





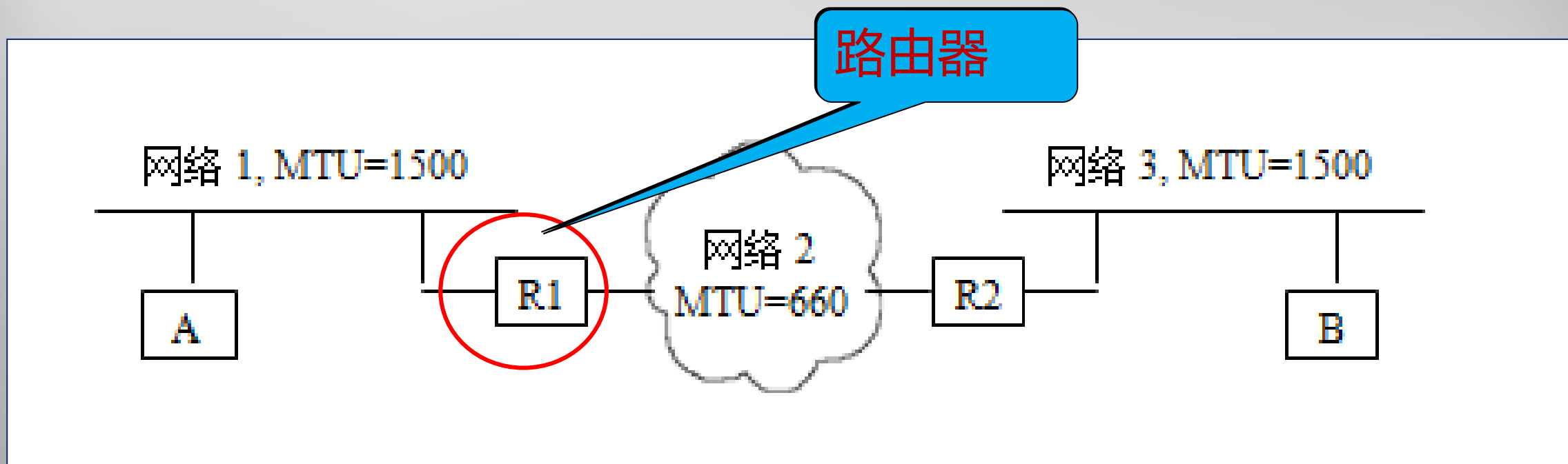
5.2 网际协议IP



3、IP数据报

IP数据报的分片与重组

问题2：分片的工作由谁负责完成？





5.2 网际协议IP

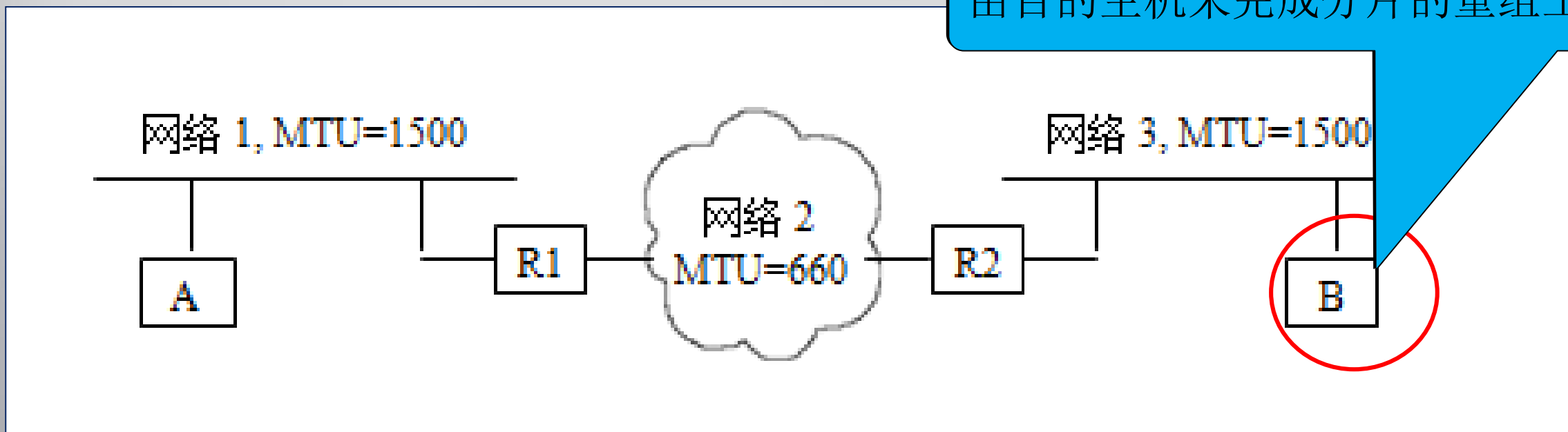


3、IP数据报

IP数据报的分片与重组

问题3：数据报分片的重组工作由谁来负责？

由目的主机来完成分片的重组工作





5.2 网际协议IP



3、IP数据报

IP数据报的分片与重组

问题4：如何分片？

标识、标志和片偏移这三个字段和分片相关。





标识(identification) 占 16 bit，它是一个计数器，是源主机赋予数据报的惟一标识符。在分片的时候，该字段会被复制到各个分片首部中的标识字段。



标志 占 3 bit，第一个比特不用，
第二个比特DF位（Don't Fragment flag）：是否允许被分片（0：允许）
第三个比特是MF位（More Fragments flag，简称MF），表示是否有后续分片，MF位=1表示该数据报不是最后一个分片。



片偏移(13 bit)指出：该字段指出本数据报文中的数据部分第一个字节相对于原数据报中数据部分的偏移量，请注意：该字段是以8个字节为单位来计算偏移量的。



5.2 网际协议IP



3、IP数据报

IP数据报的分片与重组

目的主机能够根据分片中的源主机IP地址、标识、标志字段中的MF位以及片偏移量来重装出最初始数据报的完整副本，除非没能收齐所有分片。

在实际应用中，如果需要分片，总是希望分片的个数越少越好，又因为片偏移量是以8字节为单位，所以除了最后一个分片外，其余分片的数据部分的大小应尽量接近但不超过网络MTU，并且是8字节的整数倍。



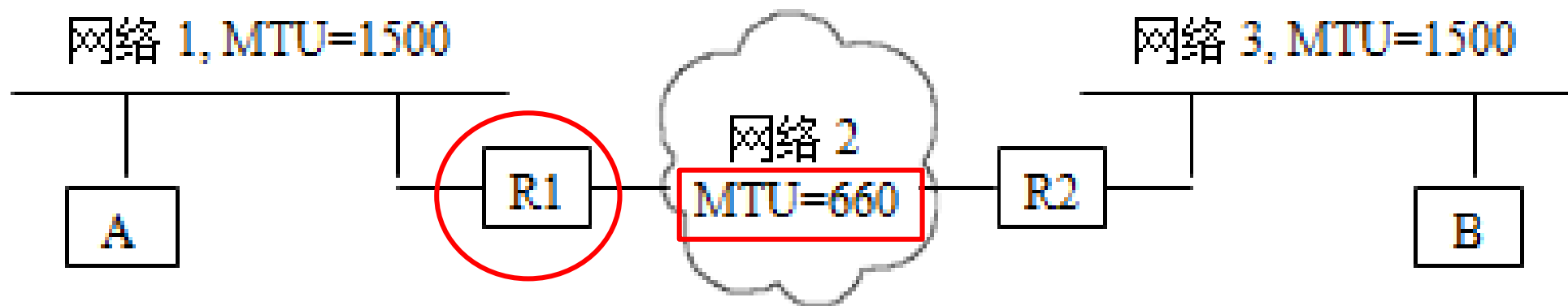
5.2 网际协议IP



3、IP数据报

IP数据报的分片举例

在下图所示的小型互联网中，主机A向B发送了一个首部20字节，数据部分1400字节长，且DF位为0的IP数据报，请问该数据报会被分片吗？如果需要分片，请写出分片结果。





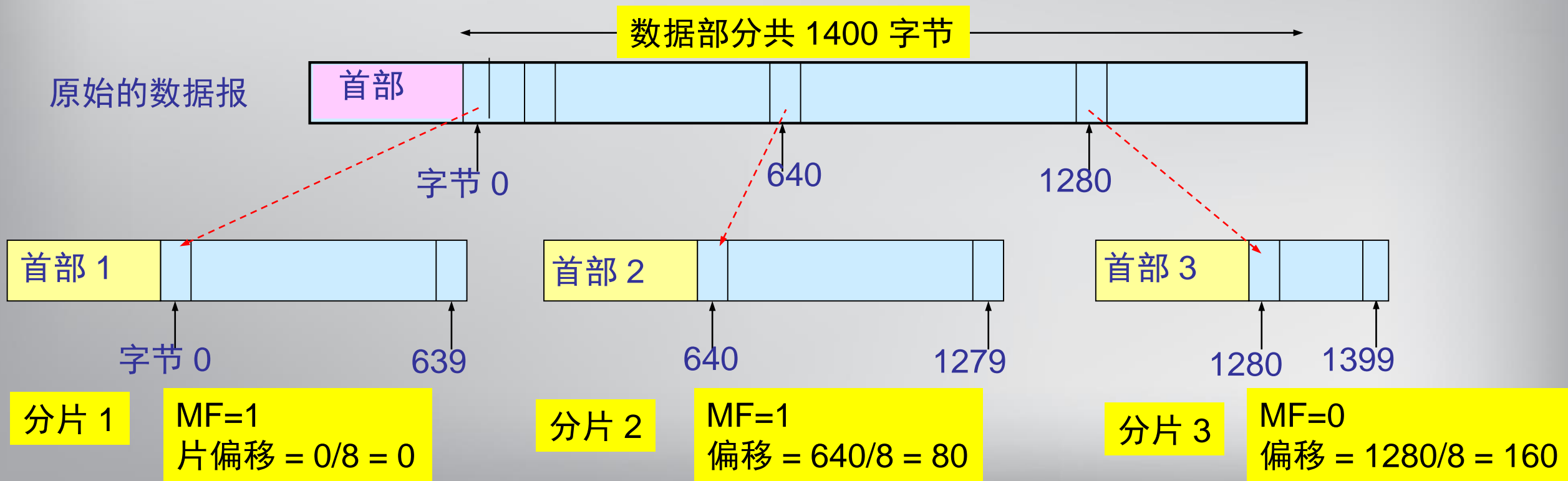
5.2 网际协议IP



3、IP数据报

IP数据报的分片举例

每个分片的数据部分长度=640字节，
所以分片的个数=1400/640，然后向上取整，最终结果是3。





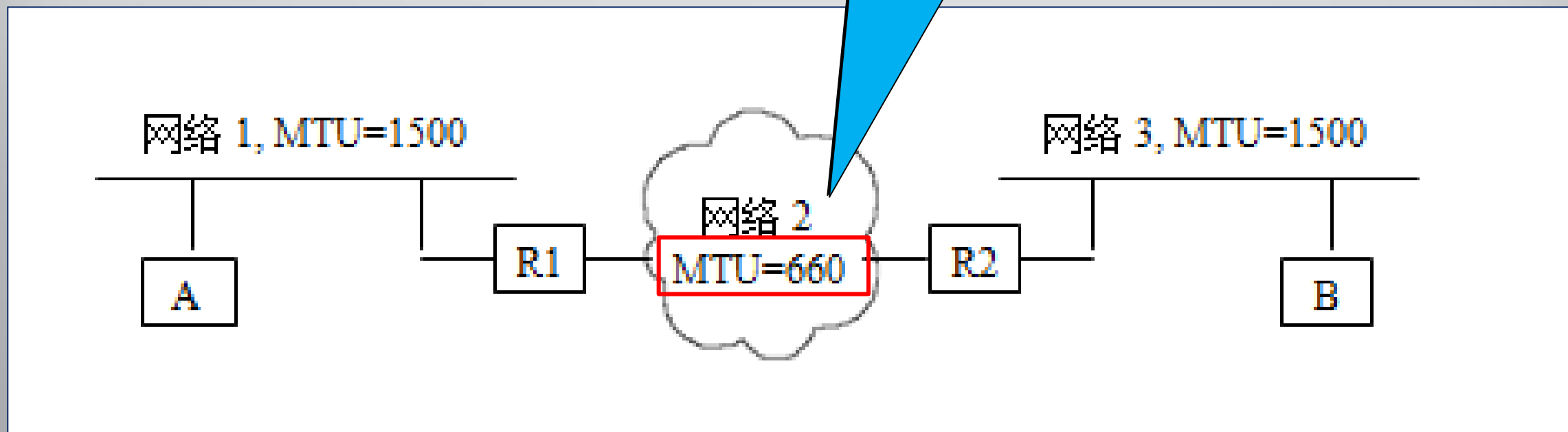
5.2 网际协议IP



3、IP数据报

课后思考

网络的MTU=600 ?

