

第3章 IP编址

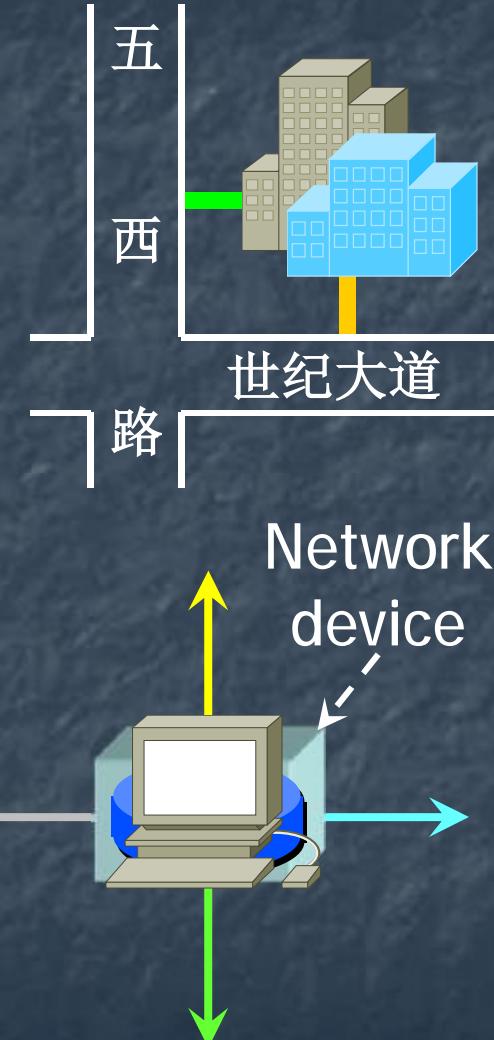
- IP 地址结构
- 地址分类
- 特殊地址
- 私有地址
- 划分子网
- 超网
- 无分类编址

引言

- IP 地址
- 通用标识符
- 唯一标识因特网上的主机或路由器

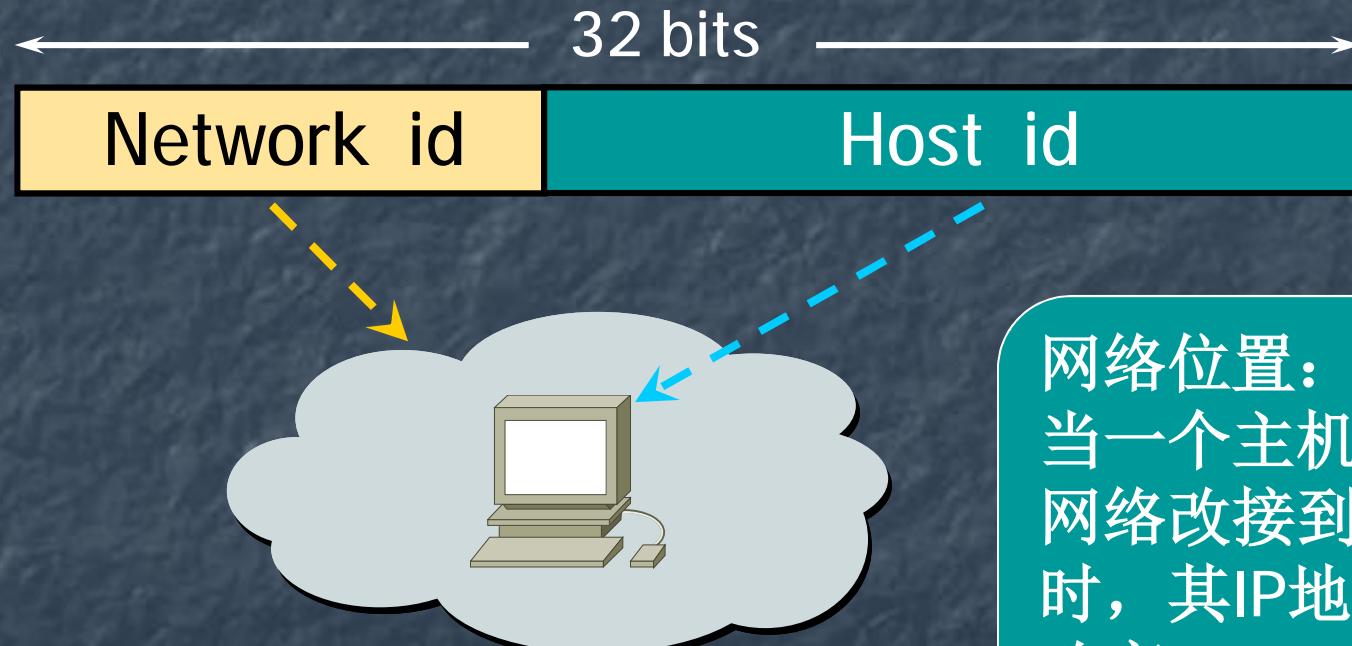
唯一性 通用性 网络连接

- 主机标识符
 - Name: 是什么, 可读性强
 - Address: 在哪里, 软件效率高
 - Route: 怎样到达



4.1 IP 地址结构

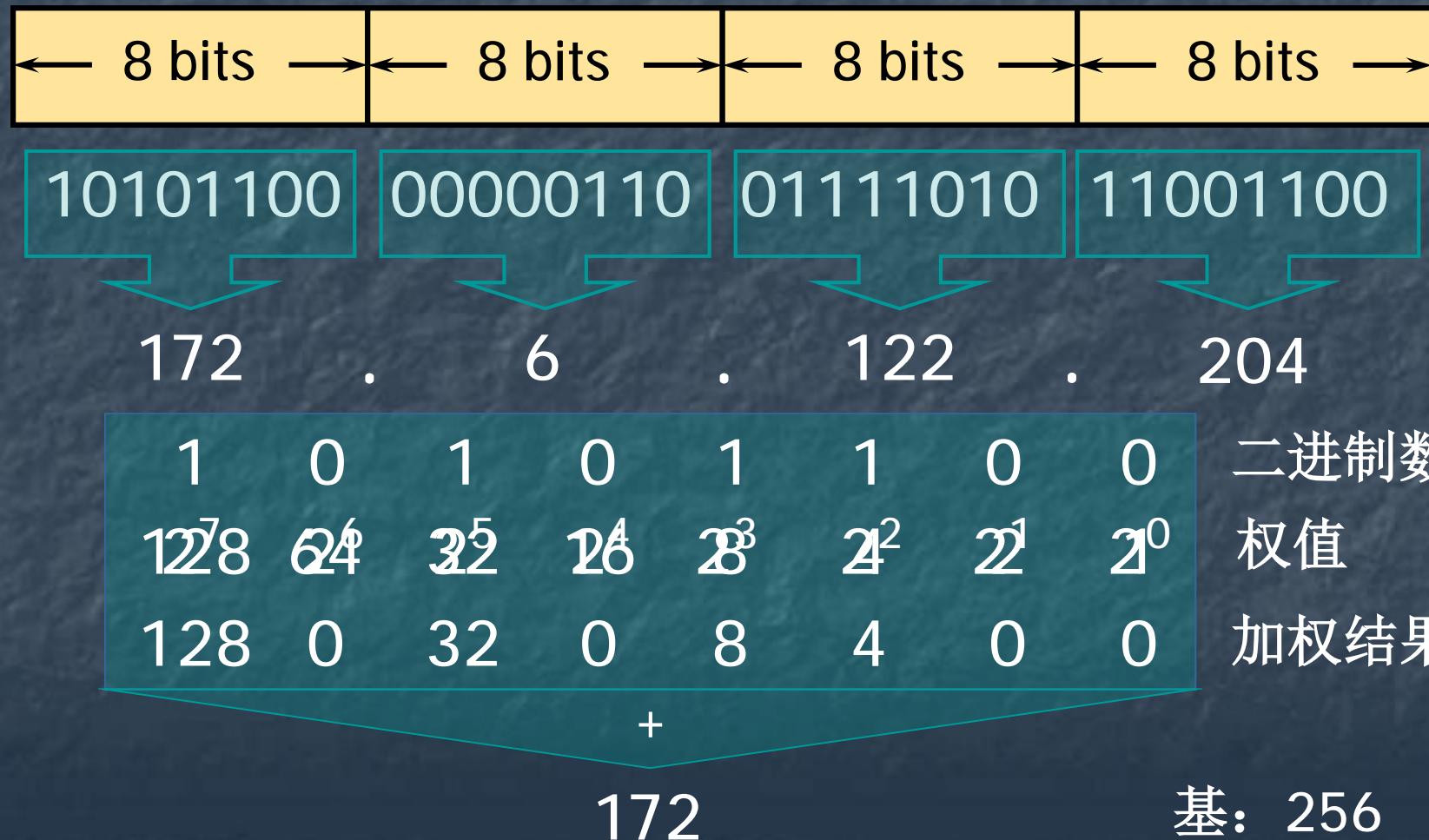
- 32-bit binary address
- Hierarchical addressing



网络位置：
当一个主机从一个
网络改接到另一网络
时，其IP地址必须
改变

IP地址表示

n Decimal point notation (点分十进制)



练习

n 下列IPv4地址是否有错误，请指出：

- n A) 110.048.62.79
- n B) 220.39.1.3.42
- n C) 189.40.300.26
- n D) 10110010.68.4.29

解答：

- A. 在点分十进制中，不应当有0开头的数（048）
- B. IPv4地址不能超过4个字节
- C. 每个字节必须小于或等于255
- D. 二进制法和点分十进制法不能混合使用

地址段

- n 经常处理的是一个范围的地址
- n 根据地址范围计算地址个数
 - n 首地址 : 146.102.29.0 , 末地址 : 146.102.32.255
 - n 地址个数 :
$$0*256^3 + 0*256^2 + (32-29)*256 + (255-0+1) = 1024$$
- n 根据首地址和地址个数计算末地址
 - n 首地址 : 14.11.45.96 , 地址个数 : 32
 - n 末地址 :
 - n 步骤1 : 将个数32减1, 再转换成基256表示法 : 0.0.0.31
 - n 步骤2 : 与首地址相加
$$(14.11.45.96 + 0.0.0.31)_{256} = 14.11.45.127$$

