



章节	重难点内容
第1章 概述	计算机网络的特点，互联网的组成，计算机网络的性能评估指标，计算机网络体系结构
第2章 数据通信 基础知识	消息、信息、信号三者之间的关系，奈氏准则和香农公式，数据编码与传输，信道复用技术
第3章 物理层	物理层的作用，物理层的接口特性，宽带接入技术
第4章 数据链路 层	数据链路层的作用，数据链路层的基本术语，数据链路层的基本问题，点对点协议（PPP），广播信道的数据链路层协议，在物理层和数据链路层扩展局域网，虚拟局域网，地址解析协议

- 网际协议 (IP) 提供不可靠、无连接、尽力而为的数据报传送服务。
- IP 的主要功能：寻址，路由选择，分段与重组
- IPv4 数据报格式
 - 首部长度：单位是4字节
 - 总长度：受MTU限制
 - 标识
 - 标志
 - 片偏移：单位是8字节

IPv4 数据报由首部和数据两部分组成



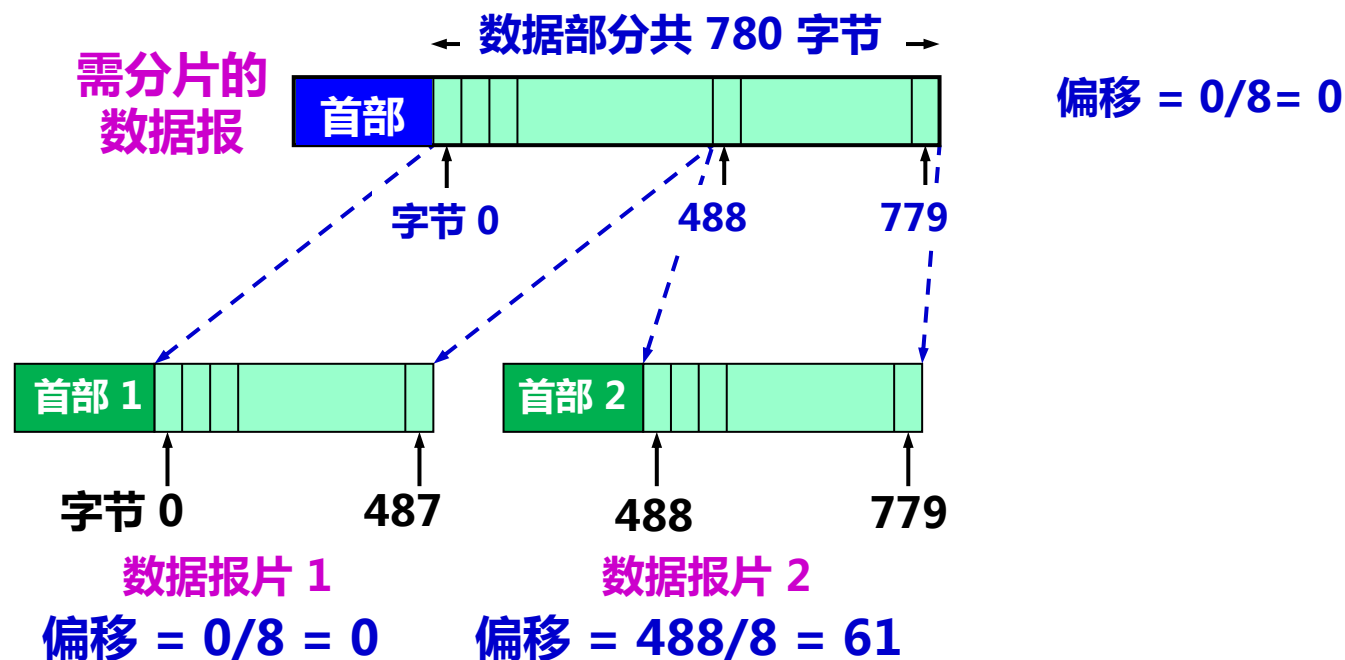
【例】 IP 数据报分片

假设一个数据报的总长度为 800 字节，其首部为20字节，标识符 ID=3，允许分片。现将该IP数据报通过一个最大传送单元为512字节的网络，需要划分为几片？各数据报片的总长度、标识字段、标志字段的MF和DF以及片偏移字段的值分别是什么？

- 因固定首部长度为 20 字节，因此每个数据报片的数据部分长度不能超过 512 字节。于是分为 2 个数据报片，其数据部分的长度分别为 488 字节和 292 字节。
- 原始数据报首部被复制为各数据报片的首部，但必须修改有关字段的值。