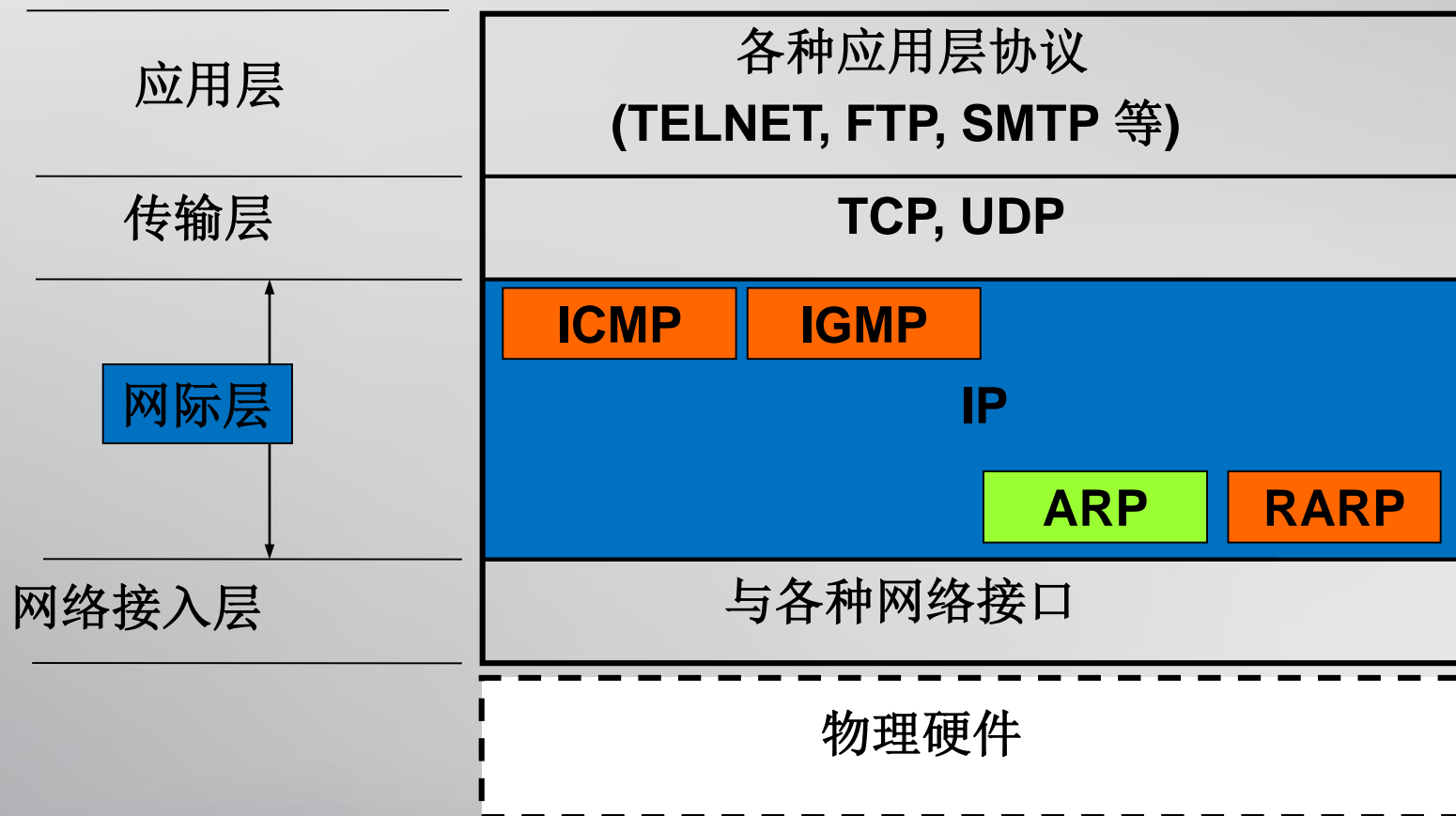




5.2 网际协议IP



网际协议IP及其配套协议





5.2 网际协议IP

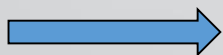


4、地址解析协议ARP

ARP的作用

- 地址解析ARP为网络层(IP)地址 和 数据链路层 (MAC) 地址提供动态映射。

IP地址



MAC地址

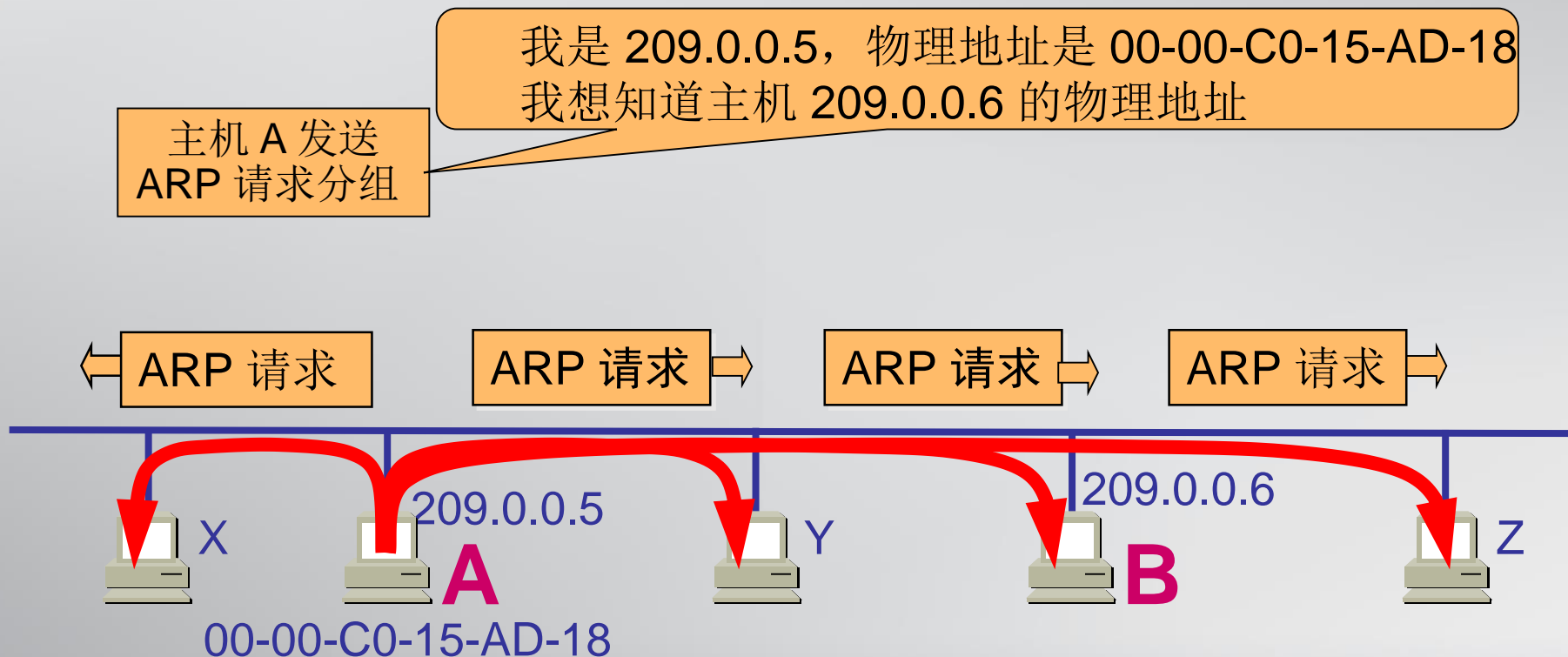


5.2 网际协议IP



4、地址解析协议ARP

使用广播的方式获得物理地址



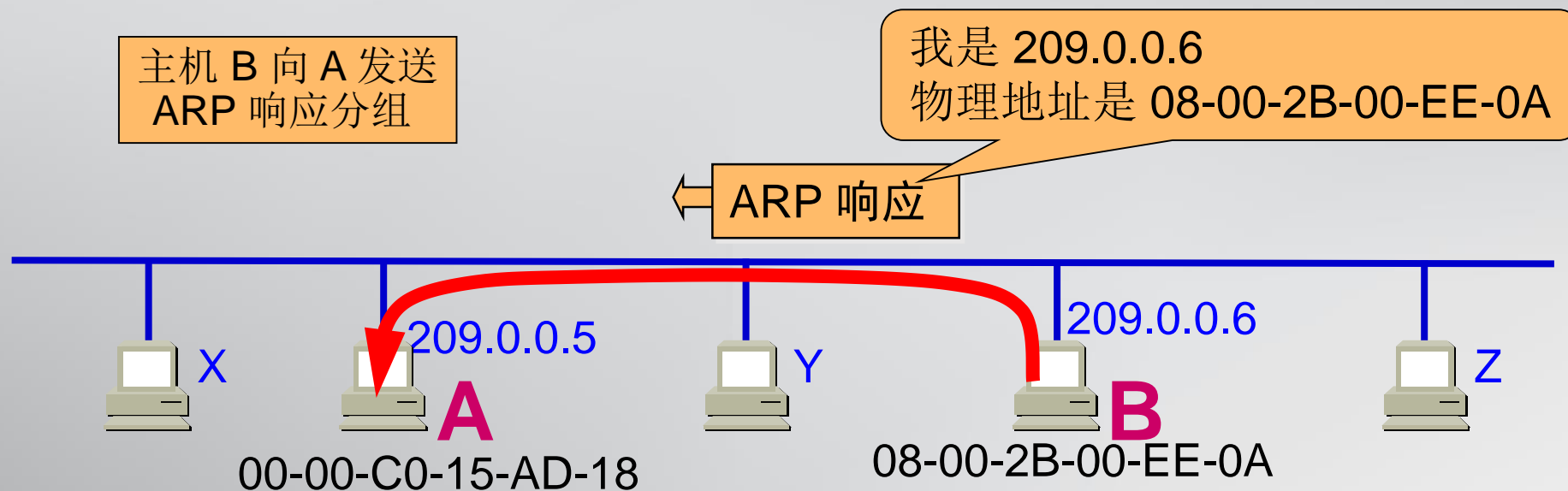


5.2 网际协议IP



4、地址解析协议ARP

使用广播的方式获得物理地址





5.2 网际协议IP



4、地址解析协议ARP

使用ARP高速缓存

- 每一个主机中都设有一个 ARP 高速缓存(ARP cache)，里面存放的是最近获得的局域网上各主机和路由器的 IP 地址到硬件地址的映射表。
- 可以通过命令 “arp -a” 来查看本机的ARP缓存中内容