练习

n 1. 根据地址范围计算地址个数

首地址 : 220.37.50.32 , 末地址 : 220.37.52.16

解答:

地址个数:

$$[(52 - 1) - 50] * 256 + [(256 + 16) - 32 + 1] = 497$$

n 2. 根据首地址和地址个数计算末地址

首地址 : 201.85.42.108 , 地址个数 : 300

解答:

步骤1: 将个数300减1, 再转换成基256表示法: 0.0.1.43

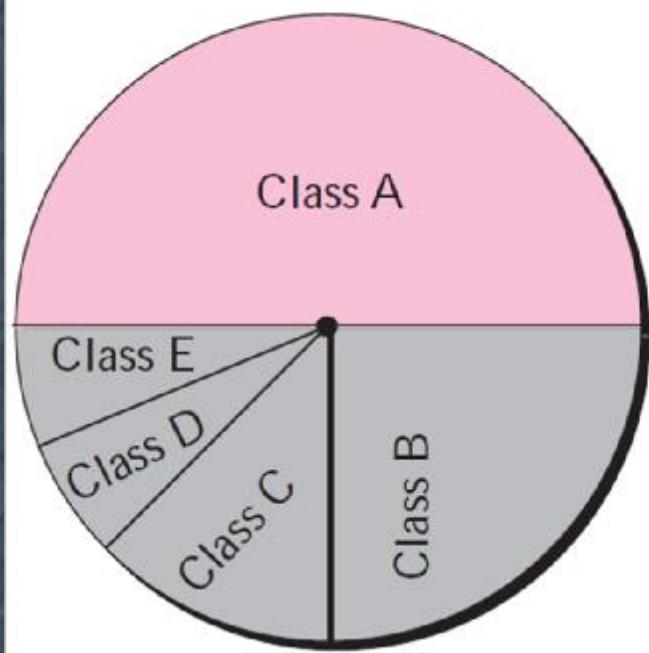
步骤2: 与首地址相加, 得到末地址:

$$(201.85.42.108 + 0.0.1.43)_{256} = 201.85.43.151$$

4.2 分类地址

	字节1	字节2	字节3	字节4	
n Class A	1 0	Netid		Hostid	bits $2^7, 2^{24}$
	0.0.0 ~ 127.255.255.255				
n Class B	1 1 10	Netid		Hostid	bits $2^{14}, 2^{16}$
	128.0.0.0 ~ 191.255.255.255				
n Class C	1 1 1 110	Netid		Hostid	bits $2^{21}, 2^8$
	192.0.0.0 ~ 223.255.255.255				
n Class D	1 1 1 1 1110			Multicast	bits 2^{28}
	224.0.0.0 ~ 239.255.255.255				
n Class E	1 1 1 1 1111			Reserved	bits 2^{28}
	240.0.0.0 ~ 255.255.255.255				

地址分配空间



Class A: $2^{31} = 2,147,483,648$ addresses, 50%

Class B: $2^{30} = 1,073,741,824$ addresses, 25%

Class C: $2^{29} = 536,870,912$ addresses, 12.5%

Class D: $2^{28} = 268,435,456$ addresses, 6.25%

Class E: $2^{28} = 268,435,456$ addresses, 6.25%

Exercises

- n 确定一个IP地址的分类
- n 提取 Netid 和 Hostid

Class A

0 . 0 . 0 . 0

127 . 255 . 255 . 255

Class B

128 . 0 . 0 . 0

191 . 255 . 255 . 255

Class C

192 . 0 . 0 . 0

223 . 255 . 255 . 255

Class D

224 . 0 . 0 . 0

239 . 255 . 255 . 255

No

Class E

240 . 0 . 0 . 0

255 . 255 . 255 . 255

No

标识
网络
连接

- n Example: 142.34.2.17, 208.57.128.30, 238.6.0.1

Solution

n 142.34.2.17

n 二进制

10|001110 . 00100010 . 00000010 . 00010001

B类 Net id Host id

n 十进制

142: (128, 191) à Class B

Net id : 142 . 34

Host id : 2 . 17

n 所在网络的地址范围

142.34.0.0 ~ 142.34.255.255

n 208.57.128.30

n 十进制

208: (192, 223) à Class C

Net id : 208 . 57 . 128

Host id : 30

n 所在网络的地址范围

208.57.128.0 ~ 208.57.128.255

n 238.6.0.1

n 十进制

238: (224, 239) à Class D

Net id : 无

Host id : 无

4.3 特殊地址

特殊地址	Net id	Host id	源/目的地址
网络地址	Specific	All 0s	都不是
直接广播地址	Specific	All 1s	目的地址
受限广播地址	All 1s	All 1s	目的地址
本网络上的本主机	All 0s	All 0s	源地址
本网络上的特定主机	All 0s	Specific	目的地址
环回地址	127	any	目的地址

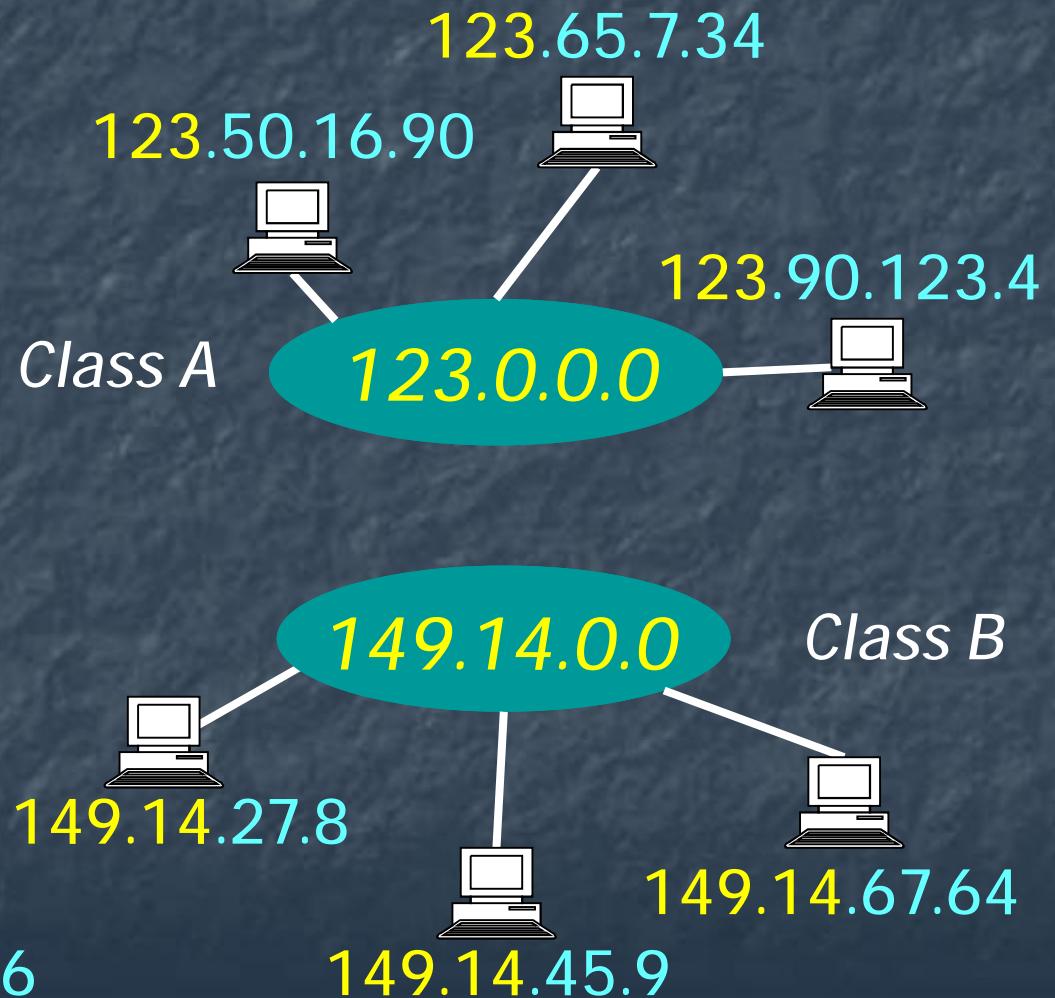
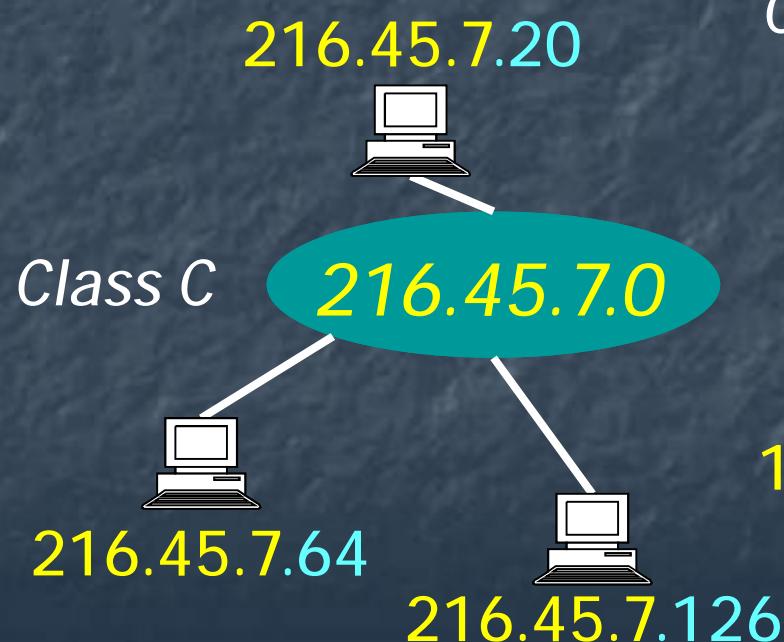
Specific—neither all 1s nor all 0s