【例】IP 数据报分片

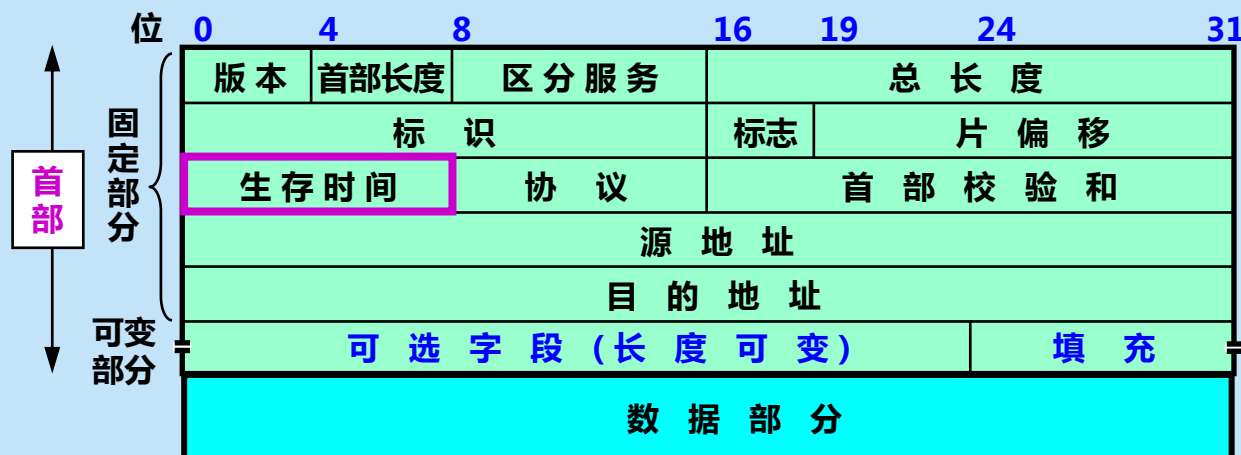
解



	总长度	标识	DF	MF	片偏移
原始数据报	800	3	0	0	0
数据报片1	508	3	0	1	0
数据报片2	312	3	0	0	61

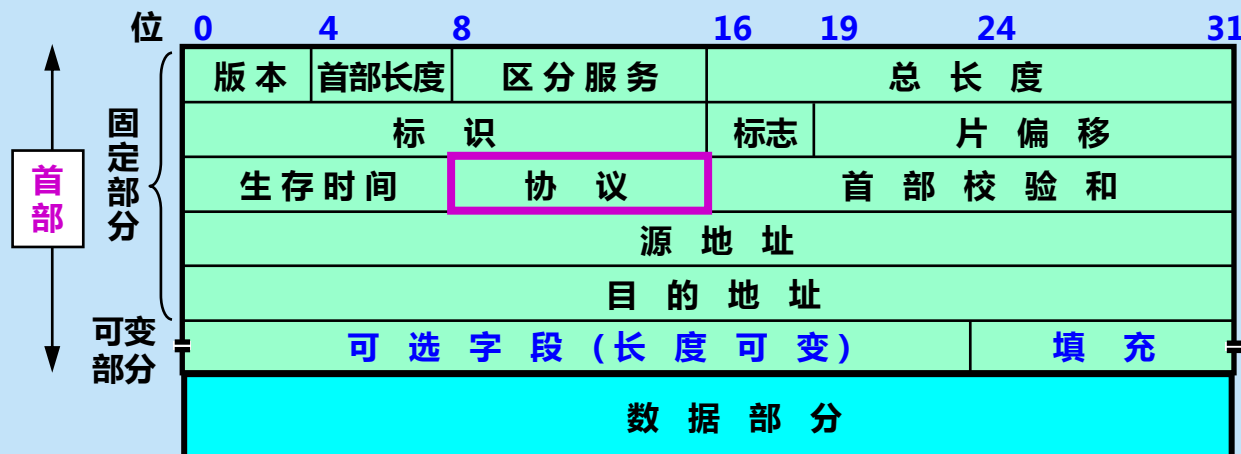
IPv4 数据报格式

- **生存时间**——占 8 位，记为 **TTL (Time To Live)**，表明数据在网络中的寿命，由**发出数据报的源主机设置这个字段**，指示数据报在网络中可通过的路由器数的最大值。TTL的初始值通常设为**32或64**，每经过一个路由器，其值就减去1。当TTL=0时，丢弃数据报，并发送ICMP报文通知源主机。