5.2 网际协议IP



4、地址解析协议ARP

使用ARP高速缓存

```
C:\Documents and Settings\Administrator>arp -a
```

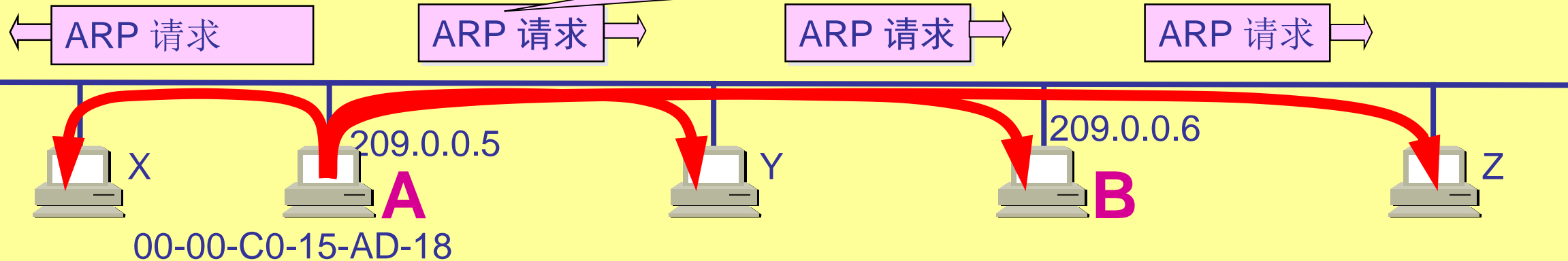
```
Interface: 10.34.41.206 --- 0x3
```

Internet Address	Physical Address	Type
10.34.1.20	00-25-9e-fb-7e-e4	dynamic

```
C:\Documents and Settings\Administrator>
```

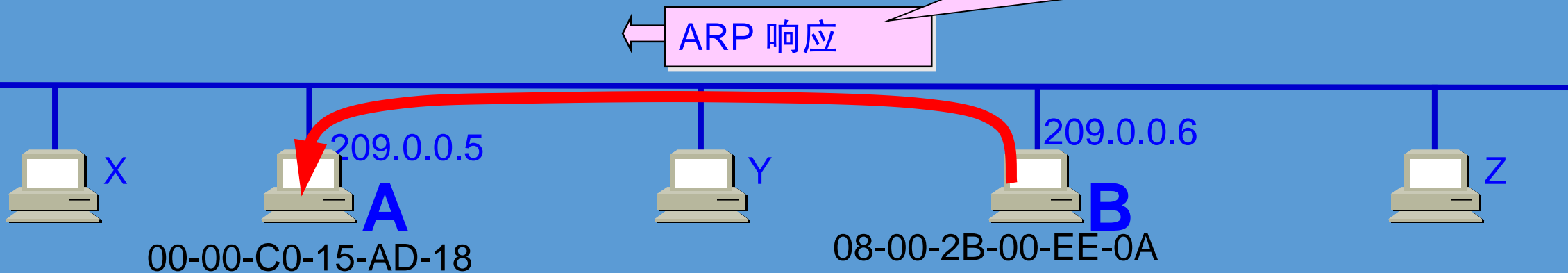
主机 A 广播发送
ARP 请求分组

我是 209.0.0.5, 物理地址是 00-00-C0-15-AD-18
我想知道主机 209.0.0.6 的物理地址



主机 B 向 A 发送
ARP 响应分组

我是 209.0.0.6
物理地址是 08-00-2B-00-EE-0A





5.2 网际协议IP



4、地址解析协议ARP

使用ARP高速缓存

- 所以，当发送分组时，计算机在发送ARP请求之前总是先在 ARP 缓存中寻找所需的绑定，若有，则无须广播。

但这种方法中存在一个问题：**信息可以在没有任何警告的情况下变的“失效”**。如何解决？？



5.2 网际协议IP



4、地址解析协议ARP

➤ ARP高速缓存超时

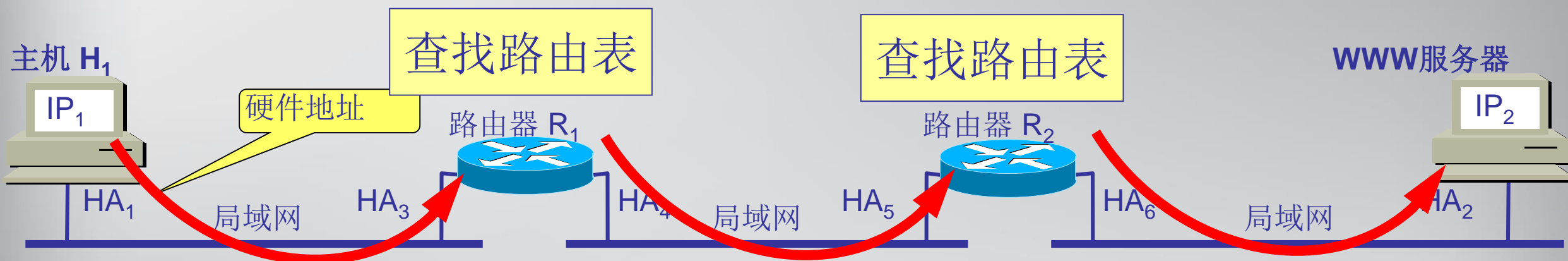
- 在协议中设置一计时器，典型的超时时间为20分钟，当计时器超时则删除状态信息。



【课内思考题】



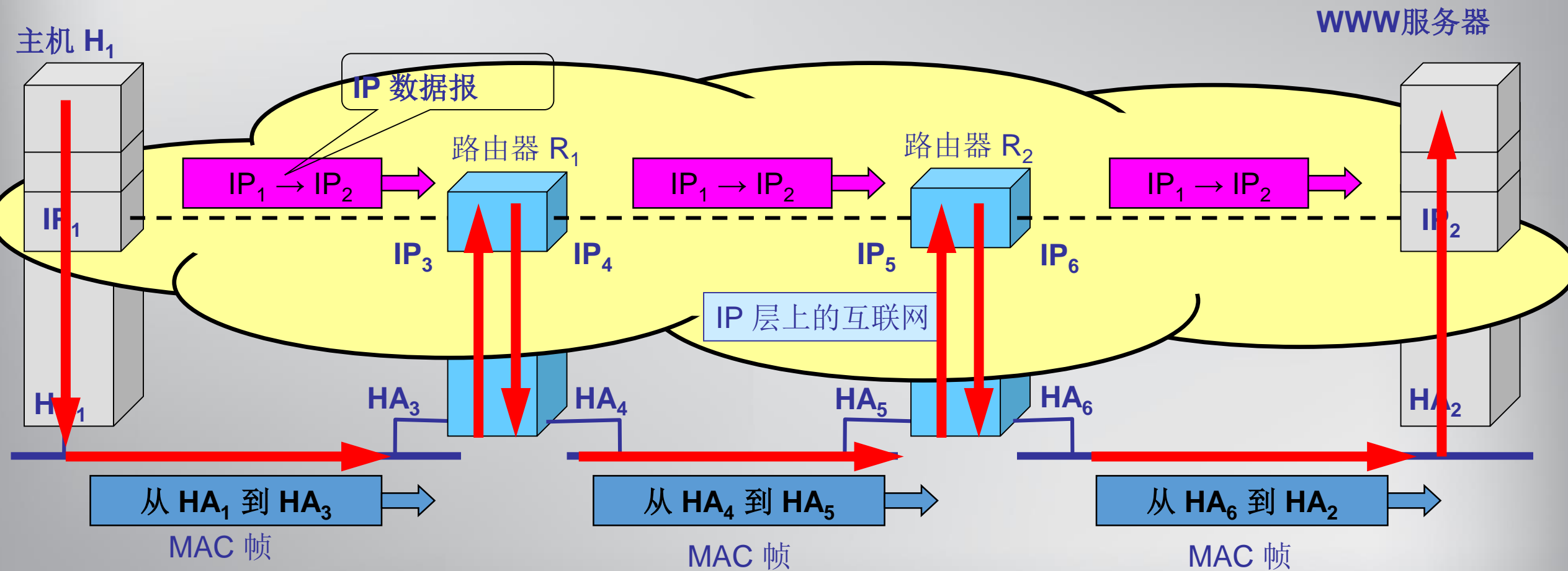
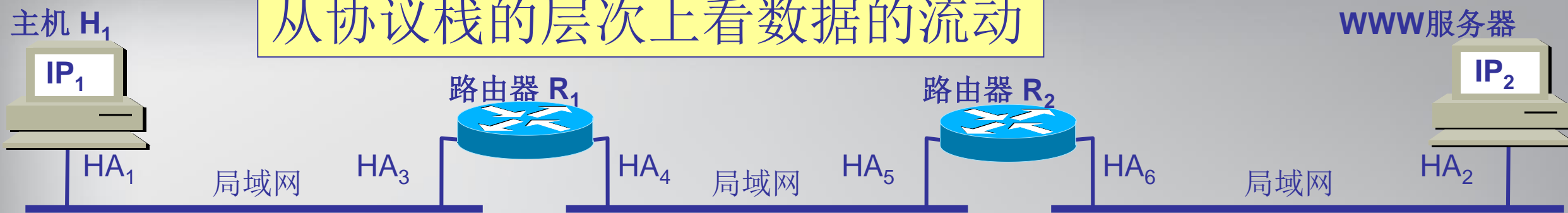
若想访问南京邮电大学网站，在浏览器地址栏中输入<http://www.njupt.edu.cn>，请问此时通过自己电脑中的ARP协议软件获得我们学校WWW服务器的物理地址吗？



通信的路径

$H_1 \rightarrow$ 经过 R_1 转发 \rightarrow 再经过 R_2 转发 \rightarrow WWW服务器

从协议栈的层次上看数据的流动





5.2 网际协议IP



4、地址解析协议ARP

应当注意的问题

- ARP 是解决**同一个**物理网络上的主机或路由器的 IP 地址和硬件地址的映射问题。
- 从IP地址到硬件地址的解析是自动进行的，是由主机所运行的TCP/IP内核实现的，主机的用户对这种地址解析过程是不知道的。



5.2 网际协议IP



4、地址解析协议ARP

课后思考题

我们经常会听说有“**ARP诱骗**”或者“**ARP攻击**”，请同学们自己在课后查找资料，如何防止这些网络中不安全的因素？

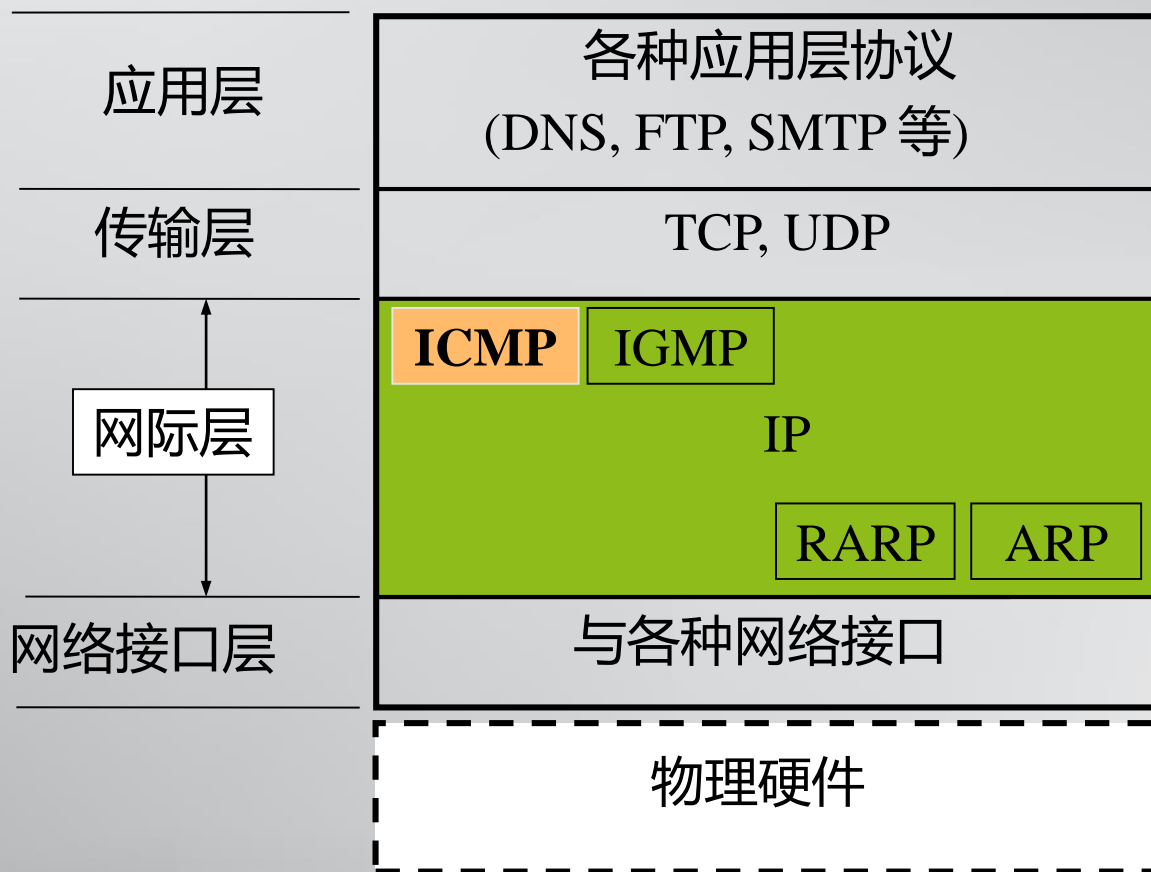


5.2 网际协议IP



5、因特网控制报文协议 ICMP

ICMP的背景





5.2 网际协议IP



5、因特网控制报文协议 ICMP

ICMP的概念

- **ICMP** (**I**nternet **C**ontrol **M**essage **P**rotocol) 是因特网控制报文协议。
- ICMP用于在IP主机、路由器之间传递控制消息。
- ICMP 允许主机或路由器报告差错情况和提供有关异常情况的报告。
- ICMP 报文作为 IP 层数据报的数据，加上数据报的首部，组成IP数据报发送出去。