Network Address

标识网络

n 网络地址

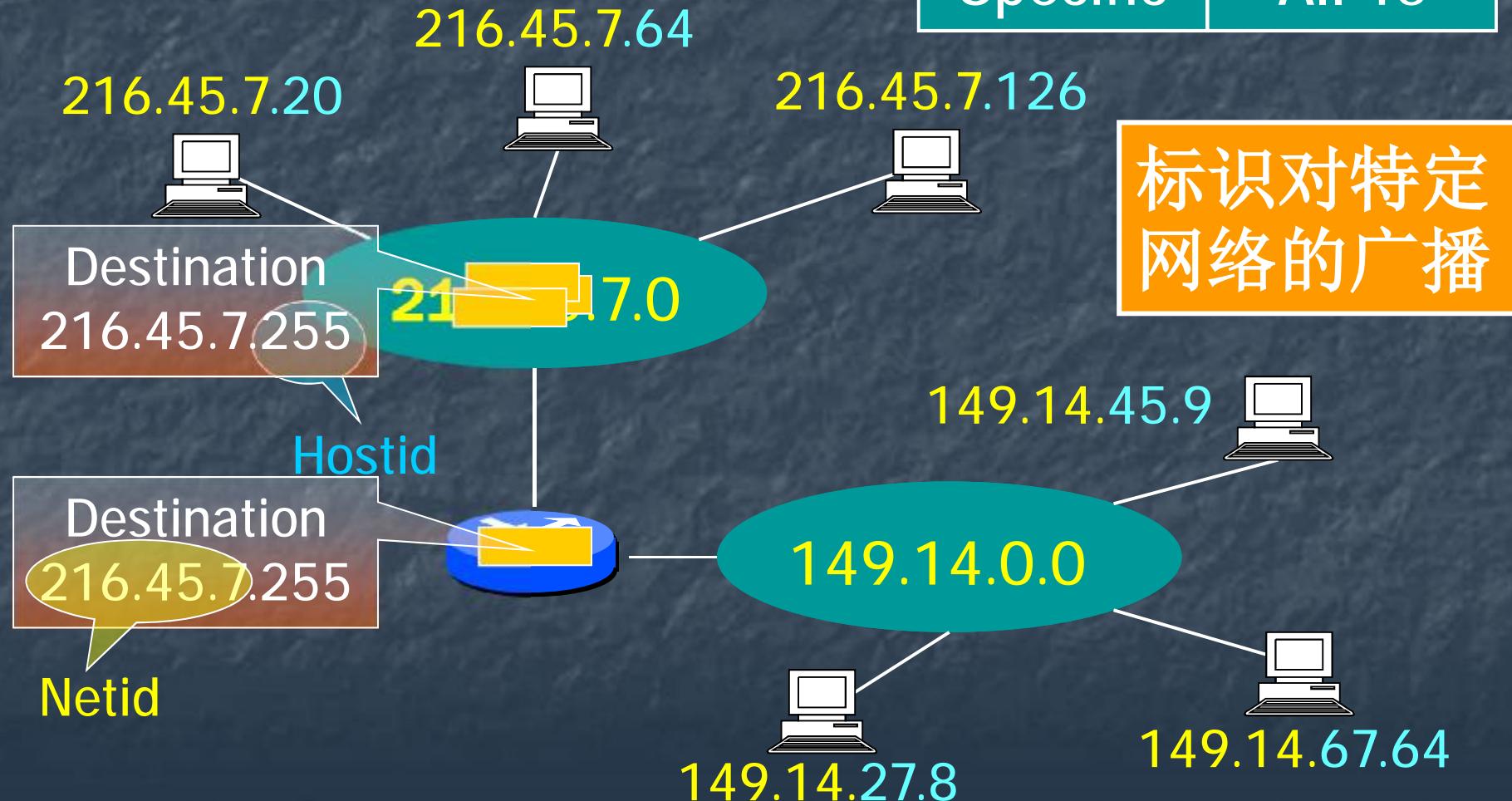
Netid	Hostid
Specific	All 0s



Direct broadcast address

n 直接广播地址

Netid	Hostid
Specific	All 1s



Limited broadcast address

n 受限广播地址

255.255.255.255

标识对本地
网络的广播

216.45.7.64

216.45.7.20

216.45.7.126



216.45.7.0

Destination
255.255.255.255

Destination
255.255.255.255
blocked

149.14.45.9



149.14.45.0

Destination
255.255.255.255

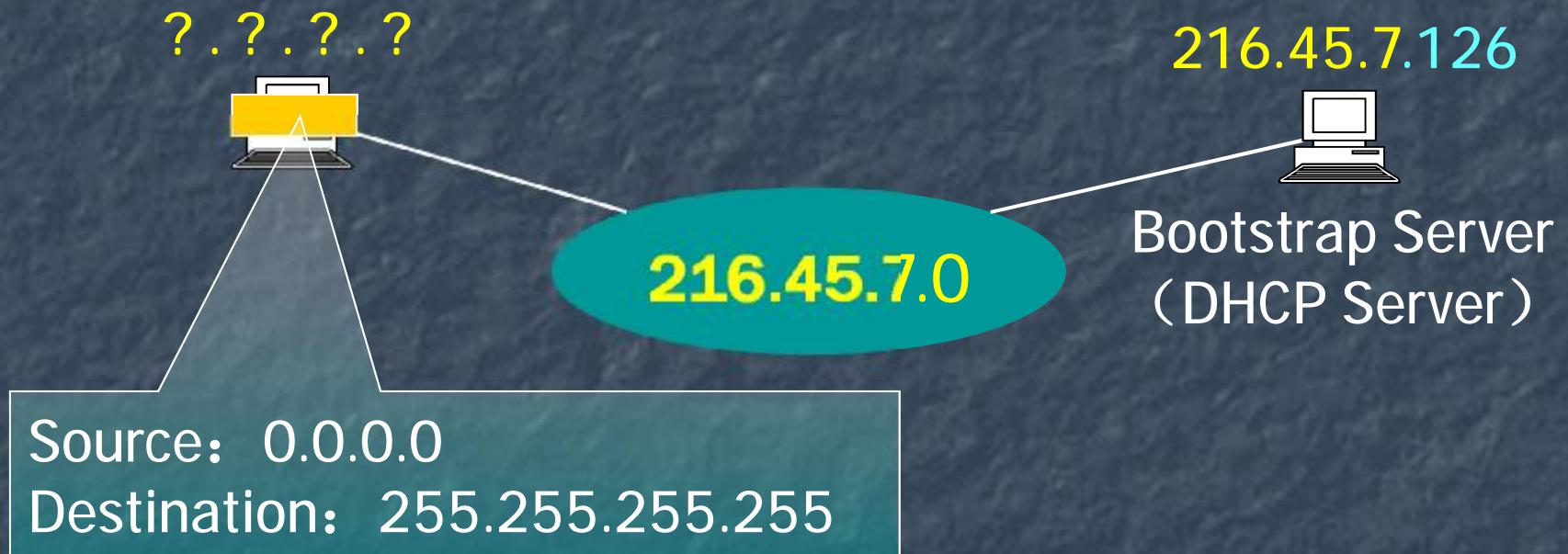
149.14.27.8

149.14.67.64

This host on this network

n 本网络上的本主机

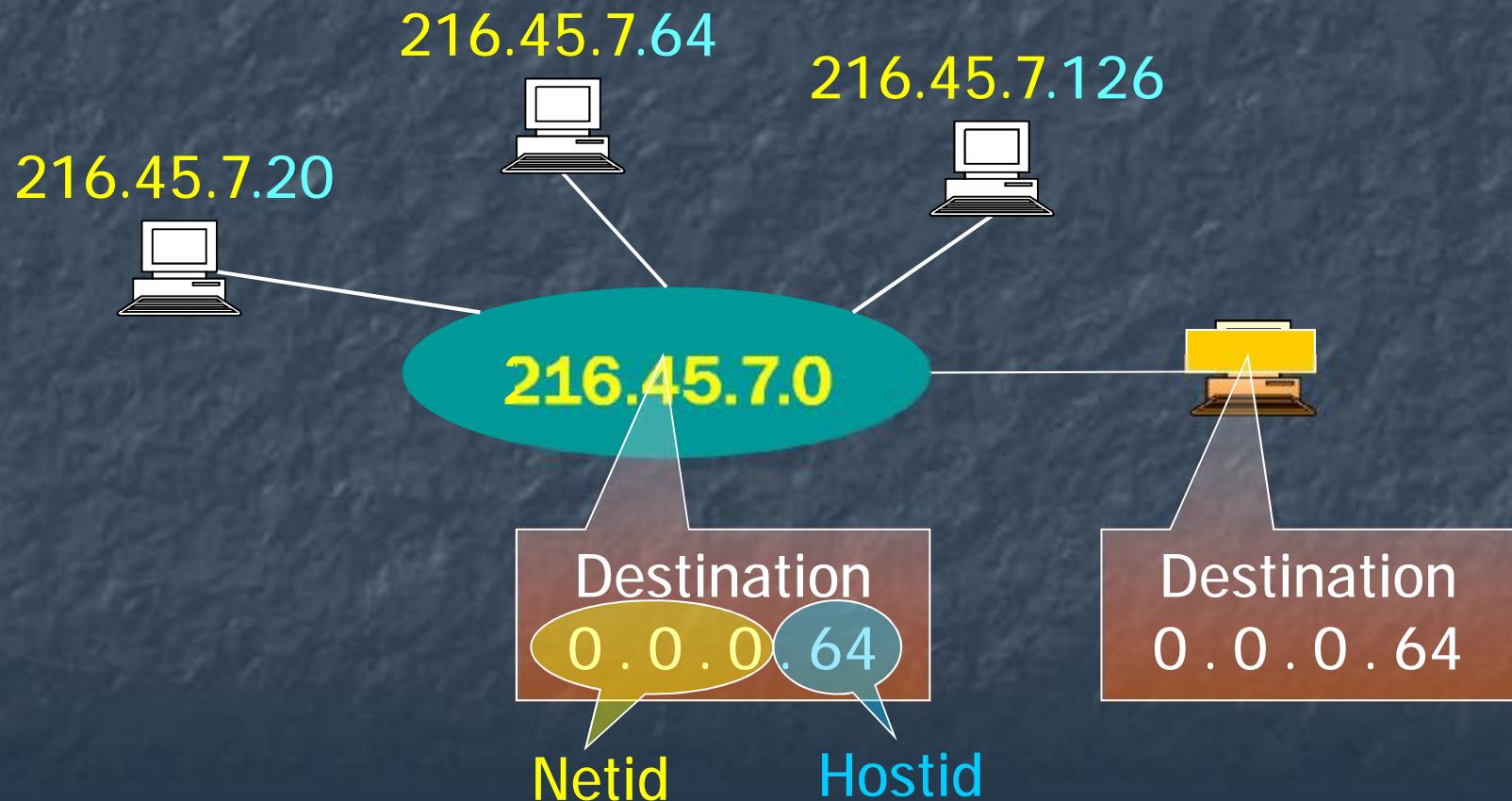
0.0.0.0



Specific host on this network

n 本网络上的特定主机

Netid	Hostid
All 0s	Specific



Loopback address

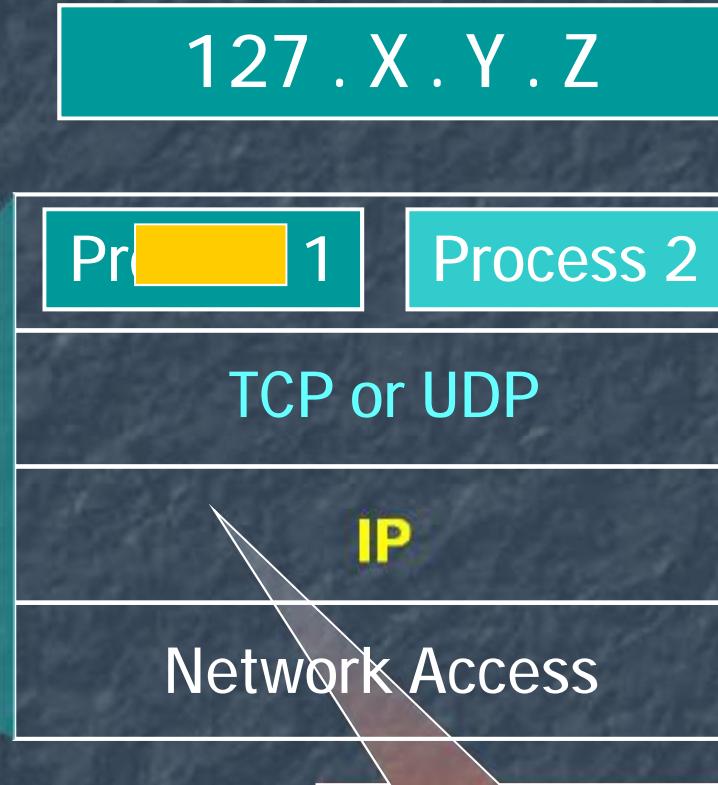
n 回送地址

测试本机器软件

216.45.7.20



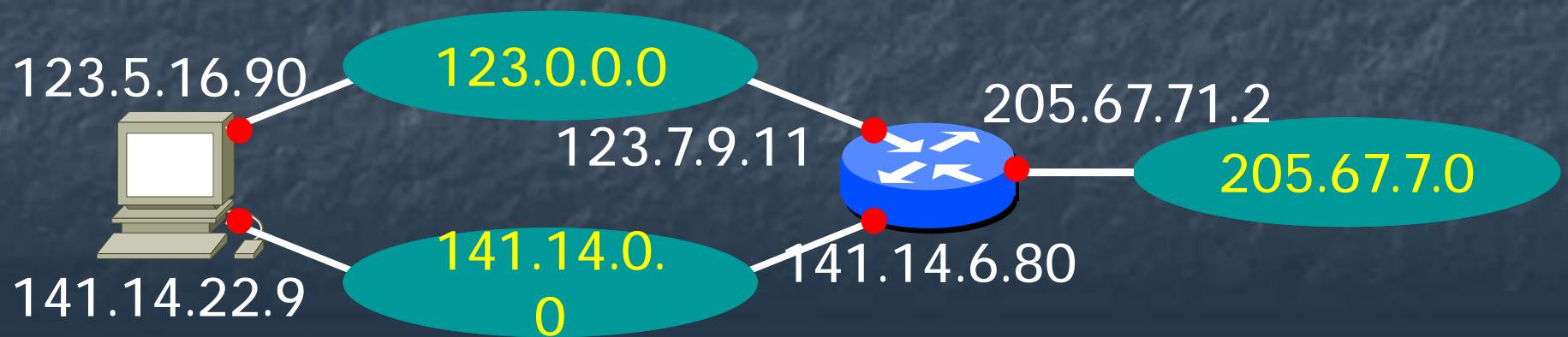
216.45.7.0



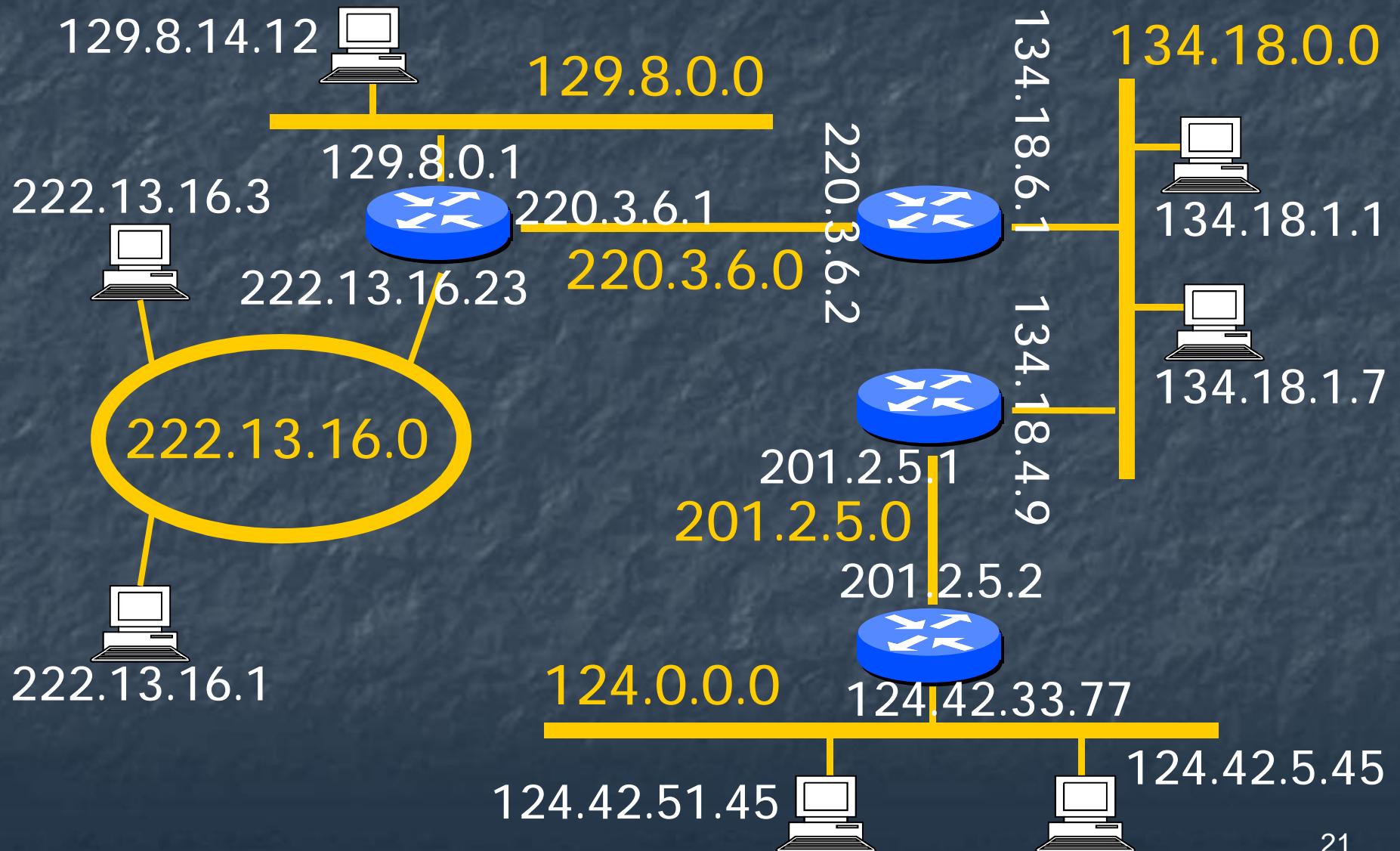
Destination
127.X.Y.Z

多接口设备

- n Multihomed host (多接口主机)
 - n Can be attached to one or more networks