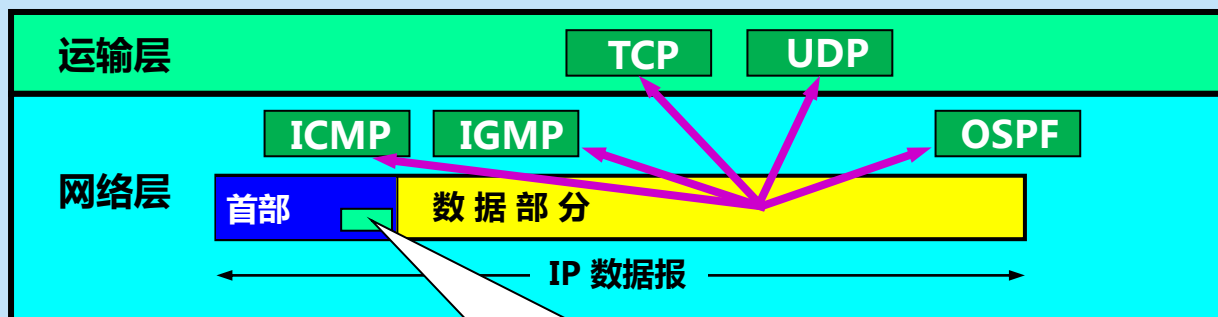
IPv4 数据报格式

- **协议**——占 8 位，指出此数据报携带的数据使用何种协议，以便目的主机的主机的 IP 层将数据部分上交给那个处理过程。



IPv4 数据报格式

- **协议**——占 8 位，指出此数据报携带的数据使用何种协议，以便目的主机的主机 IP 层将数据部分上交给那个处理过程。



ICMP=1
IGMP=2
TCP=6
UDP=17
OSPF=89

IP 支持多种协议，
IP 数据报可以封装多种协议 PDU。

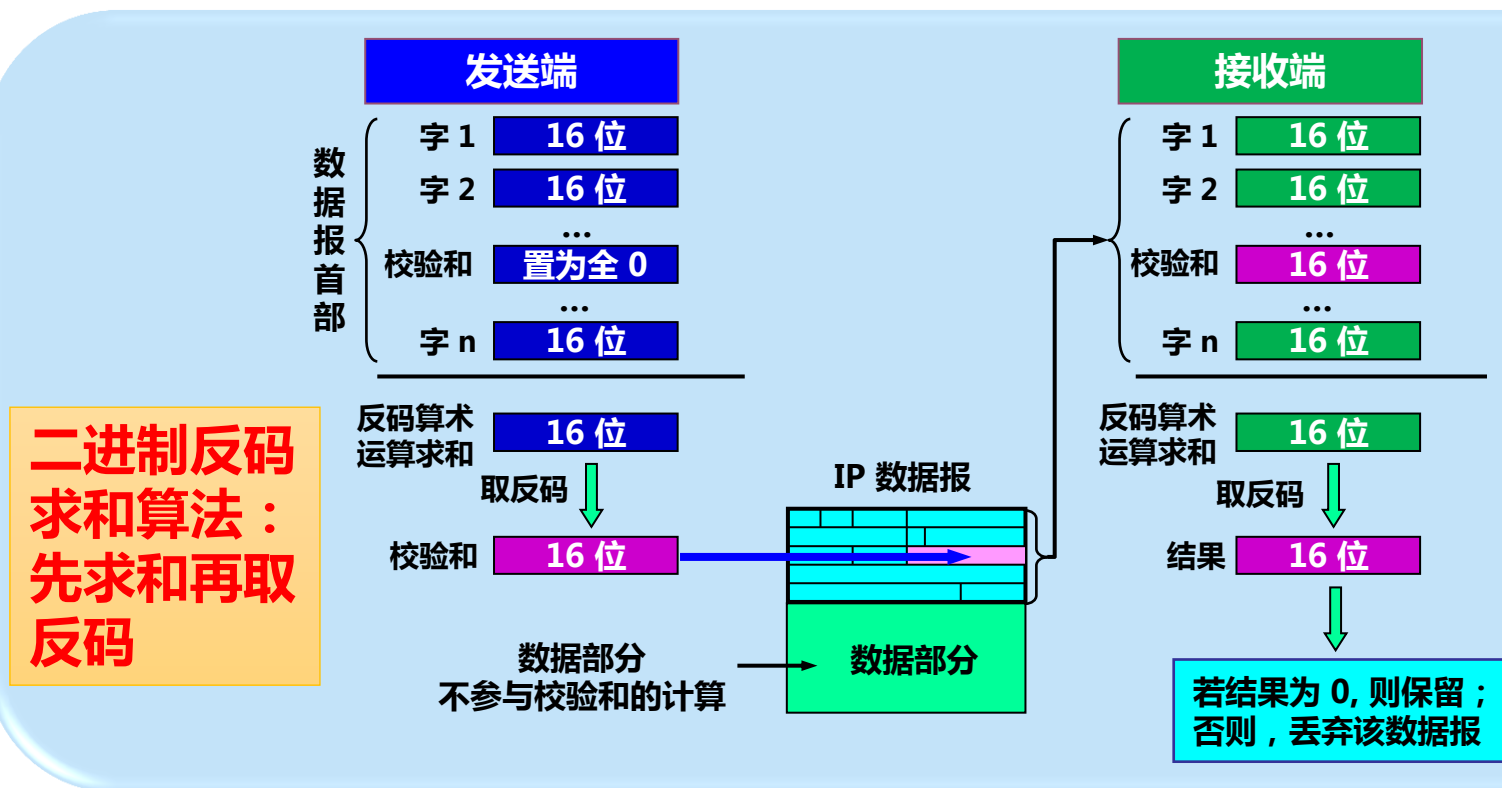
IPv4 数据报格式

- **首部校验和**——占**16位**，**只校验数据报的首部**，不校验数据部分。
IP数据报首部校验和的计算采用**16位二进制反码求和算法**。



IPv4 数据报格式

- **首部校验和**——占 **16 位**，只校验数据报的首部，不校验数据部分。
IP数据报首部校验和的计算采用**16位二进制反码求和算法**。



IPv4 数据报格式

- **首部校验和**——占 16 位，只校验数据报的首部，不校验数据部分。IP数据报首部校验和的计算采用**16位二进制反码求和算法**。
- **二进制反码求和**——0和0相加是0，0和1相加是1，**1和1相加是0但要产生一个进位1**，加到下一列。若最高位相加后产生进位，则最后得到的结果要加上溢出的进位1。所谓的二进制反码求和，即为**先进行二进制求和，然后对和取反**。

算术运算

1 1 0 1 1	第一个二进制加数
+ 1 0 1 0 1	第二个二进制加数
<hr/>	
1 0 0 0 0	相加之和为110000， 最高位的1需要放到 下一列相加
1	
<hr/>	
1 0 0 0 1	相加得到的结果
0 1 1 1 0	取反得到最终结果

IPv4 数据报格式

- **首部校验和**——占 **16 位**，只校验数据报的首部，不校验数据部分。
IP数据报首部校验和的计算采用**16位二进制反码求和算法**。

例

版本、首部长度、服务类型	4	5	0
数据报总长度	80		
标识	1		
标志、片偏移	0	0	
TTL、协议	4	6	
首部校验和	0		
源IP地址	192	168	
	20	86	
目的IP地址	192	168	
	21	20	

