西北師範大學
NORTHWEST NORMAL UNIVERSITY

计算机网络

第四章 网络层 （4）

陈旺虎
chenwh@nwnu.edu.cn

Review

- 路由器转发分组的流程
- 划分子网

4.3.3 无分类编址 CIDR

- 划分子网带来的好处
  - 在一定程度上解决了问题
- 但是
  - 1992年，B类地址已分配了近一半，预计1994年3月将全部分配完毕！
  - 因特网主干网上的路由表中的项目数急剧增长（从几千个增长到几万个）。
  - 整个IPv4的地址空间最终将全部耗尽
- 推动了IP地址编址的再次演变

IP编址问题的演进

- 变长子网掩码VLSM
  - 在一个划分子网的网络中可同时使用几个不同的子网掩码。（1987年）
  - 可进一步提高IP地址资源的利用率。

- 无分类域间路由选择CIDR
  - 在VLSM 的基础上，提出了无分类编址方法
  - 正式名字： **无分类域间路由选择CIDR** (Classless Inter-Domain Routing)。

两级地址结构

- 消除了传统的分类以及划分子网的概念

IP地址 ::= {<网络前缀>, <主机号>}

- 使用CIDR记法—“斜线记法”

128.14.32.0/20

IP地址/网络前缀的位数

  - 网络前缀对应三级编址中子网掩码中1的个数
  - 网络前缀相同的连续的IP地址组成“CIDR地址块”，可更有效分配IPv4的地址空间

CIDR地址块

- 128.14.32.0/20 表示一个地址块
- 共有 2^{12} 个地址
- 全0和全1的主机号地址一般不使用
- 在不指定起始地址时，可表示为：/20

起始地址：128.14.32.0

10000000 00001110 00100000 00000000
10000000 00001110 00100000 00000001
10000000 00001110 00100000 00000010
10000000 00001110 00100000 00000011
10000000 00001110 00100000 00000100
10000000 00001110 00100000 00000101

… …

10000000 00001110 00101111 11111011
10000000 00001110 00101111 11111100
10000000 00001110 00101111 11111101
10000000 00001110 00101111 11111110
10000000 00001110 00101111 11111111

最大地址：128.14.47.255

CIDR&子网地址

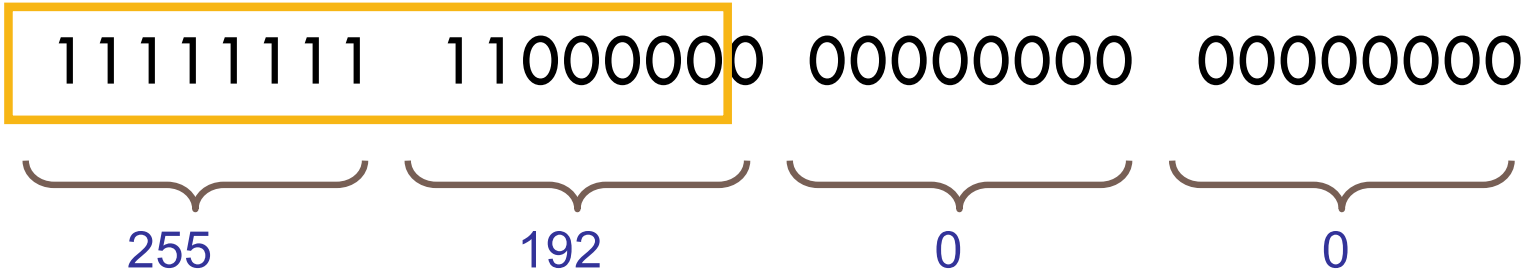
- CIDR引入VLSM
  - 只保留一个子网所需要（大约）的地址数，可更有效的利用地址空间
- 一组有公共前缀地址的主机可以组成一个子网
  - 子网的网络号：公共前缀
- 例如：
  - 4个C类网络192.0.8.*，192.0.9.*，192.0.10.*和192.0.11.* ，共1024个地址
  - 有公共的前缀192.0.000010*，对应的子网掩码是255.255.252.0
  - 可能的子网对应的掩码还有255.255.255.248,……

路由聚合(route aggregation)