 - n One interface one IP address
- n Router (路由器)
 - n Must connect to more than one networks
 - n One interface one IP address



Sample Internet



Unicast, Multicast, and Broadcast Address

n Unicast (单播)

- n 通信 : 一对一 , 源或目的地址
- n 因特网上的每个网络设备必须至少有一个唯一的单播地址
- n 可以是 A, B, 或 C类

n Multicast (多播)

- n 通信 : 一对多 , 目的地址
- n 因特网上的每个网络设备可以有一个或多个多播地址
- n 是D类 本地级或全局级

n Broadcast (广播)

- n 通信 : 一对所有 , 目的地址
- n 受限广播和直接广播 本地级

4.4 私有地址

n Private network (私有网, 专用网)

n 不需接入Internet, 但需要用TCP/IP通信

n 编址方案

n 申请, 并使用A、B、C类地址

全网唯一

n 不申请, 直接使用A、B、C类地址

本网唯一
全网不唯一

n 不申请, 直接使用私有地址

n Private address (私有地址, 专用地址)

类	私有地址	总数
A	10.0.0.0~10.255.255.255	1 * A
B	172.16.0.0~172.31.255.255	16 * B
C	192.168.0.0~192.168.255.255	256 * C

Number of Networks and Hosts

Class	Network #	Host # per network
A	$2^{8-1} = 128$	$2^{24}-2 = 16777214$
B	$2^{16-2} = 16384$	$2^{16}-2 = 65534$
C	$2^{24-3} = 2097152$	$2^8-2 = 254$