取反码

0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0
0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0
1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0
0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0
1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1
1
1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0
0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1

取反码

4	5	0
80		
1		
0	0	
4	6	
3053		
192	168	
20	86	
192	168	
21	20	

取反码

0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1
1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0
0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0
1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0
0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

取反码

IPv4 数据报格式

IP为什么要提供对IP数据报首部的校验功能？
IP为什么不提供对IP数据报数据域的校验功能？



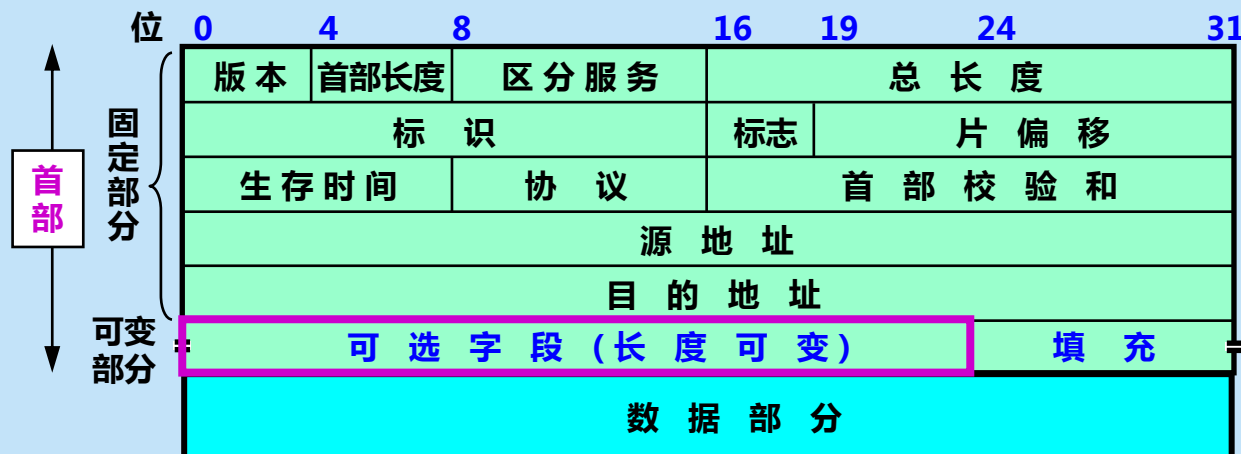
IPv4 数据报格式

- 源地址和目的地址--源地址和目的地址都各占 4 字节。



IPv4 数据报格式

- **可选字段**——长度可变，从 1 个字节到 40 个字节不等，取决于所选择的项目。实际上这些选项很少使用。
 - 支持排错、测量及安全等措施，**内容很丰富**。
 - 增加了IP数据报的功能，增加了每个路由器处理数据报的**开销**。