- 一个CIDR地址块可以表示很多地址，这种地址的聚合常称为**路由聚合**
- 好处
  - 使得路由表中的一个项目可以表示很多个（例如上千个）原来传统分类地址的路由。
- 注意
  - CIDR虽然不使用子网了，但仍然使用“**掩码**”这一名词（但不叫子网掩码）。
  - 对于/20**地址块，它的掩码是20个连续的1。**

CIDR 记法的其他形式

- 10.0.0.0/10 可简写为10/10
- 掩码？



- “网络前缀”+“*” 表示方法

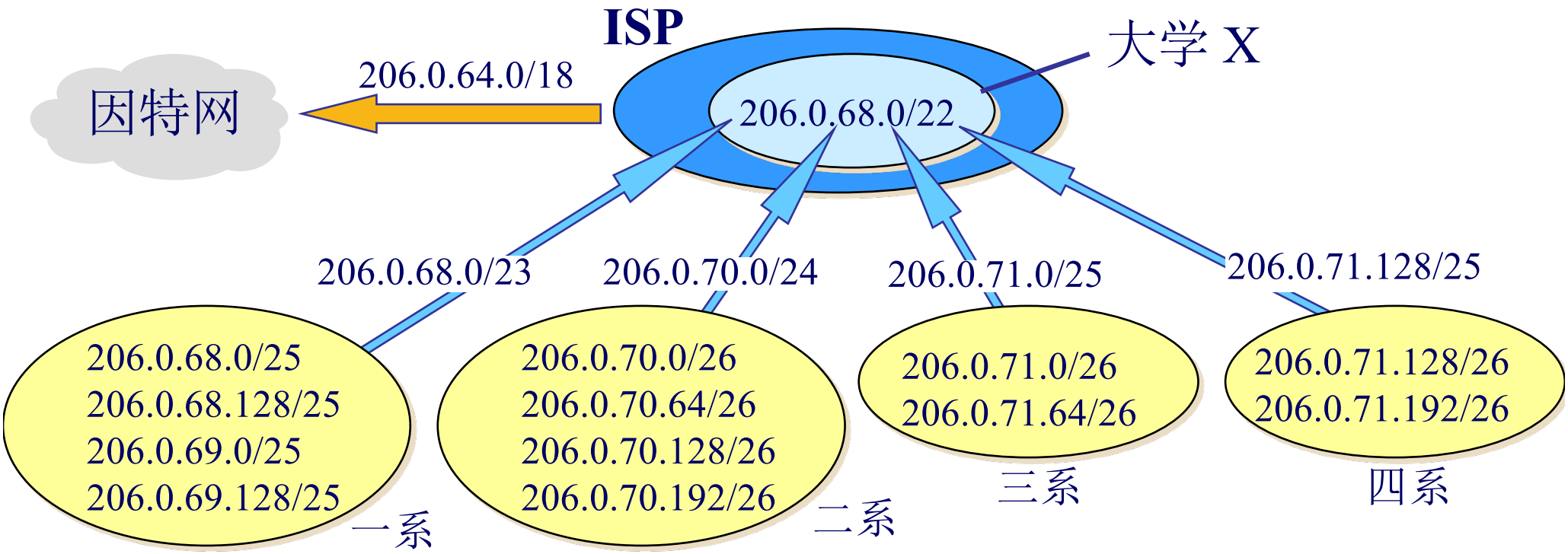
00001010 00*，星号*之前是网络前缀，*表示主机号，可以是任意值

构成超网

- 前缀长度不超过23位的CIDR地址块都包含了多个C 类地址
- 这些C类地址合起来就构成了超网

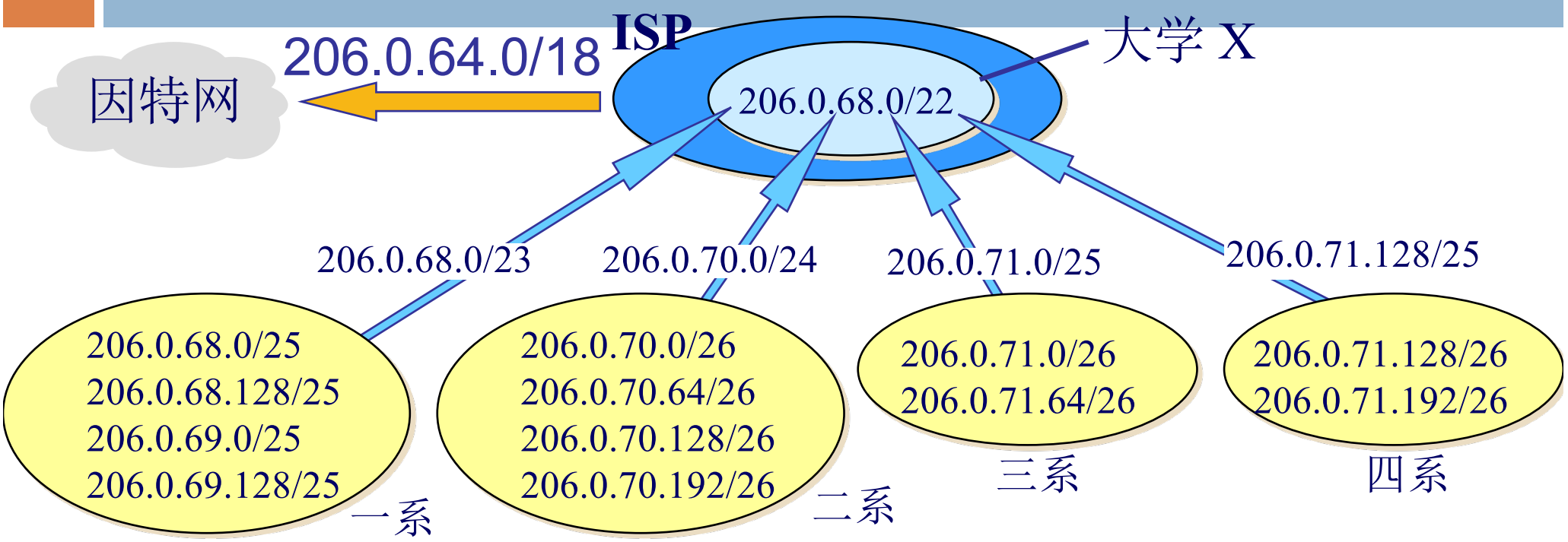
- 注意
  - CIDR地址块中的地址数一定是2的整数次幂。
  - 网络前缀越短，其地址块所包含的地址数就越多。相比较，划分子网是使网络前缀变长

示例：CIDR 地址块划分



单位	地址块	二进制表示	地址数
ISP	206.0.64.0/18	11001110.00000000.01*	16384
大学	206.0.68.0/22	11001110.00000000.010001*	1024
一系	206.0.68.0/23	11001110.00000000.0100010*	512
二系	206.0.70.0/24	11001110.00000000.01000110.*	256
三系	206.0.71.0/25	11001110.00000000.01000111.0*	128
四系	206.0.71.128/25	11001110.00000000.01000111.1*	128

示例：CIDR 地址块划分



- 该ISP共有64个C类网络。（206.0.01*.*）
- 如果不采用CIDR技术，与该ISP的路由器交换路由信息的每一个路由器的路由表中，需要64 个项目
- 采用地址聚合后，只需用路由聚合后的1个项目206.0.64.0/18 就能找到该 ISP

最长前缀匹配

- 使用 CIDR时，路由表项目包含
  - “网络前缀”
  - “下一跳地址”
- 查找路由表时，可能会得到多个匹配结果

- 最长前缀匹配(longest-prefix matching)
  - 也称：最长匹配/最佳匹配
  - 从匹配结果中选择具有最长网络前缀的路由
  - **网络前缀越长，其地址块就越小，因而路由就越具体**

- 收到分组的目的地址 ：D = 206.0.71.128
- 路由表项目：206.0.68.0/22　　（ISP）
  206.0.71.128/25　　（四系）