- 网络信息中心为每个网络分配唯一的net id
- 该网络的管理机构为运行TCP/IP的主机和路由器分配网内唯一的host id

4.5 划分子网

n Classful IP Addressing (分类IP编址)

n 固定的3种IP网络规模

n C类：少于255台主机的网络

n B类：介于255~65535台主机的网络

n A类：超过65535台主机的网络

n 地址浪费大

n 只有两、三台主机的网络，也至少要用256个IP地址

n A、B类浪费严重，少有达上万台主机的大型IP网络

n Solution :

n Subnetting 子网划分

$\frac{3}{4}$ Supernetting 超网划分

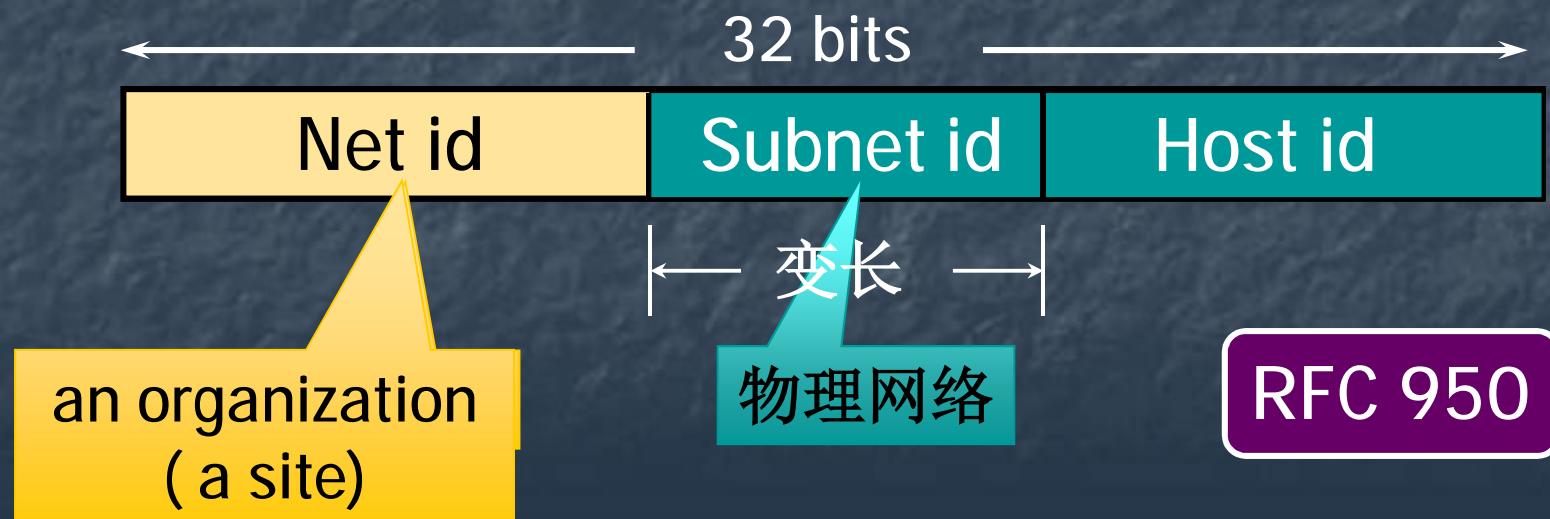
Subnetting

n 子网划分

- n 将一个IP类网划分成几个较小的子网（ subnet ）
- n 多个物理网共享同一个IP类网前缀，并有自己的子网地址

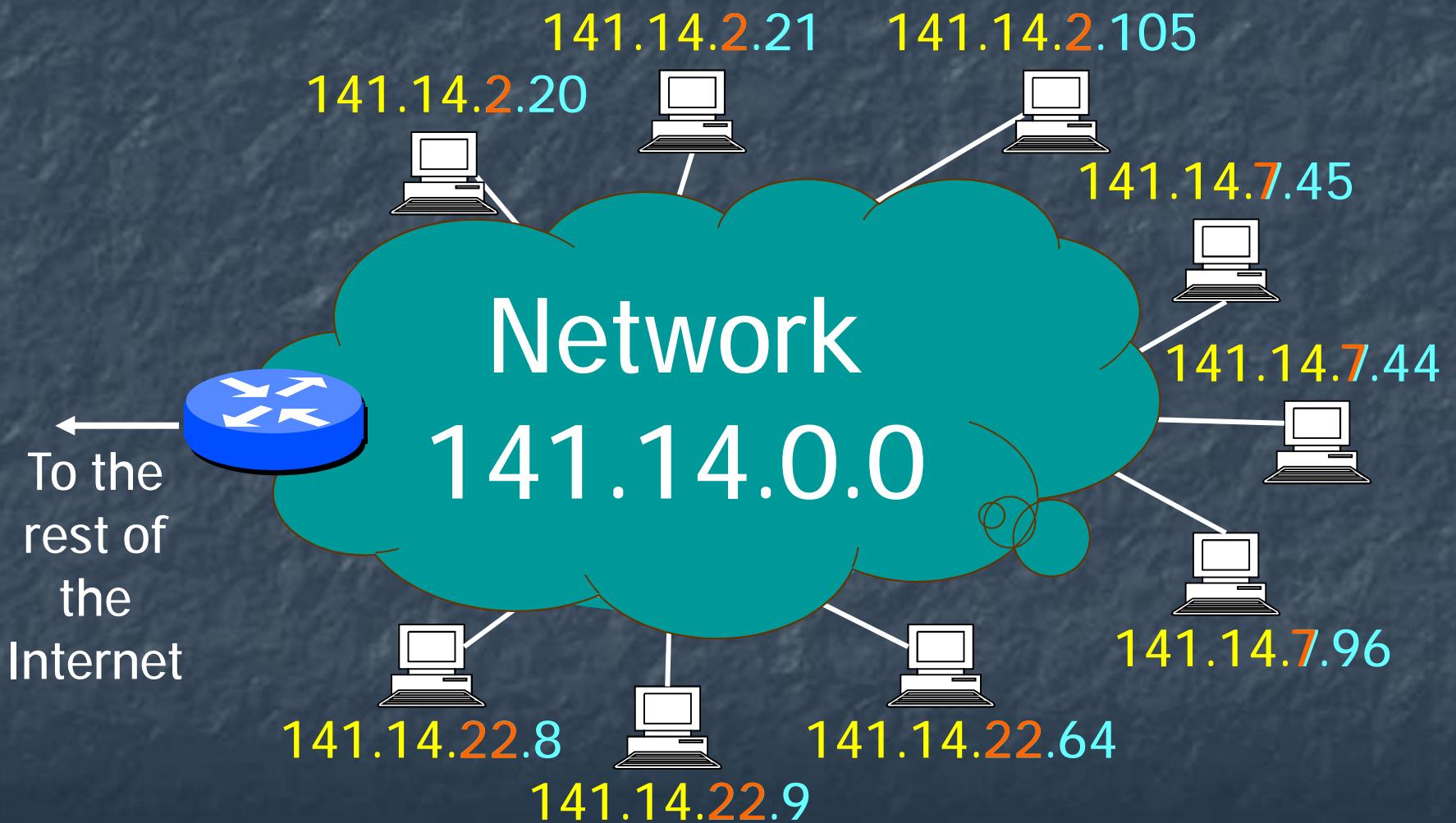
n 区分不同物理网的方法

- n 两级层级 à 三级层级



Analogy:
Telephone number

Subnet



Mask (掩码)

- n Subnetting

Net id	Subnet id	Host id
--------	-----------	---------

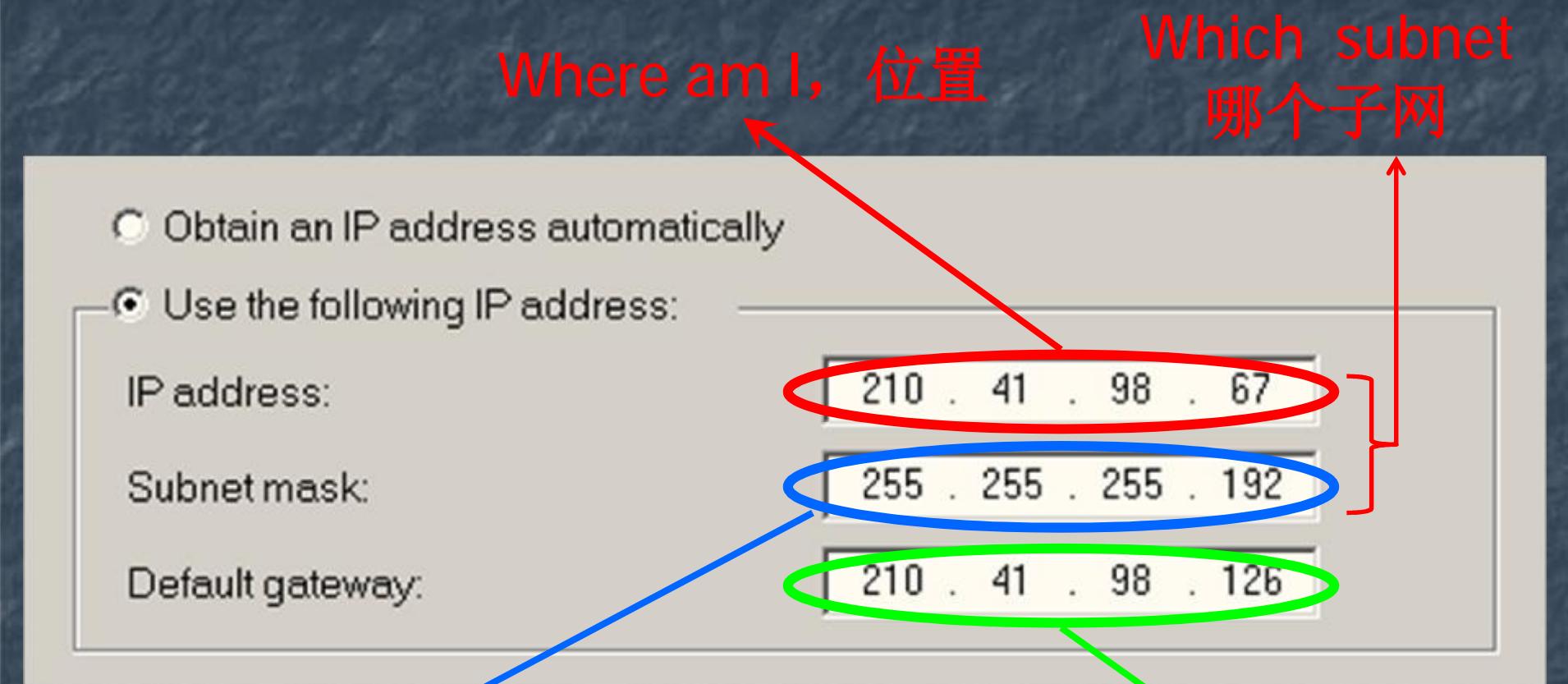
- n 更适合于物理网的实际大小
- n 不能再用首字节判定网络大小
 - n 字节边界没有意义，仅用在点分十进制表示法中

- n Mask (掩码)

- n Identify the size of a network or a subnet
- n 32-bit binary number
 - n 1 : Netid (网络) or Netid + Subnetid (子网)
 - n 0 : Hostid (主机)

202.115.12.0 11001010 01110011 00001100 00000000
Mask 11111111 11111111 11111111 00000000

Using IP Address



What size is this network
网络大小

Where can I go outside
路径

Net id

Subnet id

Host id

IP 地址: 210. 41. 98. 67 → C 类地址

Net id

掩码: 255. 255. 255. 192 → 11000000

Subnet id(4个子网)

第1个子网

00000000

...