IPv4 数据报格式

- **可选字段**——长度可变，从 1 个字节到 40 个字节不等，取决于所选择的项目。实际上这些选项很少使用。
 - 支持排错、测量及安全等措施，**内容很丰富**。
 - 增加了IP数据报的功能，增加了每个路由器处理数据报的**开销**。



- 安全和处理限制（用于军事领域）
- 记录路径（让每个路由器记下它的IP地址）
- 时间戳（让每个路由器都记下它的IP地址和时间）
- 宽松的源站选路（为数据报指定一系列必须经过的IP地址）
- 严格的源站选路（数据报只能通过指定的IP地址，不能经过其他地址）

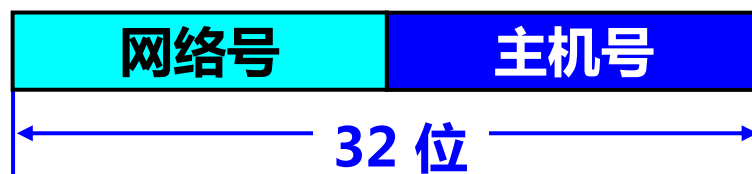
IPv4 数据报格式

- **填充**——使 IP 数据报为4字节的整数倍。



IPv4 地址

- IPv4 地址是给每个连接在互联网上的主机（或路由器）分配一个在全世界范围是**唯一的 32 位的标识符**。由互联网名字和数字分配机构 (ICANN) 进行分配。
- IP 地址结构



两级结构

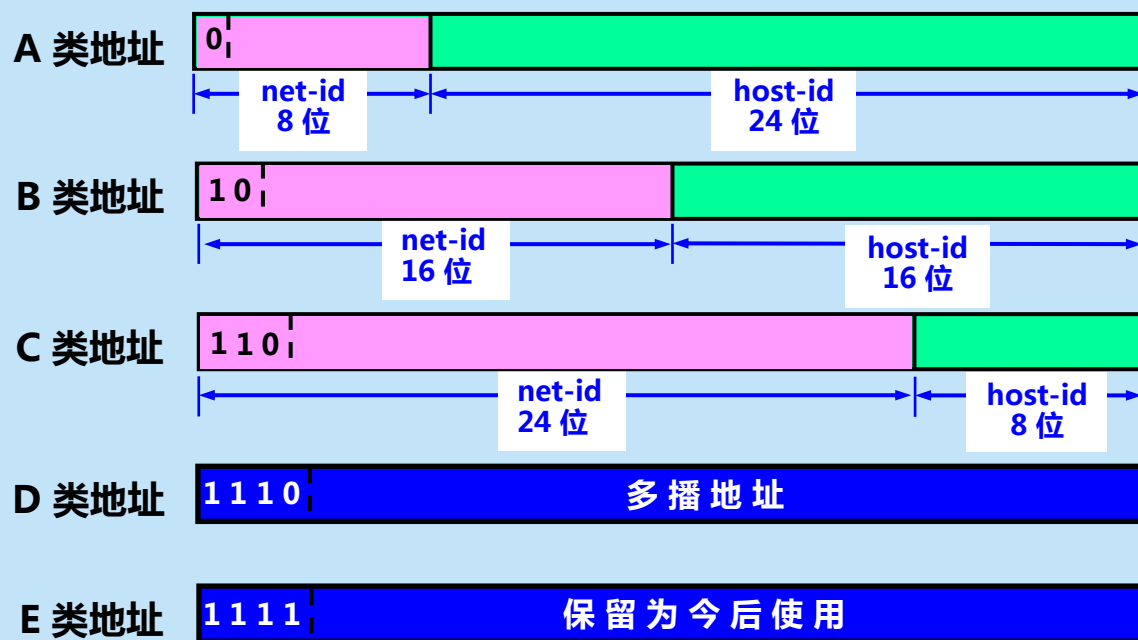
- 可以记为

IP 地址 ::= { <网络号>, <主机号> }

::= 代表 “**定义为**”

IPv4 地址

- IP 地址是给每个连接在互联网上的主机（或路由器）分配一个在全世界范围是**唯一的 32 位的标识符**。由互联网名字和数字分配机构 (ICANN) 进行分配。