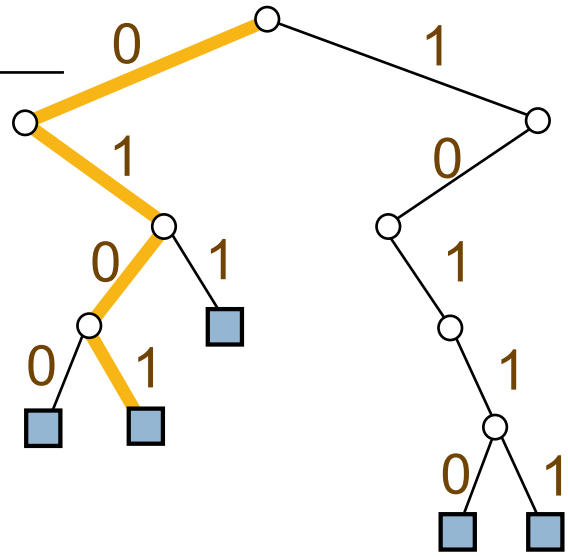
D AND (11111111 11111111 11111100 00000000)
= 206.0.68.0/22　　匹配
D AND (11111111 11111111 11111111 10000000)
= 206.0.71.128/25　　匹配

- 选择两个匹配的地址中更具体的一个，即选择最长前缀的地址

3. 使用二叉线索查找路由表

- 当路由表的项目数很大时，如何减小路由表的查找时间？
- 通常，层次数据结构，如：二叉线索。
  - 各个路径就代表路由表中存放的各个地址

32 位的IP	唯一前缀
01000110 00000000 00000000 00000000	0100
01010110 00000000 00000000 00000000	0101
01100001 00000000 00000000 00000000	011
10110000 00000010 00000000 00000000	10110
10111011 00001010 00000000 00000000	10111



- 为提高二叉线索的查找速度，广泛使用各种压缩技术

习题1

- 对一个局域网进行子网划分
  - 三个子网分别包含1080、790和28台计算机
  - 分配给该局域网一个B类地址169.78.0.0
  - 请说明IP分配方案

子网号	子网掩码	子网地址	最小IP地址	最大IP地址

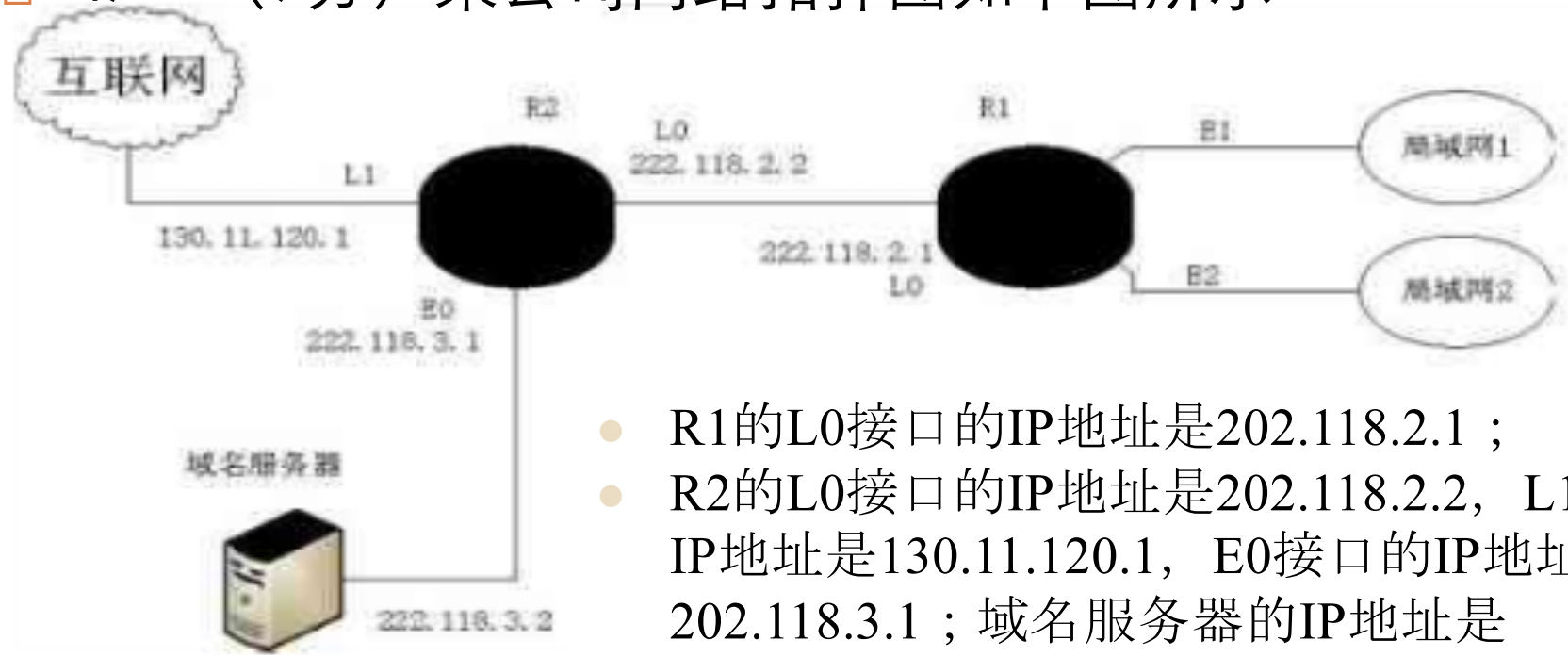
- 37、某网络的IP地址为192.168.5.0/24，采用子网划分，子网掩码为255.255.255.248，则该网络的最大子网个数、每个子网内的最大可分配地址个数为（ ）
  - A：32，8
  - B：32，6
  - C：8，32
  - D：8，30