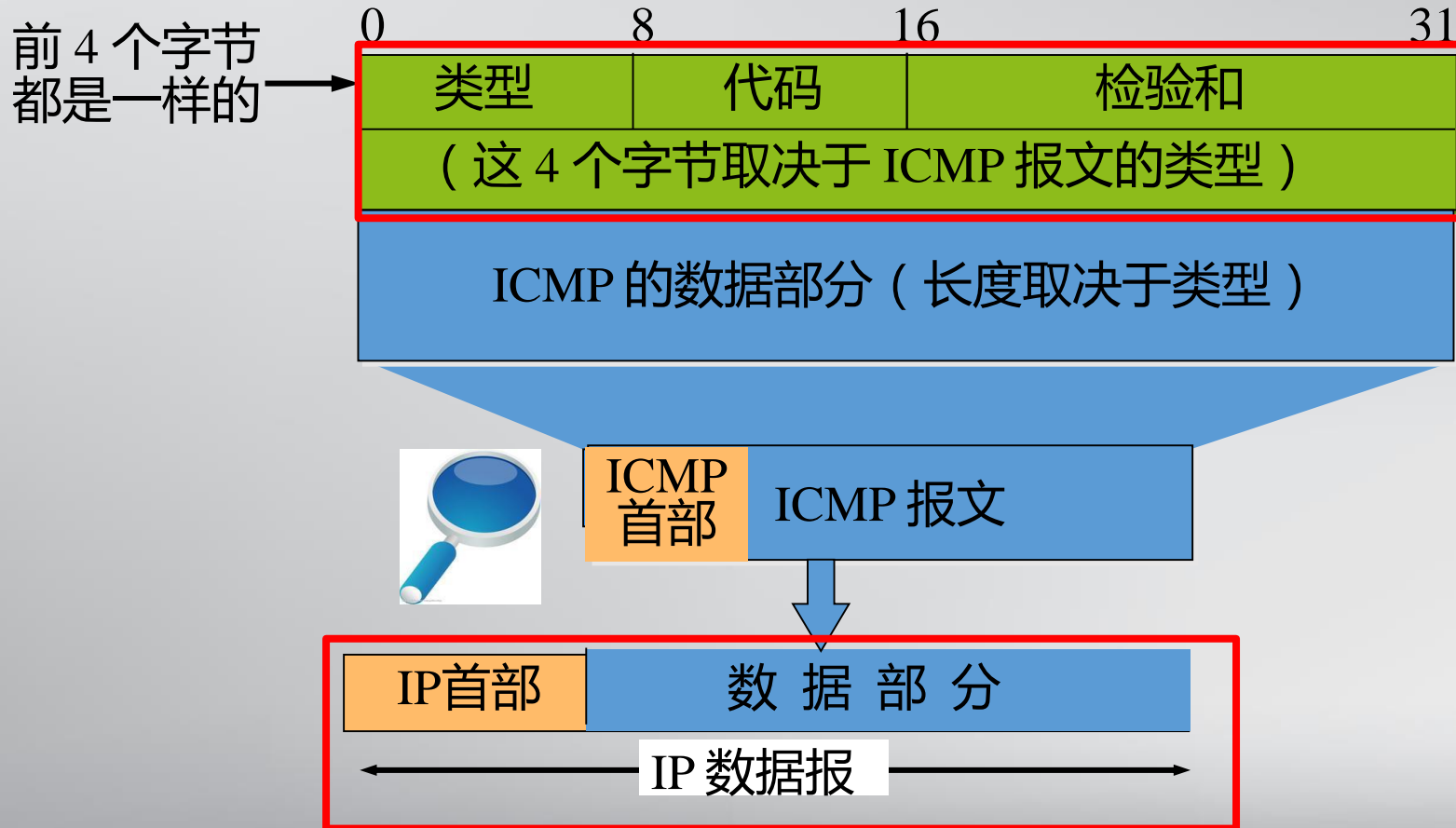
5.2 网际协议IP



5、因特网控制报文协议 ICMP



ICMP报文的格式





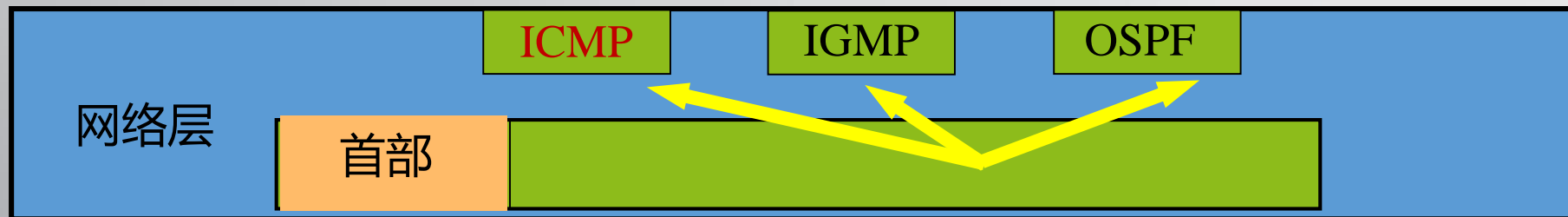
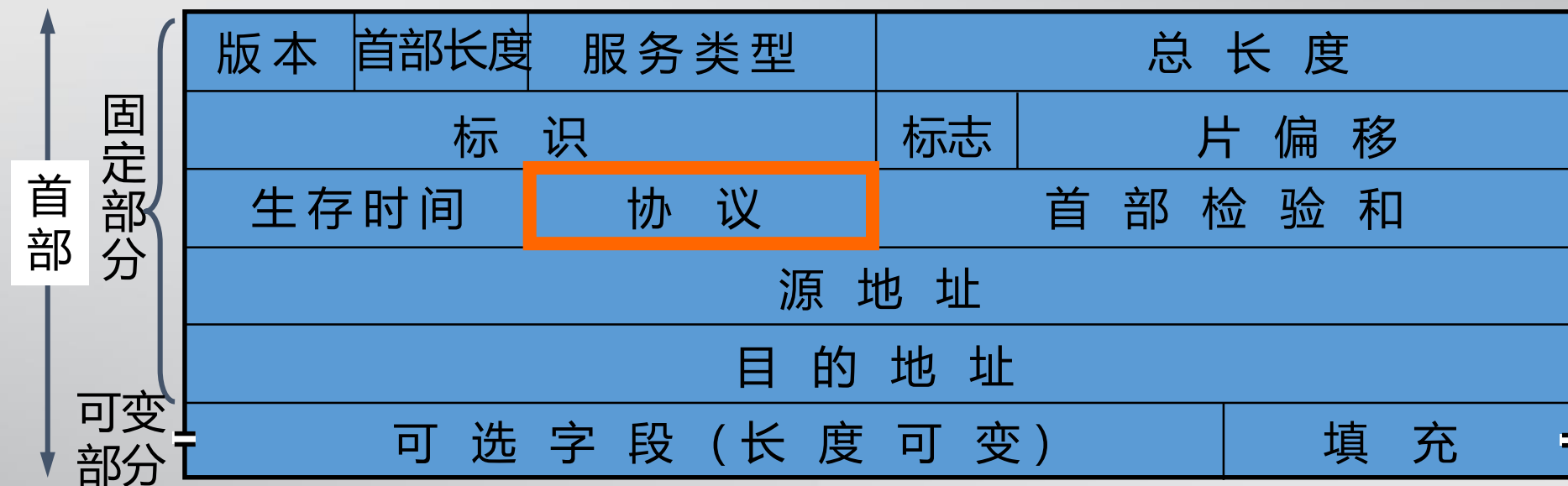
5.2 网际协议IP



南京邮电大学
Nanjing University of Posts and Telecommunications



5、因特网控制报文协议 ICMP





5.2 网际协议IP



5、因特网控制报文协议 ICMP



ICMP报文种类

ICMP差错报告报文和ICMP询问报文

- IP数据报出差错的时候，路由器或者主机会发出此类报文
- ICMP报文仅发给引起问题的数据报的源站
- 复制了产生问题的IP数据报的首部和前64比特数据



5.2 网际协议IP



5、因特网控制报文协议 ICMP

五种ICMP差错报告报文

- 终点不可达
- 时间超过
- 源站抑制
- 参数问题
- 路由重定向



5.2 网际协议IP

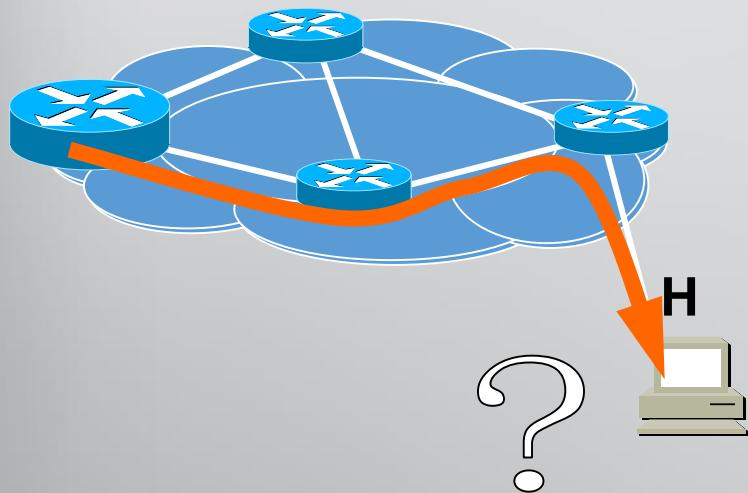


南京邮电大学
Nanjing University of Posts and Telecommunications



5、因特网控制报文协议 ICMP

终点不可达差错报告报文



主机不可达



网络不可达



端口不可达



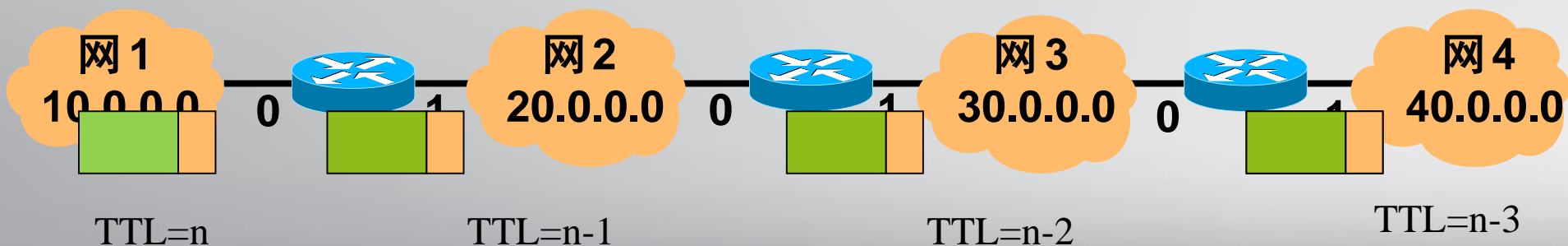
5.2 网际协议IP



5、因特网控制报文协议 ICMP

时间超过差错报告报文

版 本	首部长度	服 务 类 型	总 长 度	
标 识		标志	片 偏 移	
生存时间		协 议	首 部 检 验 和	
源 地 址				
目 的 地 址				
可 选 字 段 （长 度 可 变）			填 充	