各类 IP 地址的网络号字段和主机号字段

IPv4 地址

● 点分十进制记法

机器中存放的 IP 地址
是 32 位二进制代码

10000000000010110000001100011111

每 8 位为一组

10000000 00001011 00000011 00011111

将每 8 位的二进制数
转换为十进制数

128

11

3

31

采用点分十进制记法
则进一步提高可读性

128.11.3.31

IPv4 地址

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

IP地址类型	地址范围
A类	0. 0. 0. 0~127. 255. 255. 255
B类	128. 0. 0. 0~191. 255. 255. 255
C类	192. 0. 0. 0~223. 255. 255. 255
D类	224. 0. 0. 0~239. 255. 255. 255
E类	240. 0. 0. 0~255. 255. 255. 255

特殊的 IPv4 地址

网络号	子网号	主机号	源地址使用	目的地址使用	代表的意思
0		0	可以	不可	网络上的主机
0		hostid	可以	不可	网络上的特定主机
127		非全 0 或全 1 的任何数	可以	可以	环回地址
全 1		全 1	不可	可以	受限的广播（永远不被转发）
netid		全 1	不可	可以	以网络为目标向netid广播
netid	subnetid	全 1	不可	可以	以子网为目标向netid、subnetid广播
netid	全 1	全 1	不可	可以	对 net-id 上的所有主机进行广播

◆环回接口是一种逻辑接口，允许运行在同一台主机上的客户程序和服务器程序通过TCP/IP进行通信。

◆一般设备默认采用的环回地址为127. 0. 0. 1。

子网划分

为什么要划分子网？

假设某个单位有5个部门，每个部门40人。

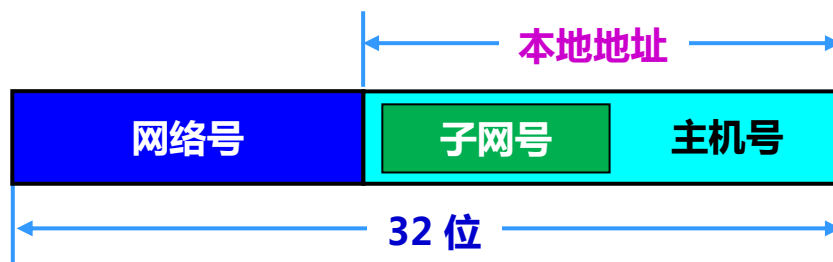
- 如果每个部门分配一个A、B或C类网络地址，**大量IP地址被浪费**；
- 大量计算机在同一个IP网络中，**存在安全隐患**；
- **若想增加一个部门**，在没有获得IP地址之前不能连入互联网。

在网络层划分子网：

- 可以把大的广播域划分为较小的广播域；
- 提高IP地址空间的利用率；
- 保证网络的安全性；
- 提高网络的灵活性。

子网划分

- 划分子网是在一个网络中划分小的网络，是一个单位内部的事情，单位对外仍然表现为没有划分子网的网络。
- 划分子网从主机号借用若干个位作为子网号 subnet-id，而主机号 host-id 也就相应减少了若干个位。



三级结构

$$\text{IP地址} ::= \{ \langle \text{网络号} \rangle, \langle \text{子网号} \rangle, \langle \text{主机号} \rangle \}$$

子网划分 -- 生活实例

序号	网络号	子网号	主机号	第1个可用号码	最后1个可用号码
0	137	0000	0000	13700000000	13700009999
1	137	0001	0000	13700010000	13700019999
2	137	0002	0000	13700020000	13700029999
...
9999	137	9999	0000	13799990000	13799999999

如何区分IP地址中的子网号呢？

子网划分--子网掩码

- 子网掩码又叫网络掩码、地址掩码、子网络遮罩，它和IP地址一样，**是一个32bit的地址**，是一种用来指明一个IP地址的哪些位标识的是主机所在的子网以及哪些位标识的是主机的位掩码。**子网掩码不能单独存在，它必须结合IP地址一起使用**。子网掩码由一串连续的1（不少于8个）和一串连续的0组成，其中值为 **1** 的比特留给网络号和子网号，值为 **0** 的比特留给主机号。

合法的子网掩码：

11111111.11111111.11111000.00000000

- 子网掩码可用与IP地址格式相同的**点分十进制**表示
 - 例如：255.255.255.0，255.255.255.126
- 也可在IP地址后加上“/”符号和1-32的数字，其中1-32的数字表示子网掩码中网络标识位的长度
 - 例如：192.168.0.1/24（255.255.255.0）



子网划分--子网掩码

子网掩码	子网掩码参照数值
1	128.0.0.0
2	192.0.0.0
3	224.0.0.0
4	240.0.0.0
5	248.0.0.0
6	252.0.0.0
7	254.0.0.0
8	255.0.0.0
9	255.128.0.0
10	255.192.0.0
10	255.192.0.0
11	255.224.0.0
12	255.240.0.0
13	255.248.0.0
14	255.252.0.0
15	255.254.0.0
16	255.255.0.0