解答

- 可知，子网号为5位
- 可以表示2^5=32个子网
- 主机号为3位，除去全0和全1的情况可以表示6个主机地址

- 答案：B

47．（9分）某公司网络拓扑图如下图所示



- R1的L0接口的IP地址是202.118.2.1；
- R2的L0接口的IP地址是202.118.2.2，L1接口的IP地址是130.11.120.1，E0接口的IP地址是202.118.3.1；域名服务器的IP地址是202.118.3.2

R1 和 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

- **将IP地址空间202.118.1.0/24划分为两个子网，分配给局域网1、局域网2，每个局域网分配的地址数不少于120个，**请给出子网划分结果。
- **给出R1和R2的路由表。**

解答

- 每个子网120台主机，因此，主机号的位数x应满足：
  - x < 8
  - 2^x > 120

- 因此，可得到x=7，则，子网掩为

  11111111 11111111 11111111 10000000

  即：255.255.255.128

- 所以划分的两个网段是：**202.118.1.0/25**与**202.118.1.128/25**。

- 3. 某一网络的一台主机产生了一个IP数据报，头部长度是20字节，数据部分长度为2000字节。
  - 该数据报需要经过两个网络到达目的主机，这两个网络的*最大传输单元MTU*分别为1500字节和576字节。
  - 请问IP数据报到达目的主机时，共分为了多少个小IP报文？长度分别是多少？