5.2 网际协议IP



5、因特网控制报文协议 ICMP



ICMP报文种类

- ICMP差错报告报文
- IP数据报出差错的时候，路由器或者主机会发出此类报文
- ICMP报文仅发给引起问题的数据报的源站
- 复制了产生问题的IP数据报的首部和前64比特数据
- ICMP询问报文
- 用于给网络管理人员或应用程序对网络进行可达性分析、地址掩码设置、时钟同步等检测



5.2 网际协议IP



5、因特网控制报文协议 ICMP

四种ICMP询问报文

- 回送请求和回答报文
- 时间戳请求和回答报文
- 掩码地址请求和回答报文
- 路由器询问和通告报文

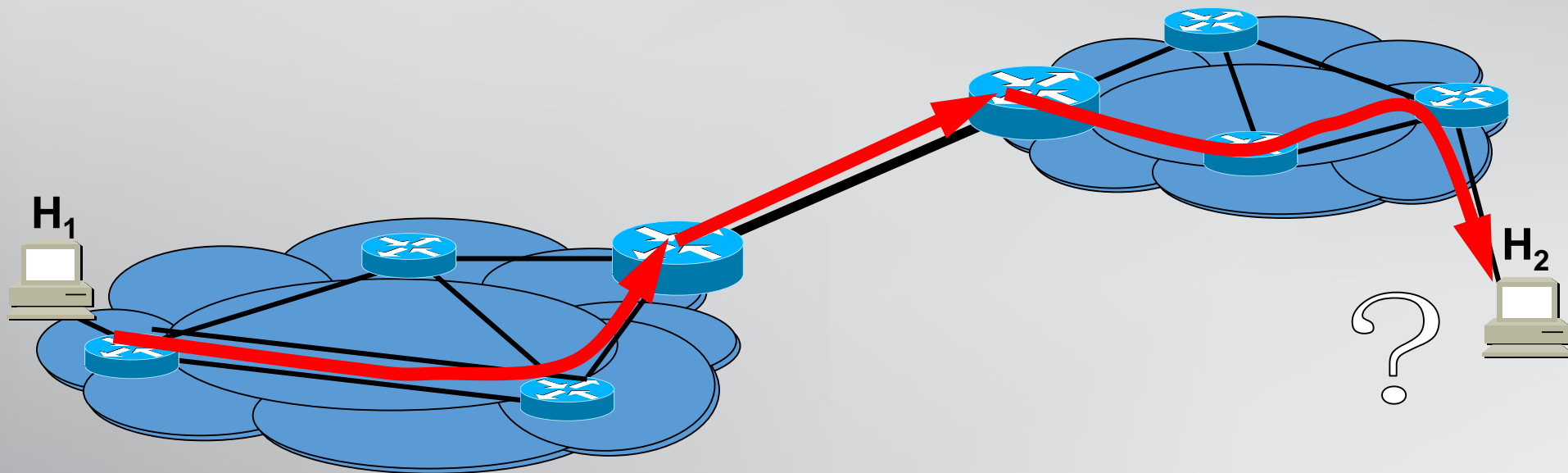


5.2 网际协议IP



5、因特网控制报文协议 ICMP

回送请求和回答报文





5.2 网际协议IP



5、因特网控制报文协议 ICMP

ICMP的应用

- ICMP协议可以实现网络可达性检查、网络时延测量、网络路由追踪、网络安全排查等方面都有重要的应用。
- **Tracert**（跟踪路由）基于ICMP终点不可达和时间超过差错报告报文原理实现的。
- **Ping**（因特网包探索器）基于ICMP询问报文类型中的回送请求和回答报文实现的。



5.2 网际协议IP



课堂内容导入

- 因特网发展速度较快，大大超出预期；
- IP地址利用率较低；
- 在不放弃分类编址的情况下，如何适应网络增长的需要呢？
- 能不能把一个大的网络拆成若干个规模较小的网络呢？



5.2 网际协议IP



6、子网编址

- 从 1985 年起在 IP 地址中又增加了一个“子网号字段”，使两级的 IP 地址变成为三级的 IP 地址。
- 使得多个物理网络可以共用一个网络前缀
- 这种做法叫作划分子网(subnetting)。划分子网已成为因特网的正式标准协议。



5.2 网际协议IP



6、子网编址

从主机域中借用若干个比特作为子网号 subnet-id，而主机号 host-id 也就相应减少了若干个比特。

IP 地址 = [网络号，子网号，主机号]

- 子网位从主机域的最左边开始连续借用。
- 子网号在网外是不可见的，仅在子网内使用。
- 怎么才能知道是否在一个网络内部进行子网划分了呢？



5.2 网际协议IP



6、子网编址

- 子网号的位数是可变的，为了反映有多少位用于表示子网号，采用子网掩码（mask）
- IP 地址 = [网络号，子网号，主机号]
- 子网掩码 = [11....11, 11...11, 00....00]



5.2 网际协议IP



6、子网编址

举例

- 假如在一个B类网络128.10.0.0中，我们准备从16位主机号部分里借用3位进行子网划分，求对应的子网掩码。

分析：因为是B类网络，所以网络号部分是16位，又因为子网号部分是3位，所以子网掩码里就有 $16+3=19$ 位1，剩下的 $32-19=13$ 位主机号部分全0。

结果：11111111 11111111 11100000 00000000
255.255.224.0



5.2 网际协议IP



6、子网编址

默认子网掩码

A类网络：255. 0. 0. 0

B类网络：255. 255. 0. 0

C类网络：255. 255. 255. 0



5.2 网际协议IP



6、子网编址

举例

假如一台主机的IP地址是128.10.32.6，子网掩码是255.255.224.0，那么该主机所在子网的子网地址又是什么呢？

分析：子网地址也是一个特殊的IP地址，就是网络号部分和子网号部分不变，**主机号部分全零**的地址。和逻辑“与”操作相结合

结论：子网地址 = 主机IP地址 AND 子网掩码
做逻辑“与”运算的结果



5.2 网际协议IP



6、子网编址

举例

假如一台主机的IP地址是128.10.32.6，子网掩码是255.255.224.0，那么该主机所在子网的子网地址又是什呢？

答案：子网地址

=	128.	10.	00100000.	6
	AND	255.	255.	11100000.
				0

	128.	10.	00100000.	0
	128.	10.	32.	0



5.2 网际协议IP



6、子网编址

广播地址

用途：要用广播的方式（一对所有进行通信）发送一个分组时，目的IP地址是一个广播地址。

特点：主机号部分全1

问题：在子网128.10.32.0中，广播地址是多少呢？

分析：把主机号部分（13位）变成全1，

128.10.00111111.11111111 128.10.63.255



5.2 网际协议IP



6、子网编址

举例

问题：一家公司申请到的网络地址是202.119.230.0，现在由于工作上的需要，要把该网络划分为14个子网，并且又希望每个子网的规模尽可能的大，则应选用的子网掩码是多少？

分析：若全0、全1的子网地址可以分配，则若借用 x 位进行子网划分，可以划分出 2^x 个子网；反之，则可以划分 $2^x - 2$ 个子网。对于本题中， $x=4$ 满足需求。因为是C类地址，所以其子网掩码是 $24 + 4 = 28$ 比特的1， $32 - 28 = 4$ 比特的0。

答案：255.255.255.11110000 255.255.255.240



5.2 网际协议IP



6、子网编址

举例

问题：设有一个网络，其网络地址为 210.10.30.0，若其选用的子网掩码是 255.255.255.192，则：

- (1) 可以划分多少个子网（注：全0全1的子网地址不分配）
- (2) 每个子网容纳的主机个数是多少？
- (3) 每个子网的子网地址分别是什么？
- (4) 每个子网中可分配的IP地址的范围多少？广播地址是多少？



5.2 网际协议IP



6、子网编址

举例

问题：设有一个网络，其网络地址为 210.10.30.0，若其选用的子网掩码是 255.255.255.192，则：

（1）可以划分多少个子网（注：全0全1的子网地址不分配）

分析：因为该网络是一个C类网络，默认的子网掩码是255.255.255.0，因为 $192=11000000B$ ，可见，是从主机号里面是借了2位进行子网划分，又因为全0全1 的子网地址不分配。

答案：划分子网的个数是 $2^2-2=2$



5.2 网际协议IP



6、子网编址

举例

问题：设有一个网络，其网络地址为 210.10.30.0，若其选用的子网掩码是 255.255.255.192，则：

(2) 每个子网容纳的主机个数是多少？

分析：因为主机号部分的位数也就是子网掩码中0的个数，有6位。

答案：每个子网容纳的主机个数是 $2^6 - 2 = 62$

注意：即使题目中没有说明，全零和全1的主机地址始终是不分配的



5.2 网际协议IP



6、子网编址

举例

问题：设有一个网络，其网络地址为 210.10.30.0，若其选用的子网掩码是 255.255.255.192，则：

(3) 每个子网的子网地址分别是什么？

分析：子网地址中高24位是网络号部分，肯定是210.10.30，子网地址中主机号部分是全0，只有子网号这两位去除全0和全1外，还有两种选择，一个是01，一个是10，分别分配给两个子网。

答案：子网1：210.10.30.01000000 210.10.30.64
子网2：210.10.30.10000000 210.10.30.128



5.2 网际协议IP



6、子网编址

举例

问题：设有一个网络，其网络地址为 210.10.30.0，若其选用的子网掩码是 255.255.255.192，则：

（4）每个子网中可分配的IP地址的范围多少？广播地址是多少？

分析：每个子网中第一个可用的IP地址就是主机号部分除了最后一位为1，其余位均为0的地址，最后一个可分配的IP地址是刚好反过来，主机号部分最后一位是0，其余位均为1。



5.2 网际协议IP



6、子网编址

举例

问题：设有一个网络，其网络地址为 210.10.30.0，若其选用的子网掩码是 255.255.255.192，则：

（4）每个子网中可分配的IP地址的范围多少？广播地址是多少？

答案：子网1：210.10.30.01000001 至 210.10.30.01111110
210.10.30.65 至 210.10.30.126
广播地址：210.10.30.01111111 210.10.30.127
子网2：210.10.30.10000001 至 210.10.30.10111110
210.10.30.128 至 210.10.30.190
广播地址：210.10.30.10111111 210.10.30.191



5.2 网际协议IP



6、子网编址

举例

问题：设有一个网络，其网络地址为 128.10.0.0，若其选用的子网掩码是 255.255.255.192，则：

- (1) 可以划分多少个子网（注：全0全1的子网地址不分配）
- (2) 每个子网容纳的主机个数是多少？

答案：划分子网的个数是 $2^{10}-2=1022$ ，
每个子网容纳的主机数是 $2^6-2=62$

注意：目前共有可用的IP地址个数： $1022 \times 62 = 63364 < 65534$
虽然地址的数量上是有部分损失，但对于每个子网来说，地址的利用率提高了很多。