00111111



210. 41. 98. 0

...

210. 41. 98. 63

第2个子网

01000000

...

01111111



210. 41. 98. 64

...

210. 41. 98. 127

第3个子网

10000000

...

10111111



210. 41. 98. 128

...

210. 41. 98. 191

第4个子网

11000000

...

11111111

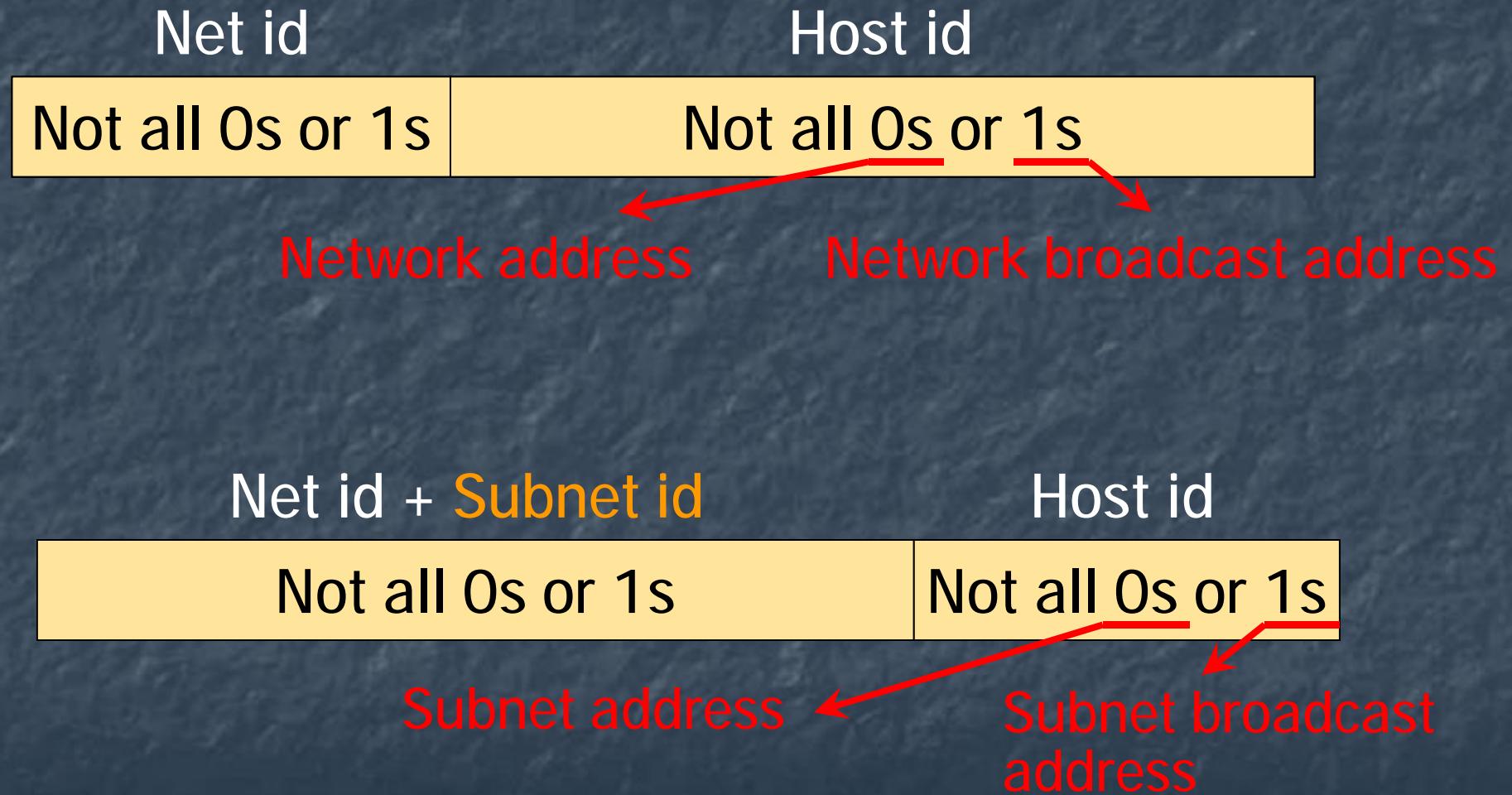


210. 41. 98. 192

...

210. 41. 98. 255

Special Addresses in the Subnet



Key Terms

- n 网络地址 (Network address)
 - n 特定 Net id
 - n 全0 Subnet id + 全0 Host id 全1 à 网络广播地址
- n 子网地址 (Subnet address)
 - n 特定 (Net id + Subnet id)
 - n 全0 Host id 全1 à 子网广播地址
- n 主机地址 (Host address)
 - n 特定 (Net id + Subnet id) + 特定 Host id

直接广播地址

掩码表示

- n 点分十进制表示
 - n Ex: 255.255.255.192
 - n Netid + Subnetid: 26 bits , Hostid: 6 bits
- n 位数表示(前缀表示法)
 - n Ex: 202.15.180.35/26
 - n The number of bit 1 即255.255.255.192
- n 用网络（含子网）地址和掩码表示一个网络

128, 192, 224, 240, 248, 252, 254, 255

/1, /2, /3, /4, /5, /6, /7, /8

网络/子网表示

- n Network
 - n 20.0.0.0 255.0.0.0 à 20.0.0.0/8
 - n 160.2.0.0 255.255.0.0 à 160.2.0.0/16
 - n 200.15.12.0 255.255.255.0 à
200.15.12.0/24
- n Subnet
 - n 20.1.0.0 255.255.0.0 à 20.1.0.0/16
 - n 160.2.4.0 255.255.252.0 à 160.2.4.0/22
 - n 200.15.12.64 255.255.255.192
à 200.15.12.64/26

地址运算

Network address = IP address & Mask

Network broadcast address = Network address + Mask (IP | Mask)

Address range = { Network address, Network broadcast address}

Ex: IP address = 200.6.12.55, Mask = 255.255.248.0

Network address = 200.6.12.55 & 255.255.248.0 = 200.6.8.0

Network broadcast address = 200.6.8.0 + 0.0.7.255 = 200.6.15.255

Address range = { 200.6.8.0, 200.6.15.255 } Total: 2048

200.6.12.55 11001000 00000110 00001100 00110111

Mask 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000

200.6.15.255 11001000 00000110 00001000 00000000

地址运算

练习：

如果地址块中的一个地址是140.120.84.24/20，求该地址块的网络地址以及地址范围。

IP:

140	.	120	.	84	.	24
-----	---	-----	---	----	---	----

/20:

8	8	4	0
---	---	---	---

 (1的个数)

& :

140	.	120	.	80	.	0
-----	---	-----	---	----	---	---

 网络地址

Mask :

0	.	0	.	15	.	255
---	---	---	---	----	---	-----

+ :

140	.	120	.	95	.	255
-----	---	-----	---	----	---	-----

 最后一个地址

Exercises

分别以255.255.255.224和255.255.255.248为掩码值时，以下IP地址中哪些是子网地址？哪些是子网广播地址？哪些是主机地址？

X.Y.Z.0 , X.Y.Z.8 , X.Y.Z.15 , X.Y.Z.31 , X.Y.Z.96

IP地址 和 掩码 à 确定一个IP网络

128, 192, 224, 240, 248, 252, 254, 255
/1, /2, /3, /4, /5, /6, /7, /8
 2^7 , 2^6 , 2^5 , 2^4 , 2^3 , 2^2 , 2^1 , 0

Solution

- n X.Y.Z.**0**, X.Y.Z.**8**, X.Y.Z.**15**, X.Y.Z.**31**, X.Y.Z.**96**
00000000 00001000 00001111 00011111 01100000
- n 255.255.255.**224** (掩码)
 - n 224: 111**00000** 子网中IP地址个数 : $2^5 = 32$
 - n 子网地址: X.Y.Z.**0**, X.Y.Z.**96** $0 = 0 \times 32, 96 = 3 \times 32$
 - n 子网广播地址: X.Y.Z.**31** $31 = 1 \times 32 - 1$
 - n 主机地址: X.Y.Z.**8**, X.Y.Z.**15**

Rules:

- 1、IP子网中IP地址个数 $N_{IP} = 2^n$, $n = 2, 3, 4, \dots$
- 2、子网地址中子网id所在字节值 = $n \times N_{IP}$, $n = 0, 1, 2, \dots$

Solution (cont.)