- （1）经过网络1：1480+20， 520+20
- （2）经过网络2： 556+20 556+20 368+20 520+20

- 注意整个IP报文作为数据链路层的数据部分，以太网的MTU为1500
- 分片可以在终点组装，也可以没通过一个网络组装

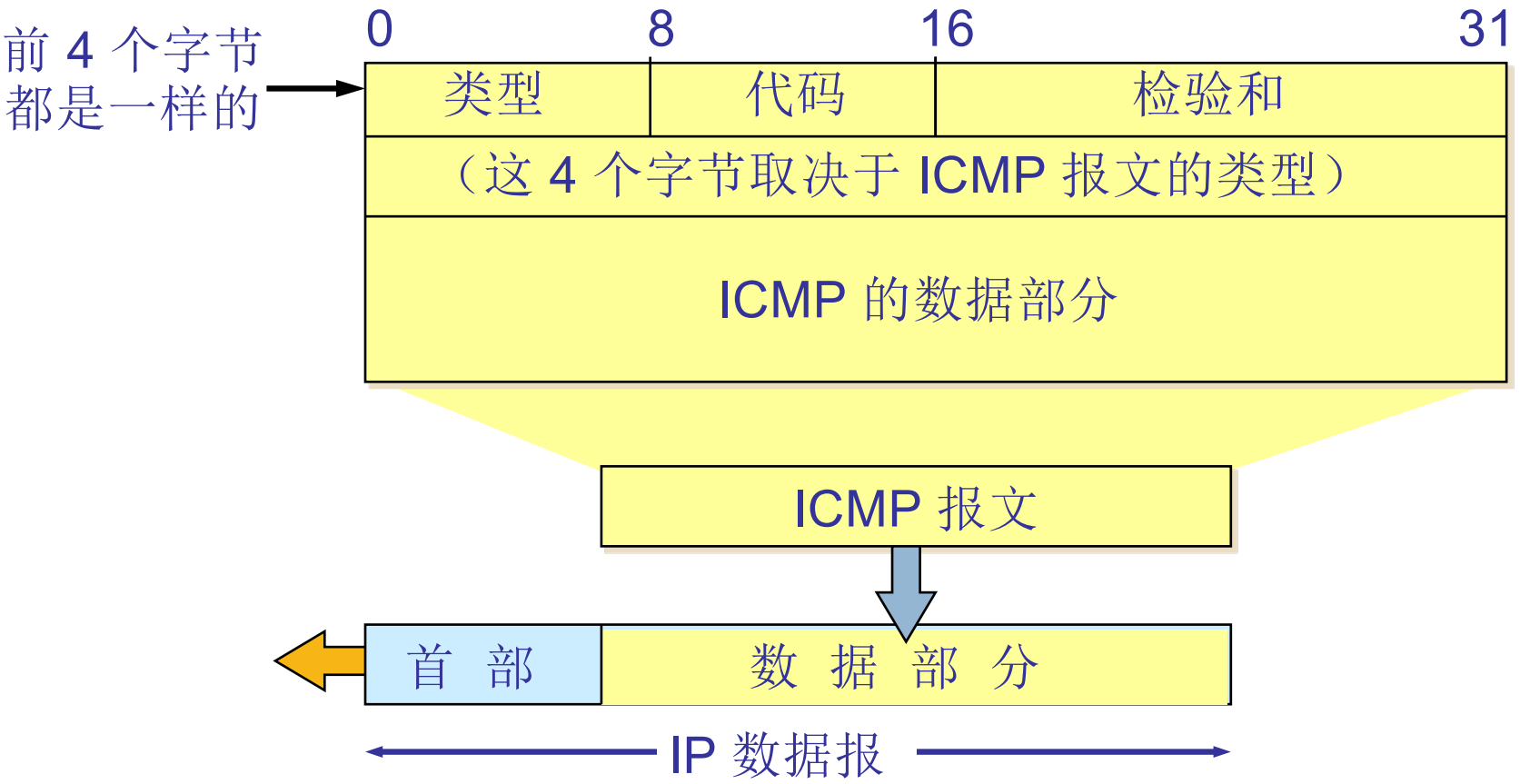
4.4 网际控制报文协议 ICMP

- IP层的服务定位
- IP数据报的校验和错误检测
  - 每个IP数据报的头部都有一个校验和(checksum)字段，它负责对整个IP报文头进行检验
  - 路由器在每次转发一个IP报文之前都要重新计算一个新的校验和。（原因？）
- IP层发现校验和错时的处理：数据报丢弃
  - 因为，接收者无法相信数据报头部中的任何域，包括：源地址，目标地址。
- 但是，某些差错是可以被报告的
  - 例如，网中的一些物理路径出错，导致网络无法连通等

ICMP的功能

- 为了提高 IP 数据报交付成功的机会，在网际层使用了网际控制报文协议ICMP
  - 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是一个差错报告协议
  - 检查并报告一些基本的差错，让一个路由器向其它路由器或主机发送差错或控制报文
  - ICMP在两台机器上的Internet协议软件之间提供了一种通信方式
  - ICMP协议对IP的执行是必要的

ICMP 报文的格式



- IP和ICMP相互依赖，IP使用ICMP发送差错报文，ICMP利用IP来传递报文
- ICMP不是高层协议，而是IP层的协议

说明

- 类型：可看作是差错的种类，例如，3表示终点不可达；
- 代码：表明各种类型的不同具体情况，例如，类型为3时，代码
  - 0 = 网络不可达;
  - 1 = 主机不可达;
  - 2 = 协议不可用;
  - 3 = 端口不可达;
  - ……
- 第5-8个字节，随类型的不同有所变化，例如，重定向消息中，用以表示网关的IP地址