5.2 网际协议IP



课堂内容导入

- 因特网的发展速度太快，对地址的需求量大；
- 缺乏适合于中等大小组织所需要的网络类型；
- 即使采用划分子网的办法，对于B类地址也未能得到充分利用
- 1993年，B类网络地址空间即将耗尽；
- 因特网主干网上的路由表中的项目数增长迅速（从几千个增长到几万个）；
- 推出了无分类域间路由选择（Classless Inter-Domain Routing，简称CIDR）过渡方案，一直使用到现在；
- 1993年发布的有关CIDR的RFC文档为RFC1517~ RFC1520。



5.2 网际协议IP



7、无分类编址和CIDR

CIDR与传统分类IP地址相比

- 相同点：IP地址都是二级编址（由网络号部分和主机号部分组成）
- 区别：网络前缀的长度比较灵活。
 - 传统：A类 8位；B类 16位；C类：24位
 - CIDR: 1-32位都可以
- 好处：可以根据用户的需要，选择合适的网络前缀，因而可以更加有效地分配 IPv4 的地址空间。



5.2 网际协议IP



7、无分类编址和CIDR

CIDR与子网划分相比

- 相同点：都使用了32位的掩码来表示前缀和后缀的边界
 - 掩码中连续的1的个数：网络前缀的长度
 - 掩码中连续的0的个数：主机号部分的长度
- 区别：CIDR是两级地址结构
 - 子网划分是三级地址结构
 - CIDR中的网络前缀等同于子网划分中的网络号和子网号
- 好处：可以根据用户的需要，选择合适的网络前缀，因而可以更加有效地分配 IPv4 的地址空间。



5.2 网际协议IP



7、无分类编址和CIDR

CIDR地址块

- 202.119.230.0/24 (斜线后面的24是网络前缀的长度)
- 该地址块共有 2^8 个地址 (因为主机号部分的长度是 $32-24=8$ 位)
- 主机号部分全 0 和全 1 的地址一般不分配给主机使用

最小地址 →

所有地址的 24 bit
前缀都是一样的

最大地址 →

11001010	01110111	11100110	00000000
11001010	01110111	11100110	00000001
11001010	01110111	11100110	00000010
...		...	
11001010	01110111	11100110	11111101
11001010	01110111	11100110	11111110
11001010	01110111	11100110	11111111



5.2 网际协议IP



南京邮电大学
Nanjing University of Posts and Telecommunications



7、无分类编址和CIDR

CIDR地址块举例

问题：128.14.32.0/20表示的地址块共有多少个地址？最大和最小的地址分别是什么？

分析：因为是一个/20的地址块，所以主机号部分共有 $32-20=12$ 位，所以地址个数是 $2^{12}=4096$ 个



5.2 网际协议IP



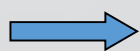
7、无分类编址和CIDR

CIDR地址块举例

128.14.32.0/20 表示的地址 (2^{12} 个地址)

128.14.32.0

最小地址

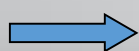


所有地址的 20 bit
前缀都是一样的

该地址块中可用的地址个数有
 $2^{12} - 2$ 个

128.14.47.255

最大地址



```
10000000 00001110 0010 0000 00000000
10000000 00001110 0010 0000 00000001
10000000 00001110 0010 0000 00000010
10000000 00001110 0010 0000 00000011
...
10000000 00001110 0010 1111 11111100
10000000 00001110 0010 1111 11111101
10000000 00001110 0010 1111 11111110
10000000 00001110 0010 1111 11111111
```



5.2 网际协议IP



7、无分类编址和CIDR

CIDR地址块举例

- 地址块57.0.0.0/7被IANA(因特网编号管理局)分配给了亚太地区网络信息中心；
- 亚太地区网络信息中心再分成一个个地址块分配给大型ISP；
- 大型ISP再根据用户的需求划分成小块分配给单位或者小型ISP；
- 各单位再划分出大小相等或者大小不能的若干块，分配给各个物理网络。



5.2 网际协议IP



7、无分类编址和CIDR

举例

- 假设某ISP（因特网服务提供者）拥有CIDR地址块202.192.0.0/16。先后有四所大学（A、B、C、D）向该ISP分别申请大小为4000、2000、4000、8000个IP地址的地址块，试为ISP给这四所大学分配地址块。

分析：A大学： $2^{12}=4096>4000$ ，所以地址块中主机号部分是12位

网络前缀的长度=32-12=20位

起始地址：202.192.00000000.0/20 202.192.0.0/20

结束地址：202.192.00001111.255 202.192.15.255



5.2 网际协议IP



7、无分类编址和CIDR

举例

- 假设某ISP（因特网服务提供者）拥有CIDR地址块202.192.0.0/16。先后有四所大学（A、B、C、D）向该ISP分别申请大小为4000、2000、4000、8000个IP地址的地址块，试为ISP给这四所大学分配地址块。

分析：B大学： $2^{11}=2048>2000$ ，网络前缀的长度=32-11=21位

A大学：起始地址：202.192.00000 000.0/20 202.192.0.0/20

结束地址：202.192.00001 111.255 202.192.15.255

B大学：起始地址：202.192.00010000.0 /21 202.192.16.0/21

结束地址：202.192.00010111.255 202.192.23.255



5.2 网际协议IP



7、无分类编址和CIDR

举例

分析：C大学： $2^{12}=4096>4000$ ，网络前缀的长度= $32-12=20$ 位
起始地址是不是202.192.24.0呢？

因为24=00011000B，网络前缀至少是 $16+5=21$ 位

主机号部分 $32-21=11$ 位， $2^{11}=2048<4000$ ，不能满足需求

A大学：起始地址：202.192.00000000.0/20 202.192.0.0/20

B大学：起始地址：202.192.00010000.0 /21 202.192.16.0/21

C大学：起始地址：202.192.00100000.0/20 202.192.32.0/20

结束地址：202.192.00101111.255 202.192.47.255



5.2 网际协议IP



7、无分类编址和CIDR

举例

分析：D大学： $2^{13}=8192>8000$ ，网络前缀的长度= $32-13=19$ 位

A大学：起始地址：202.192.00000000.0/20 202.192.0.0/20

B大学：起始地址：202.192.00010000.0 /21 202.192.16.0/21

C大学：起始地址：202.192.00100000.0/20 202.192.32.0/20

D大学：起始地址：202.192.01000000.0 /19 202.192.64.0/19

结束地址：202.192.01011111.255 202.192.95.255



5.2 网际协议IP



7、无分类编址和CIDR

举例

- 假设某ISP（因特网服务提供者）拥有CIDR地址块202.192.0.0/16。先后有四所大学（A、B、C、D）向该ISP分别申请大小为4000、2000、4000、8000个IP地址的地址块，试为ISP给这四所大学分配地址块。

结果：

有**2048**个地址空着没有分配

有**4096**个地址空着没有分配

单位	地址块	最大地址
A大学	202.192.0.0/20	202.192.15.255
B大学	202.192.16.0/21	202.192.23.255
C大学	202.192.32.0/20	202.192.47.255
D大学	202.192.64.0/19	202.192.95.255

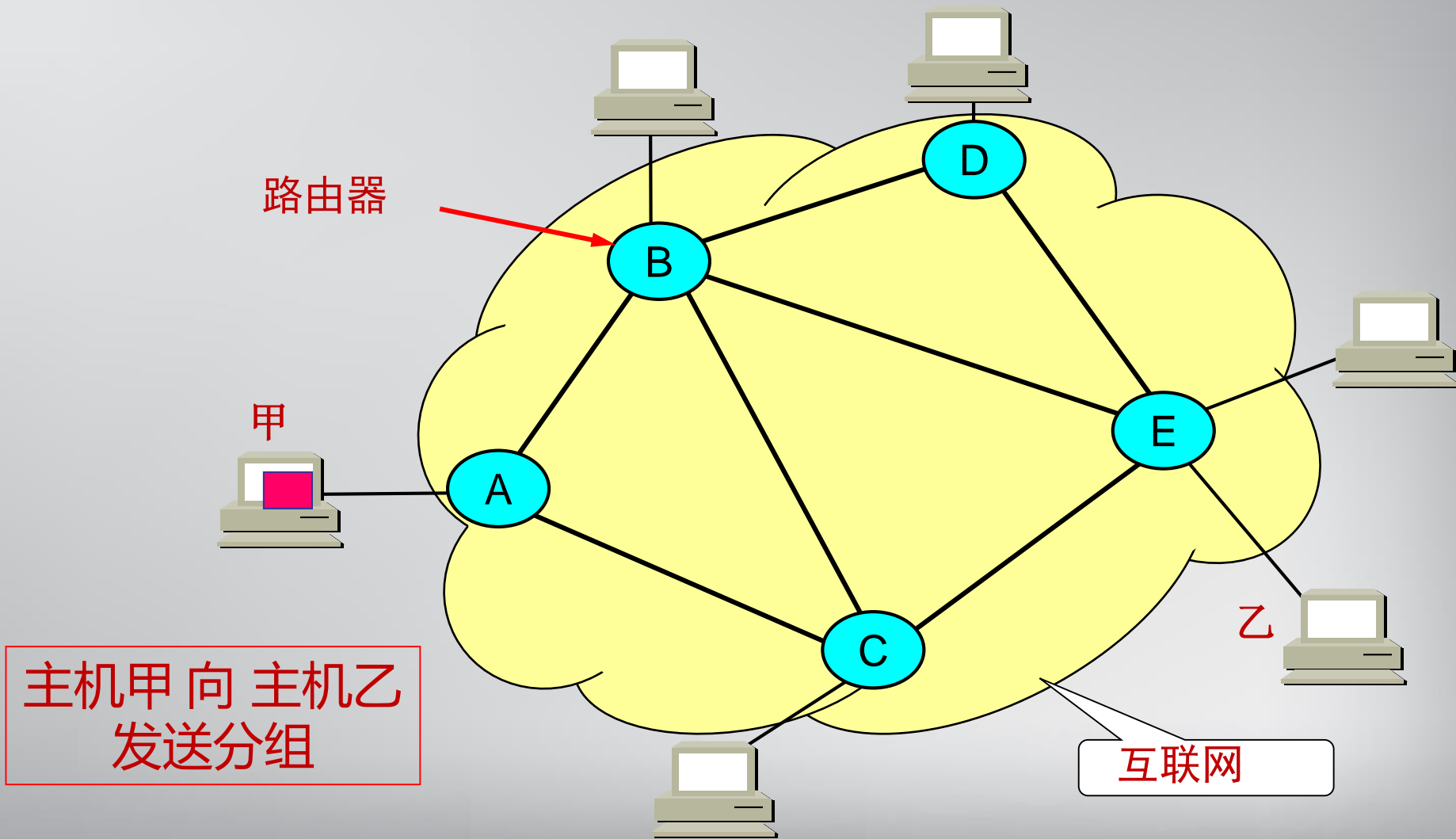


5.2 网际协议IP



课堂内容导入

- IP协议提供的是无连接、不可靠、尽力而为的IP分组的交付服务；
- 一个IP分组究竟是如何从源主机交付给目的主机的？





5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

网络设备—路由器

- **路由器**实际上就是一种通信专用的计算机，具有和计算机类似的结构。
- 每台路由器与**两个或两个以上**的物理网络有直接连接。路由器的每个网络接口（network interface）都提供了双向通信，包含输入和输出端口。
- **接口**：控制台接口、局域网接口、广域网接口等；
- 整个路由器结构可分为两大部分：**路由选择部分**和**分组转发部分**。
- 分组转发部分由三个部分组成：**交换结构**、**一组输入端口**和**一组输出端口**。