子网掩码	子网掩码参照数值
16	255.255.0.0
17	255.255.128.0
18	255.255.192.0
19	255.255.224.0
20	255.255.240.0
21	255.255.248.0
22	255.255.252.0
23	255.255.254.0
24	255.255.255.0
25	255.255.255.128
26	255.255.255.192
27	255.255.255.224
28	255.255.255.240
29	255.255.255.248
30	255.255.255.252
31	255.255.255.254
32	255.255.255.255

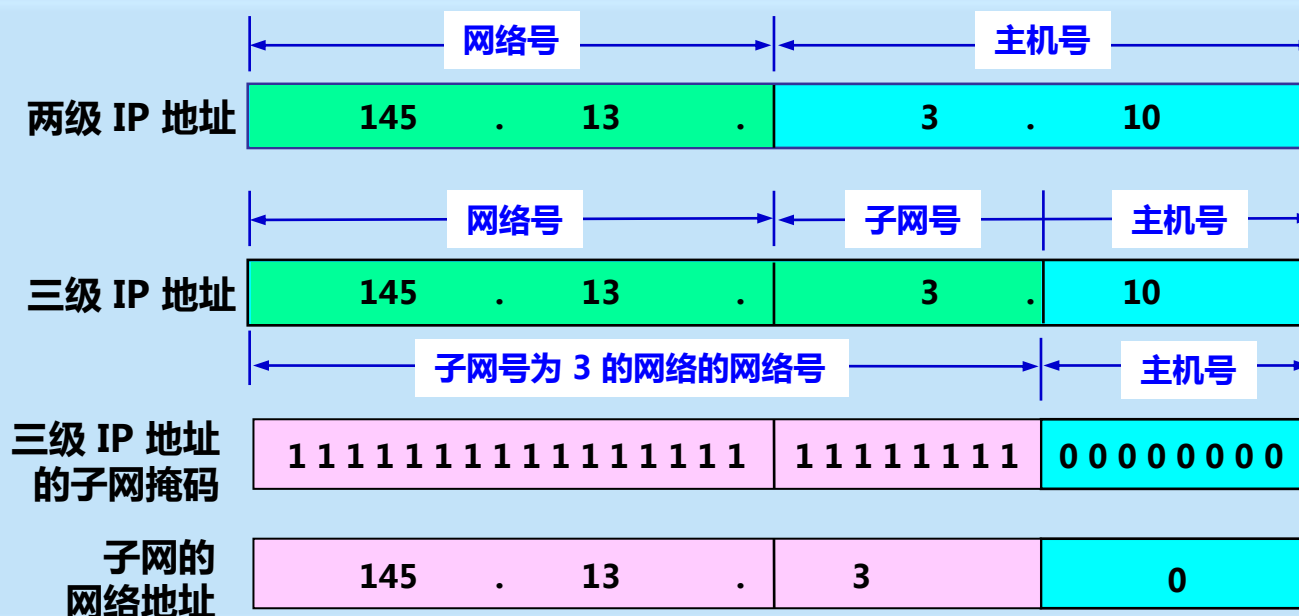
子网划分--子网掩码

● 默认子网掩码

A类地址	网络地址	网络号	主机号为全 0
	默认子网掩码 255.0.0.0	1 1 1 1 1 1 1	0 0
B类地址	网络地址	网络号	主机号为全 0
	默认子网掩码 255.255.0.0	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
C类地址	网络地址	网络号	主机号为全 0
	默认子网掩码 255.255.255.0	1 1	0 0 0 0 0 0 0 0