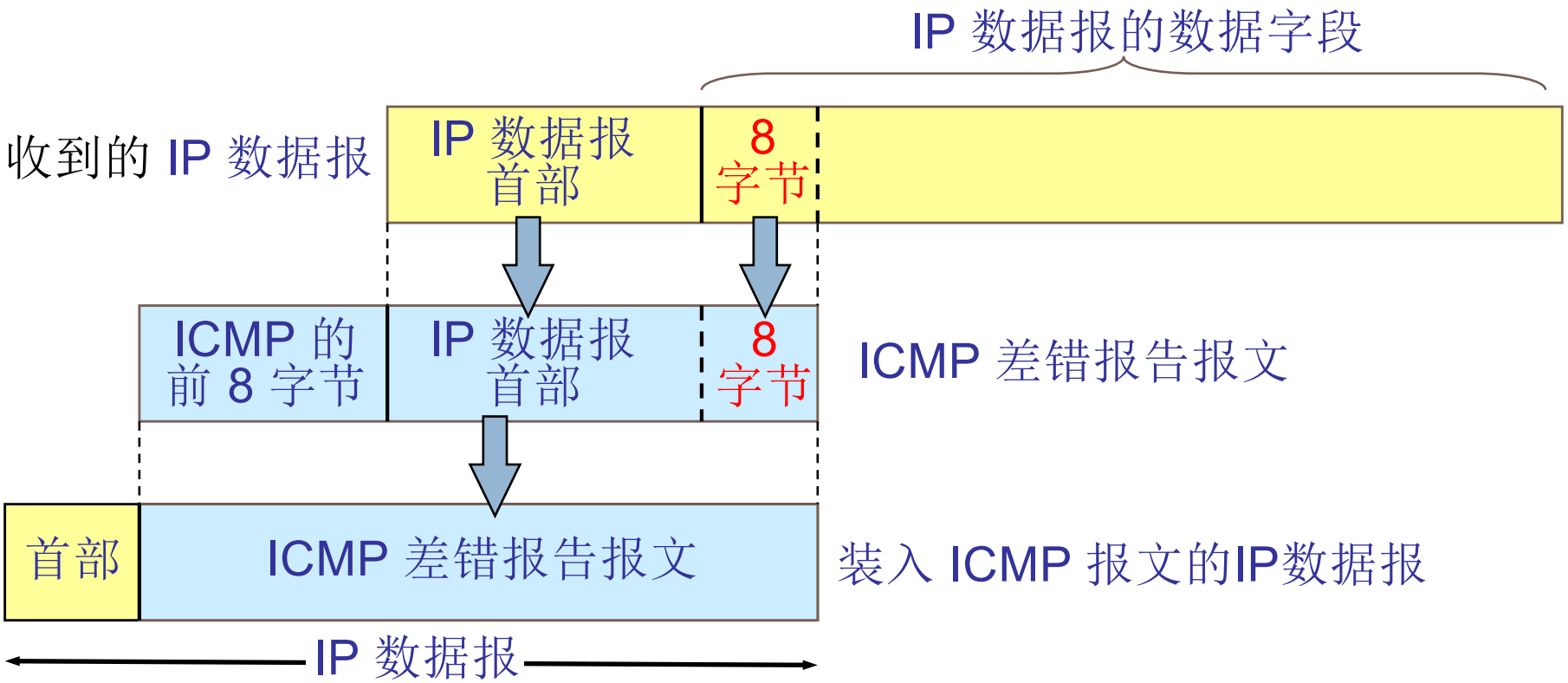
4.4.1 ICMP报文的种类

- ICMP 报文的种类有两种，即
  - ICMP 差错报告报文
  - ICMP 询问报文
- ICMP 报文
  - 4个字节是统一的格式，共有三个字段：即类型、代码和检验和
  - 接着的 4 个字节的内容与ICMP的类型有关