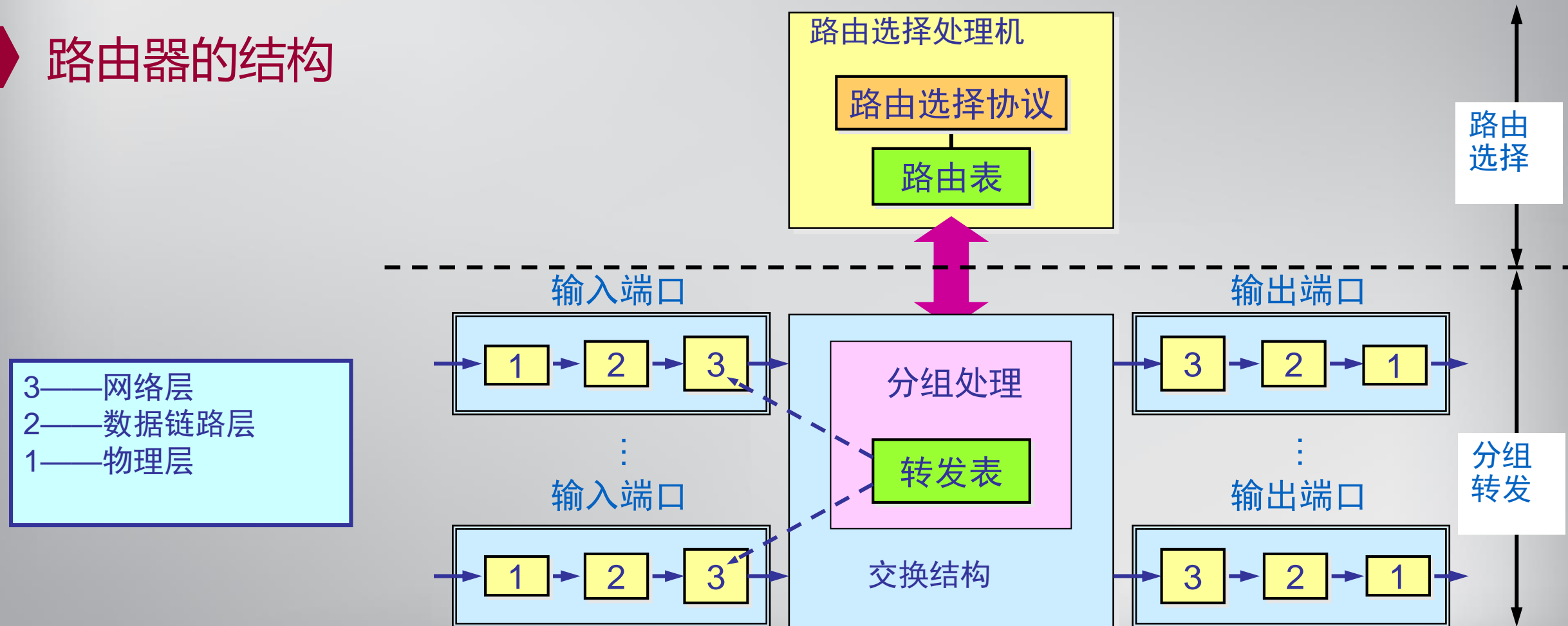


5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

路由器的结构



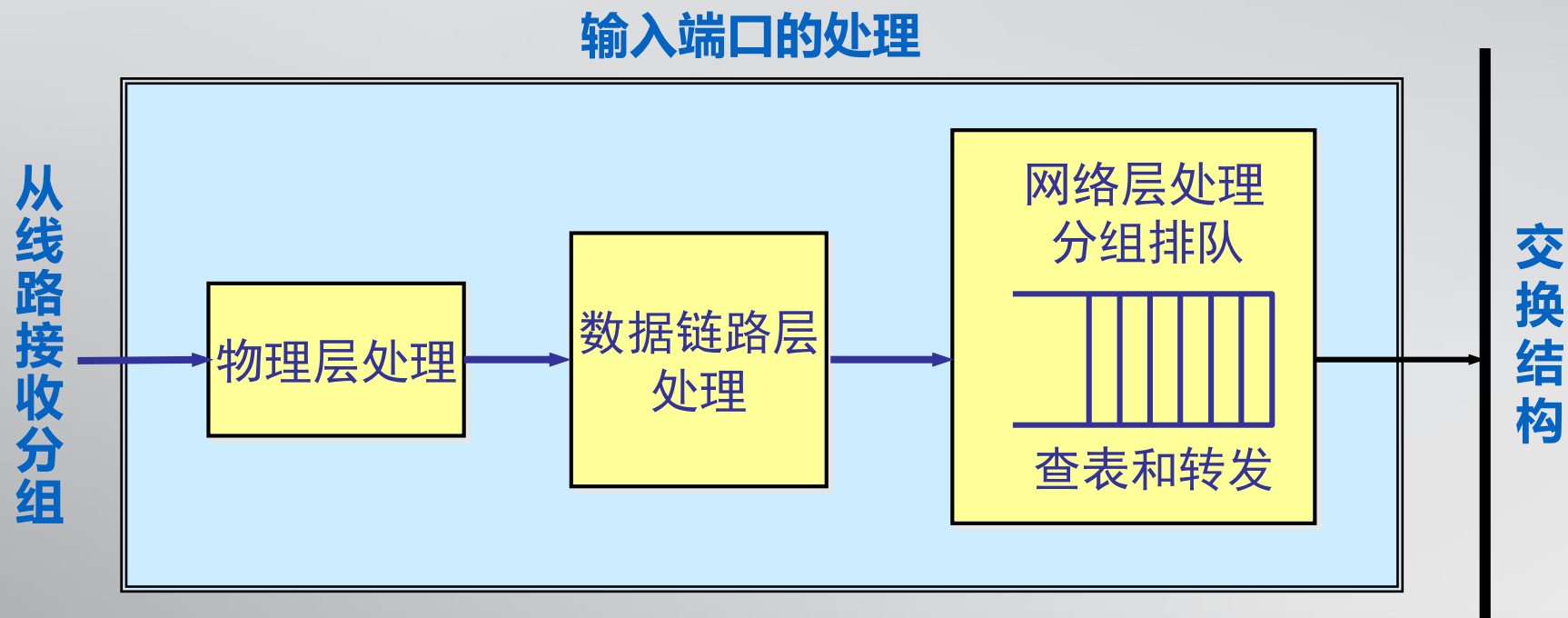


5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

网络设备—路由器





5.2 网际协议IP



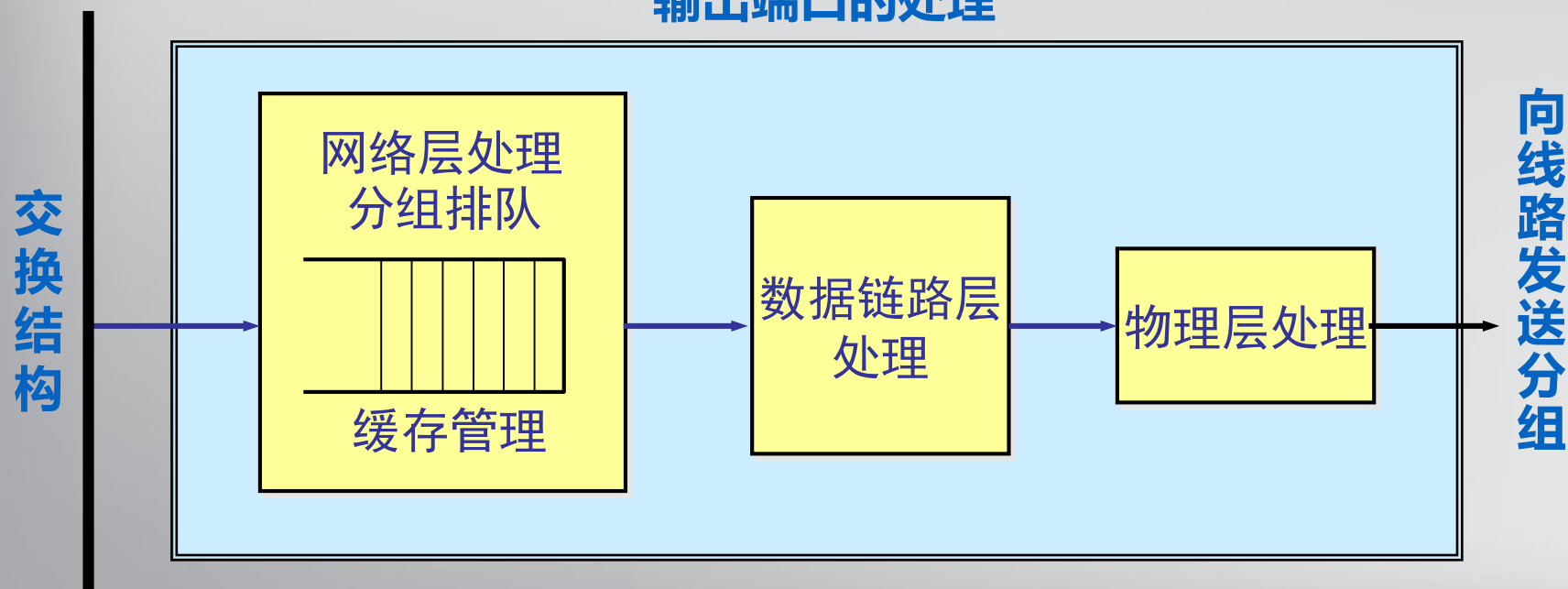
南京邮电大学
Nanjing University of Posts and Telecommunications



8、IP分组的转发

网络设备—路由器

输出端口的处理



若路由器处理分组的速率赶不上分组进入队列的速率，则队列的存储空间最终必定减少到零，这就使后面再进入队列的分组由于没有存储空间而只能被丢弃。

路由器中的输入或输出队列产生溢出是造成分组丢失的重要原因。

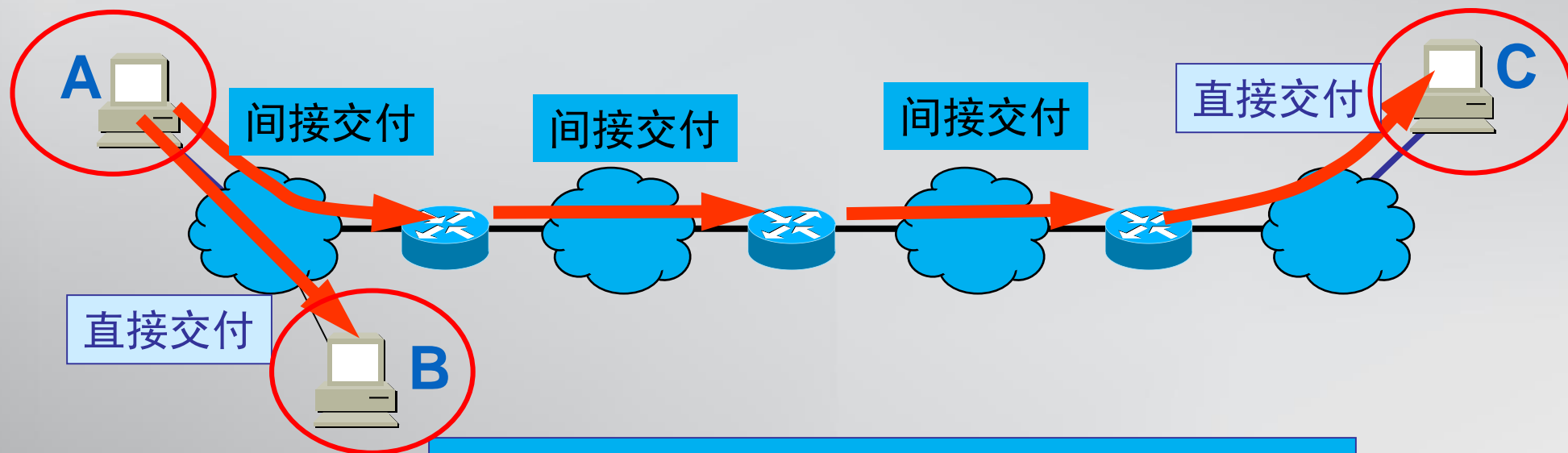


5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

直接交付与间接交付



直接交付不需要使用路由器
但间接交付就必须使用路由器



5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

直接交付与间接交付

- 问题：如何判断源和目的是否在同一个物理网络中？
- 分析：若采用传统的分类IP地址，可以根据分类编址规则，很容易地从目的IP地址中抽取出目的网络地址，再与本机IP地址所对应的网络地址作比较。
- 例如：源主机202.119.224.201和目的主机202.119.224.8，根据都是C类地址，两个IP地址中高24位都是一样的，很容易判断出来源和目的是属于同一个网络。