- n X.Y.Z.**0**, X.Y.Z.**8**, X.Y.Z.**15**, X.Y.Z.**31**,
X.Y.Z.**96**
- n 255.255.255.**248** 子网中IP地址个数 = $2^3 = 8$
 - n 248: **11111000**
 - n 子网地址: X.Y.Z.0, X.Y.Z.8, X.Y.Z.96
 - n 子网广播地址: X.Y.Z.15, X.Y.Z.31
 - n 主机地址: 无

Subnetting Example 1

n 一个具有A类地址的组织需要至少1000个子网，试找出子网掩码和每个子网的配置。

n 分析

n 至少需要1000个子网

à 理论上，考虑全0和全1的subnet id，至少1002个子网

à 2^9 (512) < 1002 < 2^{10} (1024)，子网位数 = 10

n A类地址

à 主机位数 = A类网主机位数 - 10 = 24 - 10 = 14

Mask

255.255.192.0

Net id	Subnet id	Host id
111111111	111111111 11	0000000 00000000

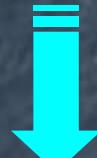
Range of Addresses in Example 1

Special addresses (hostid all 0s)				
Special addresses (subnetid all 0s)				
	X.0.0.0	X.0.0.1	• • •	X.0.63.254 X.0.63.255
1st subnet	X.0.64.0	X.0.64.1	• • •	X.0.127.254 X.0.127.255
2nd subnet	X.0.128.0	X.0.128.1	• • •	X.0.191.254 X.0.191.255
	•			•
	•			•
	•			•
1022nd subnet	X.255.128.0	X.255.128.1	• • •	X.255.191.254 X.255.191.255
	X.255.192.0	X.255.192.1	• • •	X.255.255.254 X.255.255.255
Special addresses (subnetid all 1s)				

Discussion

地址类别(Net id 位数)

子网数(Subnet id 位数)



主机数(Host id 位数)

地址类别(Net id 位数)

主机数(Host id 位数)



子网数(Subnet id 位数)

$$\# \text{ Net id} + \# \text{ Subnet id} + \# \text{ Host id} = 32$$

A类: $\# \text{ Net id} = 8, \# \text{ Subnet id} + \# \text{ Host id} = 24$

B类: $\# \text{ Net id} = 16, \# \text{ Subnet id} + \# \text{ Host id} = 16$

C类: $\# \text{ Net id} = 24, \# \text{ Subnet id} + \# \text{ Host id} = 8$

Subnetting Example 2

n 一个具有A类地址的组织的每个子网最多需要分配1000个IP地址，试找出子网掩码。

n 分析

n 最多需要分配1000个IP地址

à 考虑全0和全1的Host id，至少要1002个IP地址

à 2^9 (512) < 1002 < 2^{10} (1024)，主机位数 = 10

n A类地址

à 子网位数 = A类网主机位数 - 10 = 24 - 10 = 14

Mask

255.255.252.0

Net id

Subnet id

Host id

11111111

11111111 11111110

00 00000000

后续内容*

- n 变长子网划分
- n 构成超网

How to Subnetting?

- n Fix length subnetting (定长子网划分)
 - n 共享同一IP网络前缀的子网大小相同
 - n 划分依据 : 子网数量与子网内主机数量折中
 - n 特点 : 划分简单 , 地址分配较浪费
- n Variable length subnetting (变长子网划分*)
 - n 共享同一IP网络前缀的子网大小不同
 - n 划分依据 : 子网内的主机数量
 - n 特点 : 灵活、高效利用地址空间
 - n 变长子网掩码 (Variable-Length Subnet Mask , VLSM)

Subnetting Example 3

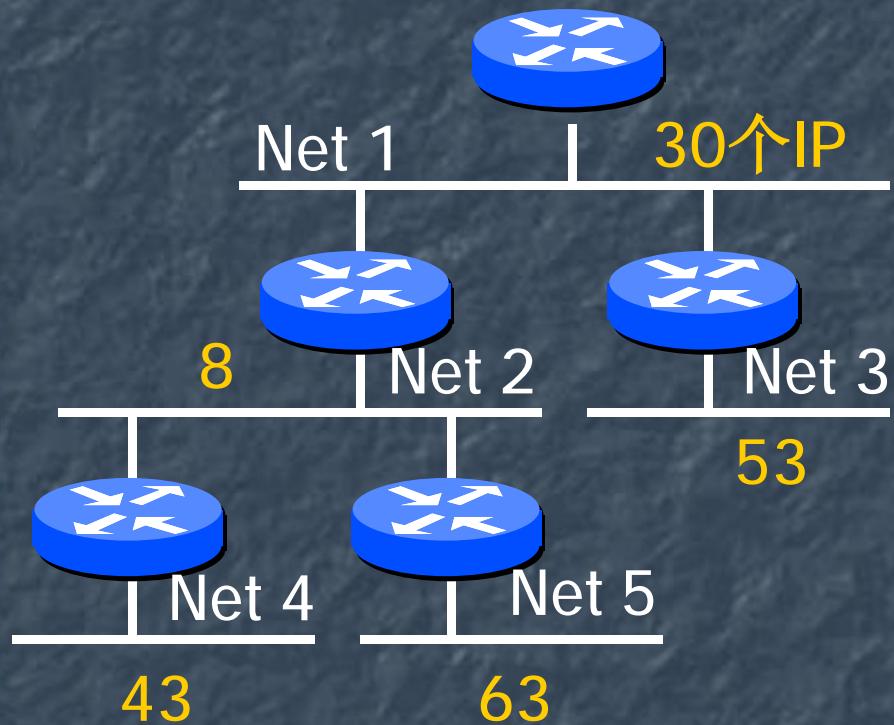


n 每个物理网络所需的IP地址数量

- n $Net\ 1 = 25 + 3 + 2 = 30$
- n $Net\ 2 = 3 + 3 + 2 = 8$
- n $Net\ 3 = 50 + 1 + 2 = 53$
- n $Net\ 4 = 40 + 1 + 2 = 43$
- n $Net\ 5 = 60 + 1 + 2 = 63$

本子网内主机数 + 本子网内路由器接口数 + 2

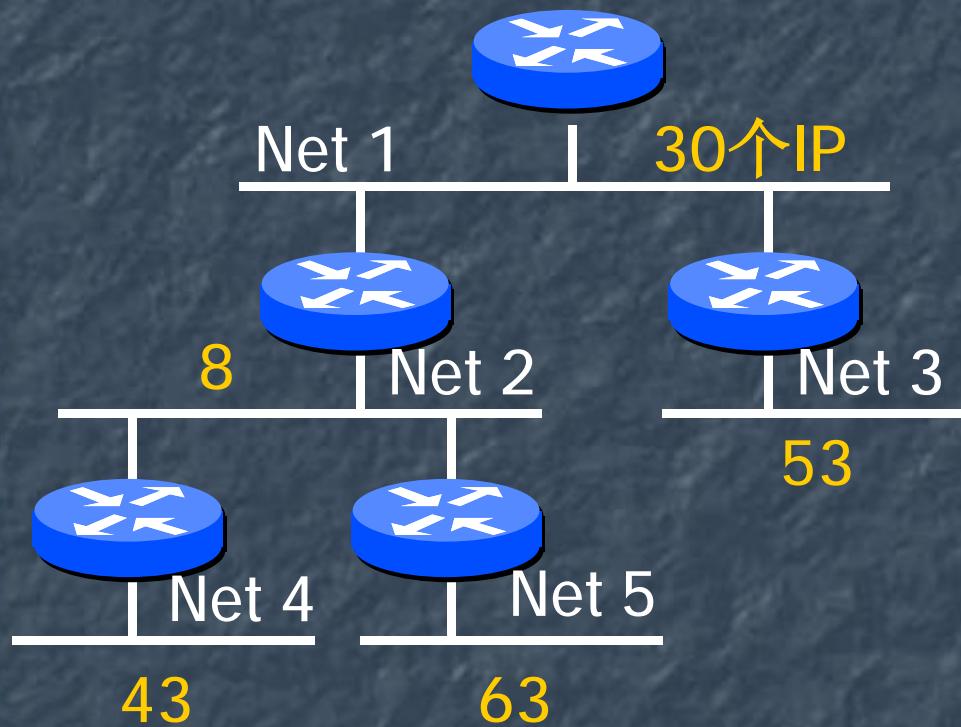
Example 3 —— 定长划分



Net 2: 10.1.0.64/26
Net 4: 10.1.0.192/26

- Mask = 255.255.255.192
 - 每个IP子网的实际IP数量: 64
 - IP地址总空间:
 $5 * 64 = 320$
- Net 1: 10.1.0.0/26
Net 3: 10.1.0.128/26
Net 5: 10.1.1.0/26

Example 3 — 变长划分



Net 1 Mask = /27

Net 2 Mask = /29

Net 3 Mask = /26

Net 4 Mask = /26

Net 5 Mask = /26

IP地址总空间:

$$32 + 8 + 64 + 64 + 64 = 232$$

Net 1: 10.1.0.0/27

VLSM

Net 2: 10.1.0.32/29

Net 3: 10.1.0.64/26

Net 4: 10.1.0.128/26

Net 5: 10.1.0.192/26

Discussion 1

- n Net 1 : 10.1.0.0/27 掩码中0 bit 个数 = $32-27 = 5$
 - n 10.1.0.0 ~ 10.1.0.31 子网中IP地址个数 = $2^5 = 32$
- n Net 2 : 10.1.0.32/29
 - n 10.1.0.32 ~ 10.1.0.39
- n Net 3 : 10.1.0.64/26
 - n 10.1.0.64 ~ 10.1.0.127
- n Net 4 : 10.1.0.128/26
 - n 10.1.0.128 ~ 10.1.0.191
- n Net 5 : 10.1.0.192/26
 - n 10.1.0.192 ~ 10.1.0.255

问题：不是

Net3的IP地址范围能否是
10.1.0.40 ~ 10.1.0.103 ?