ICMP差错报告报文共有5种

- 终点不可达
- 源点抑制(Source quench)
  - 路由器或者主机发生拥塞，希望源点放慢发送速率时发送
- 时间超过
  - 路由器收到TTL=0的数据报
  - 终点在规定时间内收不到一个数据报的所有分片时发送
- 参数问题
  - 收到的数据报的字段的值错误时，丢弃数据报，向源点报告
- 改变路由（重定向）(Redirect)
  - 路由器告知主机改变的路由

ICMP差错报告报文的数据字段的内容



IP数据报的数据字段的前8个字节:运输层的端口号（TCP和UDP）以及运输层报文的发送序号（TCP）

不应发送ICMP差错报告报文的几种情况

- 对ICMP差错报告报文不再发送ICMP差错报告报文。
- 对第一个分片的数据报片的所有后续数据报片都不发送 ICMP 差错报告报文
- 对具有多播地址的数据报都不发送ICMP差错报告报文
- 对具有特殊地址（如127.0.0.0或0.0.0.0）的数据报不发送 ICMP 差错报告报文

ICMP询问报文

- 回送请求/回送回答报文
  - 主机或者路由器向目的主机发出回送请求报文，目的主机必须发回送回答报文，以测试可达性及其有关状态。
- 时间戳请求或回答报文
  - 请求或者回答当前的日期和时间，以进行时间同步或者测量时间。

4. 4. 2 ICMP的应用举例

PING

- 用来测试两个主机之间的连通性
- 使用了 ICMP 回送请求与回送回答报文
- **是应用层直接使用网络层ICMP的例子**
  - 没有通过运输层的TCP或UDP

PING 的应用举例

```
C:\Documents and Settings\XXR>ping mail.sina.com.cn

Pinging mail.sina.com.cn [202.108.43.230] with 32 bytes of data:

Reply from 202.108.43.230: bytes=32 time=368ms TTL=242
Reply from 202.108.43.230: bytes=32 time=374ms TTL=242
Request timed out.
Reply from 202.108.43.230: bytes=32 time=374ms TTL=242

Ping statistics for 202.108.43.230:
    Packets: Sent = 4, Received = 3, Lost = 1 (25% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 368ms, Maximum = 374ms, Average = 372ms
```

Traceroute 的应用举例

```
C:\Documents and Settings\XXR>tracert mail.sina.com.cn

Tracing route to mail.sina.com.cn [202.108.43.230]
over a maximum of 30 hops:

  1    24 ms    24 ms    23 ms  222.95.172.1
  2    23 ms    24 ms    22 ms  221.231.204.129
  3    23 ms    22 ms    23 ms  221.231.206.9
  4    24 ms    23 ms    24 ms  202.97.27.37
  5    22 ms    23 ms    24 ms  202.97.41.226
  6    28 ms    28 ms    28 ms  202.97.35.25
  7    50 ms    50 ms    51 ms  202.97.36.86
  8   308 ms   311 ms   310 ms  219.158.32.1
  9   307 ms   305 ms   305 ms  219.158.13.17
 10   164 ms   164 ms   165 ms  202.96.12.154
 11   322 ms   320 ms  2988 ms  61.135.148.50
 12   321 ms   322 ms   320 ms  freemail43-230.sina.com [202.108.43.230]

Trace complete.
```

Traceroute原理

- Traceroute从源主机向目标主机发送一串IP数据报，封装的是无法交付的UDP数据报
- 数据报P1的TTL设为1
  - 路由器每接到数据报，对TTL要减1，若TTL为0，则丢弃，并发送ICMP**时间超过差错报告报文**；
- 源主机重发，发送数据报Pi，并设TTL为i
- ……
- 目标主机收到数据报后，不转发，也不把TTL减1，因为数据报无法交付，因此向源主机发送ICMP**源点不可达差错报告报文**

- 36 若路由器R因为拥塞丢弃IP分组，则此时R可以向发出该IP分组的源主机发送的ICMP报文件类型是（ ）
  - A：路由重定向
  - B：目的不可达
  - C：源抑制
  - D：超时

作业

- 10，17, 20, 21, 22, 26，28

Thanks , Any Question?

The End.

chenwh@nwnu.edu.cn