5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

直接交付与间接交付

- 问题：如何判断源和目的是否在同一个物理网络中？
- 分析：对于进行了子网划分或者无分类编址的网络，也是类似，仍然是根据目的IP地址、源IP地址分别和源主机所在的子网的子网掩码**相与**的结果是否相等来判断。
- 例如：源 192.168.23.184，目的 192.168.23.66，
子网掩码 255.255.255.224
- 分析：192.168.23.184 AND 255.255.255.224=192.168.23.160
192.168.23.66 AND 255.255.255.224=192.168.23.64
所以，这两台主机之间采用间接交付。



5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

IP分组转发算法

路由表的表项：

(目的网络地址，子网掩码，下一跳路由器IP地址，接口)

目的主机所在网络的网
络地址

指示通过本路由器的哪个
接口送达给下一跳

要想到达第一列对应的目的网络，
必须要把该分组转发给的路由器的
IP地址，如果是直接交付，则可以
用一横杠表示。



5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

IP分组转发算法

```
从待转发的IP分组首部中取出目的IP地址 $I_D$ ;  
for 路由表中的每一表项do  
    将 $I_D$ 与表项中的子网掩码按位相“与”，结果为N;  
    if N等于该表项中的目的网络地址, 则  
        if 下一跳指明应直接交付, 则  
            把该IP分组直接交付给目的站  
        else  
            把该IP分组发往本表项指明的下一跳地址  
        return.  
for_end  
若找不到匹配的表项, 则向DG的源站发送一个目的不可达差错报告.
```



5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

IP分组转发算法

- **特定主机路由**：出现在路由表第一列的不是一个网络地址，而是某台主机的IP地址。比如，在调试网络连接或路由表时，可能会需要为单个主机指定一条特殊路由。所以，特定主机路由主要用于网络测试，或者出于安全的考虑。
- **思考**：对于特定主机路由来说，在路由表中如何表示呢？
- **答案**：该行对应的子网掩码为255.255.255.255



5.2 网际协议IP



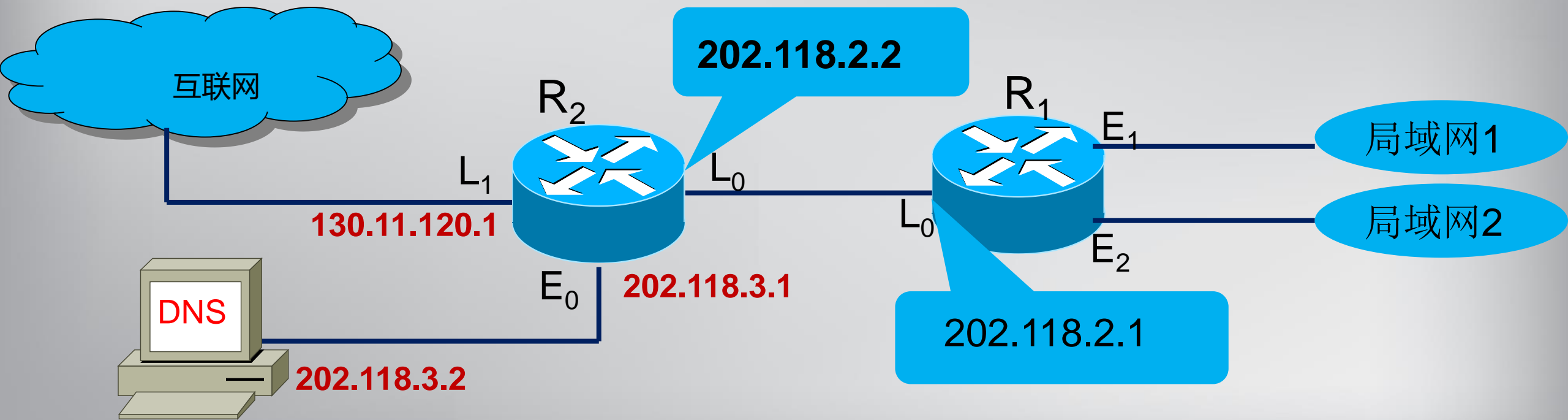
8、IP分组的转发

IP分组转发算法

- **默认路由**：如果互联网包含的物理网络很多，让路由表包含所有网络将使路由表表项数很多，查找起来速度较慢。是把多个下一跳相同的表项合并成一个表项，即默认路由。
- **思考**：对于默认路由来说，在路由表中如何表示呢？
- **答案**：该行对应的子网掩码为0.0.0.0，目的网络地址为0.0.0.0

举例：某网络拓扑如下图所示，要求：

(1) 将IP地址空间202.118.1.0/24划分为2个子网，分别分配给局域网1和局域网2，每个局域网需要分配的地址数目不少于120个。请给出子网划分结果。



举例：某网络拓扑如下图所示，要求：

(1) 将IP地址空间202.118.1.0/24划分为2个子网，分别分配给局域网1和局域网2，每个局域网需要分配的地址数目不少于120个。请给出子网划分结果。

分析：因为 $2^7 - 2 = 126 > 120$ ，所以每个地址块中主机号部分为7位，也就是子网号部分只能是1位。所以每个地址块的网络前缀的长度为 $24 + 1 = 25$

答案：局域网1：202.118.1.00000000/25 202.118.1.0/25
局域网2：202.118.1.10000000/25 202.118.1.128/25



5.2 网际协议IP



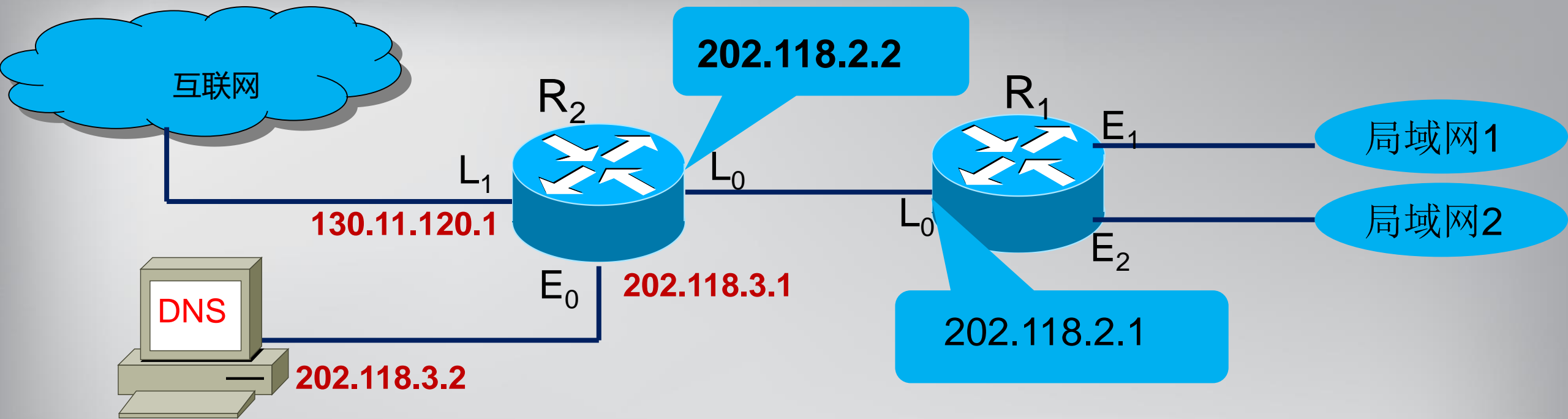
8、IP分组的转发

举例

(2) 请写出R1的路由表，使其明确到局域网1、局域网2、域名服务器的路由和互联网的路由。

R1的路由表结构为：

目的网络IP地址	子网掩码	下一跳IP地址	接口
----------	------	---------	----



目的网络IP地址	子网掩码	下一跳路由器IP地址	接口
202.118.1.0	255.255.255.128	—	E ₁
202.118.1.128	255.255.255.128	—	E ₂
202.118.3.2	255.255.255.255	202.118.2.2	202.118.2.1
0.0.0.0	0.0.0.0	202.118.2.2	202.118.2.1



5.2 网际协议IP



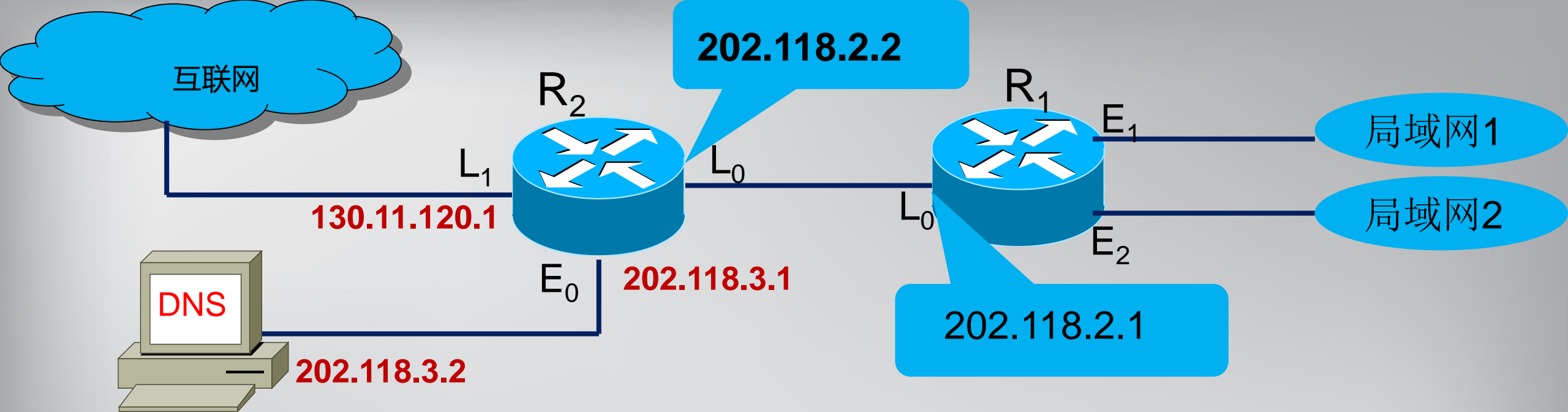
8、IP分组的转发

举例

(3) 请采用路由聚合技术，给出R2到局域网1和局域网2的路由。

R2的路由表结构为：

目的网络IP地址	子网掩码	下一跳IP地址	接口
----------	------	---------	----



目的网络IP地址	子网掩码	下一跳路由器IP地址	接口
202.118.1.0	255.255.255.0	202.118.2.1	202.118.2.2



5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

路由聚合

问题：求 212.10.4.0/24, 212.10.5.0/24, 212.10.6.0/24, 212.10.7.0/24 汇聚后的网络地址。

分析：每个地址块中地址数量是 2^8 ，四个地址块中地址的数量是 4×2^8 ，

212.10.4.0/24 212.10.00000100.0

212.10.5.0/24 212.10.00000101.0

212.10.6.0/24 212.10.00000110.0

212.10.7.0/24 212.10.00000111.0

答案：212.10.4.0/22



5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

最长前缀匹配

- 因为里面可能存在着小地址块包含在大地址块里面的情况，所以，有可能找到的匹配项不止一项。
- 在多个匹配项中，究竟应该选哪个匹配项对应的下一跳路由器进行转发呢？
- 选择网络前缀最长的匹配项，**因为前缀越长，地址块中地址数量越少**，这样的路由就越具体。就称为**最长前缀匹配**。



5.2 网际协议IP



8、IP分组的转发

私有地址

- IP地址资源是有限的，为了节约地址的使用，IANA保留了三块只能用于专用互联网内部通信的IP地址空间。

<u>前缀</u>	<u>最低地址</u>	<u>最高地址</u>
10/8	10.0.0.0	10.255.255.255
172.16/12	172.16.0.0	172.31.255.255
192.168/16	192.168.0.0	192.168.255.255