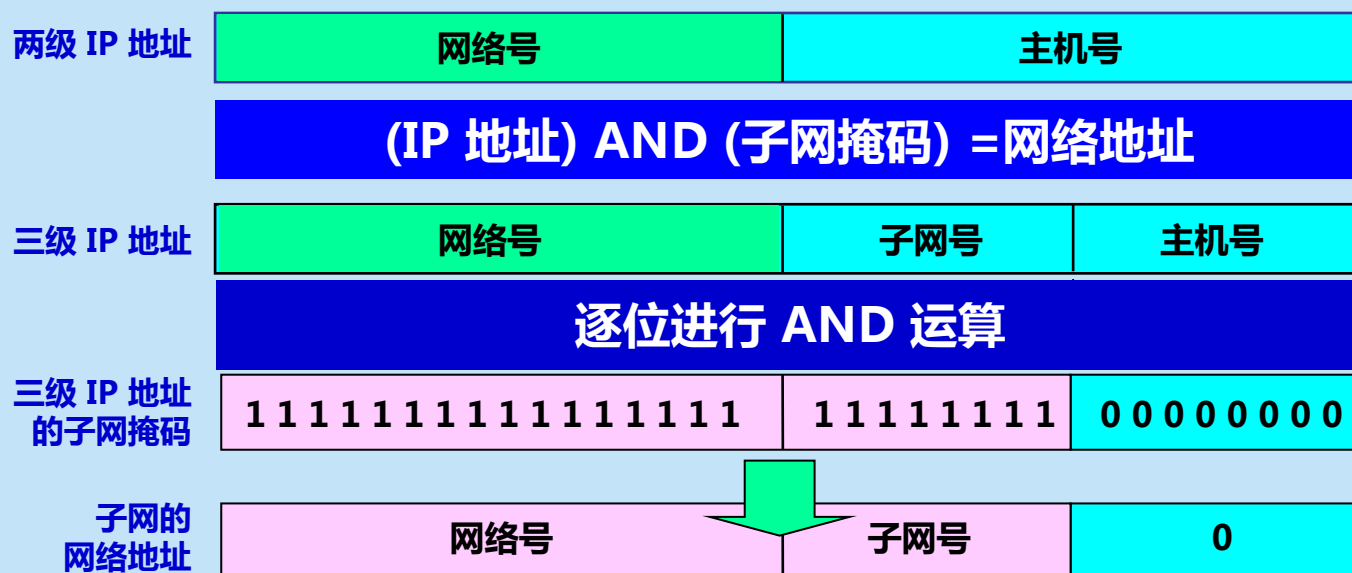
子网划分--子网掩码的作用

- 使用子网掩码可以确定子网的网络地址



子网划分--子网掩码的作用

- 使用子网掩码可以确定子网的网络地址



- 判断两台通信的主机是否在同一网络中



子网划分--子网掩码的作用

● 子网掩码决定了子网中主机的数目

例

1. 子网掩码为255.255.248.0的子网最多可以容纳多少台电脑？
2. 公司800台电脑组成一个局域网，则子网掩码设为多少最合适？

1

(a) 子网掩码是 255.255.248.0

11111111	11111111	11111000	00000000
----------	----------	----------	----------

(b) 0 的个数=11

11111111	11111111	11111000	00000000
----------	----------	----------	----------

(c) 容纳的电脑= $2^{11}-2$ 台=2046台

2

(a) 容纳的电脑=800台< $2^{10}-2$ 台

(b) 0 的个数=10

11111111	11111111	11111100	00000000
----------	----------	----------	----------

(c) 子网掩码是 255.255.252.0

11111111	11111111	11111100	00000000
----------	----------	----------	----------

【例5-3】 已知 IP 地址是 141.14.72.24，子网掩码是 255.255.192.0。
试求网络地址。

(a) 点分十进制表示的 IP 地址	141 . 14 . 72 . 24
(b) 二进制表示的 IP 地址	1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0
(c) 子网掩码是 255.255.192.0	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 0 0 0 0 0 0 0
(d) IP 地址与子网掩码逐位相与	1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
(e) 网络地址 (点分十进制表示)	141 . 14 . 64 . 0

【例5-4】 上例中，若子网掩码改为 255.255.224.0，试求网络地址，
讨论所得结果。

(a) 点分十进制表示的 IP 地址	141 . 14 . 72 . 24
(b) 二进制表示的 IP 地址	1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0
(c) 子网掩码是 255.255.224.0	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 0 0 0 0 0
(d) IP 地址与子网掩码逐位相与	1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0
(e) 网络地址 (点分十进制表示)	141 . 14 . 64 . 0

注意：
相同的IP地址
和不同的子网
掩码可以得到
相同的网络地
址。
不同的子网掩
码可以使同一
网络划分的子
网数和每个子
网中的最大主
机数都不同。

分类的 IP 地址的优缺点



管理简单；
使用方便；
转发分组迅速；
划分子网，灵活地使用。

设计上不合理：
大地址块，浪费地址资源；
即使采用划分子网的方法，也无法解决 IP 地址枯竭的问题。

是否可以按需分配地址？

无分类域间选路（CIDR）

- 1987 年，RFC 1009 就指明了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**。
- 使用**变长子网掩码（VLSM**，Variable Length Subnet Mask)可进一步提高 IP 地址资源的**利用率**。
- 在 VLSM 的基础上又进一步研究出**无分类编址方法**，其正式名字是**无分类域间选路（CIDR**，Classless Inter-Domain Routing)。
- “无分类”的意思是现在的选路决策是基于整个32位IP地址的掩码操作，而不管其IP地址是A类、B类或C类，这样能够将路由表中的许多表项归并成更少的数目。**基本思想**是取消IP地址的分类结构，取而代之的是允许以可变长分界的方式分配网络数。
- **要点**
 - **网络前缀**
 - **地址块**
 - **地址掩码**