40	00101000
103	01100111
64	01000000
127	01111111

Discussion 2

- n 为Net 4分配IP地址
 - n $10.1.0.128/26$ ($10.1.0.128 \sim 10.1.0.191$)
- n 分析
 - n 需要分配IP地址的设备：路由器、主机
 - n 可以分配的IP地址： $10.1.0.129 \sim 10.1.0.190$
- n 解答
 - n 路由器接入Net 4 的接口IP地址： $10.1.0.129$
 - n Net 4中的主机IP地址： $10.1.0.130 \sim 10.1.0.190$

Assign IP Address

- n Net 2 : 10.1.0.32/29 10.1.0.33 ~ 10.1.0.38
- n Net 4 : 10.1.0.128/26 10.1.0.129 ~ 10.1.0.190



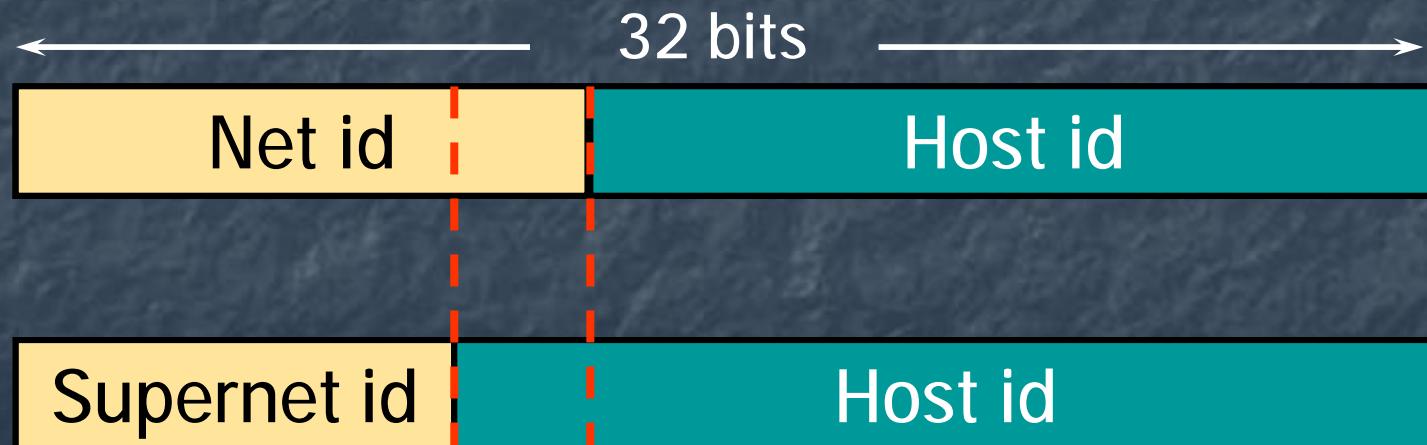
4.6 构成超网 (Supernetting)

n Supernetting

 n 将几个C类网合并成一个更大的地址范围

n Method

 n 将Net id中的某些1 改为0



Discussion

n 子网

- n 构成：主机号 $\xrightarrow{\text{分}}$ 子网号
- n 使用：地址分配 \rightarrow 一个物理网络

n 超网

- n 构成：网络号 $\xrightarrow{\text{合}}$ 主机号
- n 使用：地址申请 \rightarrow 一个组织（含多个物理网络）
 - n 该组织可在超网地址范围内，使用子网技术为内部的每个物理网络分配适当的IP地址空间
- n 使用：路由聚合，即CIDR

Supernet

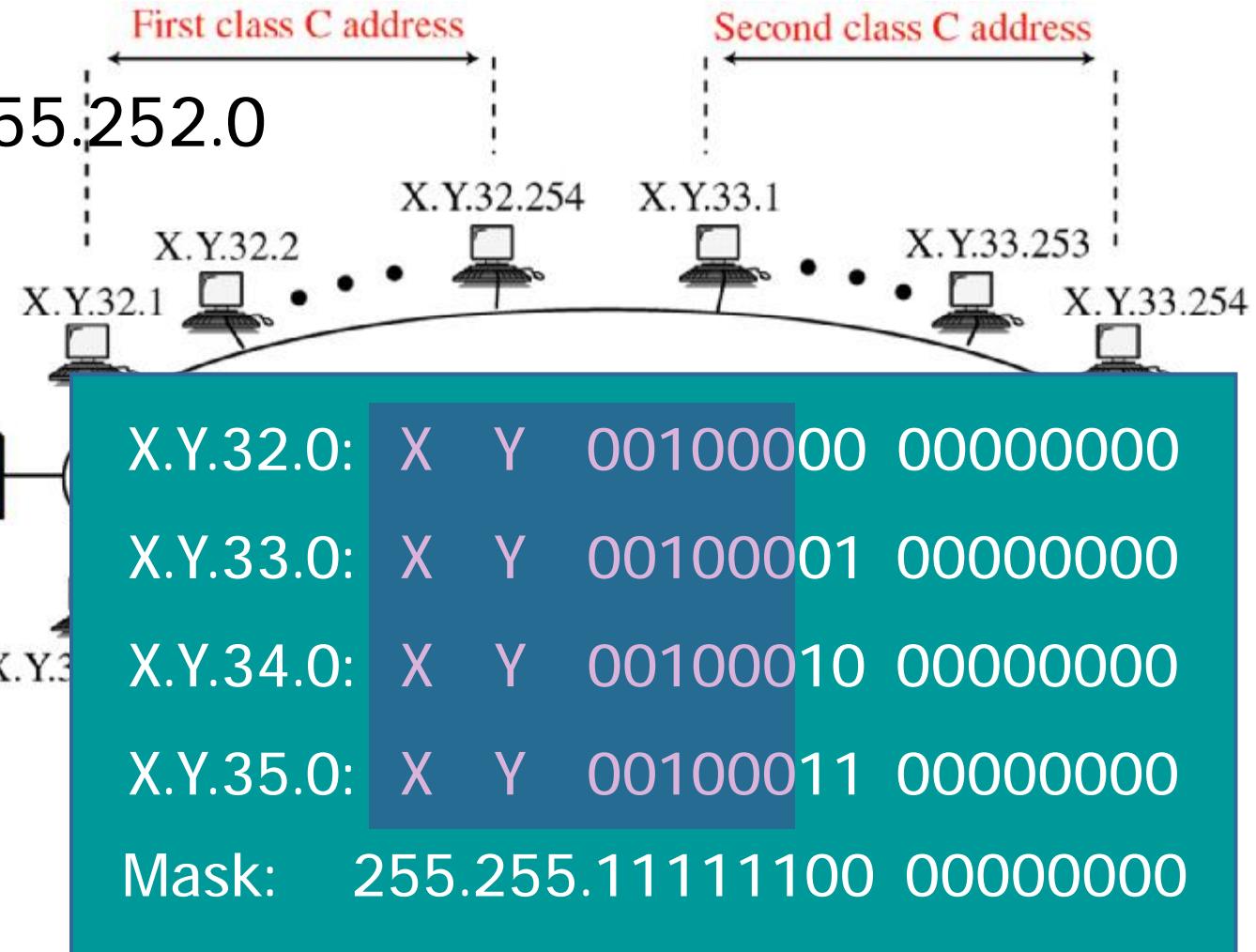
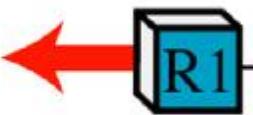
超网表示:

X.Y.32.0 255.255.252.0

或

X.Y.32.0/22

To the rest of
the Internet



Exercises

n 某公司需要600个IP地址，下面哪组C类地址块可以构成该公司的超网？

- 1、198.47.32.0, 198.47.33.0, 198.47.34.0
- 2、198.47.32.0, 198.47.42.0, 198.47.52.0, 198.47.62.0
- 3、198.47.31.0, 198.47.32.0, 198.47.33.0, 198.47.52.0
- 4、198.47.32.0, 198.47.33.0, 198.47.34.0, 198.47.35.0

n Solution

$$600 \rightarrow 2^1 \times 256 = 512, 2^2 \times 256 = 1024$$

需聚合4个
C类地址块

32 00100000
...
35 00100011

$\rightarrow 198.47.32.0 \sim 198.47.35.0$

答案：4

Rules

n合并超网的C类网个数 $N_c = 2^n$
($n = 1, 2, 3, \dots$)

n合并超网的C类网必须是连续的

n超网地址（网络地址）的第3个字节值是
 N_c 的 n 倍 ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$)

Exercise

- n 路由器收到3个分组，其目的IP分别是：
 - n 205.16.37.44
 - n 205.16.42.56
 - n 205.17.33.76

哪个分组属于超网205.16.32.0/21 ?

- n Solution 答案： 205.16.37.44

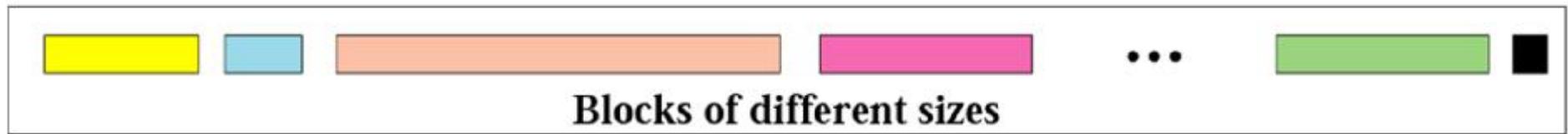
/21 à $24-21=3$ à 合并的C类网个数= $2^3=8$

超网可以的范围： 205.16.32.0 ~ 205.16.39.255

4.7 无分类编址

n Variable-length blocks

Address Space



- n 一个地址块中的地址数必须是2的乘方 (2,4,8,...)
- n 地址块的第一个地址必须能被地址数整除
- n CIDR记法: A . B . C . D / n
- n To distinguish
 - n Classful addressing, subnetting, and supernetting
 - n Classless addressing

4.8 Summary

- n 概念

- n IP地址、私有地址、掩码

- n 分类编址、子网、超网、无类编址、CIDR

- n 一些IP地址的格式和作用

- n 网络地址、广播地址、主机地址

- n 0.0.0.0、环回地址

- n 单播、多播、广播地址

Summary (cont.)

- n 分类IP计算
 - n 确定类别，提取net id 和 host id
 - n 确定网络地址、直接广播地址、主机地址
- n 子网
 - n 确定子网地址、子网广播地址、地址范围
- n 超网
 - n 确定超网地址、地址范围

Summary (cont.)

n 应用

- n 根据网络拓扑结构和地址需求，划分子网
- n 配置网络中的设备
 - n 路由器：接口的IP地址及其掩码
 - n 主机：IP地址、掩码、默认网关
- n 要点
 - n 确定掩码
 - n 确定每个网络的IP地址范围

谢谢！