



西北師範大學
NORTHWEST NORMAL UNIVERSITY

计算机网络

第四章 网络层 (1)

陈旺虎

chenwh@nwnu.edu.cn



Review



- 数据链路层
 - 任务
 - 传输单元，服务
 - 广播信道的以太网
 - 局域网扩展
 - VLAN

第4章 网络层

- 4.1 网络层提供的两种服务
- 4.2 网际协议 IP
- 4.3 划分子网和构造超网
- 4.4 网际控制报文协议 ICMP
- 4.5 因特网的路由选择协议
- 4.6 IP 多播
- 4.7 虚拟专用网 VPN 和网络地址转换 NAT

4.1 网络层提供的两种服务

- 网络层

- ▣ 主机到主机的通信

- 长期的争论

- ▣ 网络层应该向运输层提供怎样的服务？

- ▣ “面向连接” & “无连接”

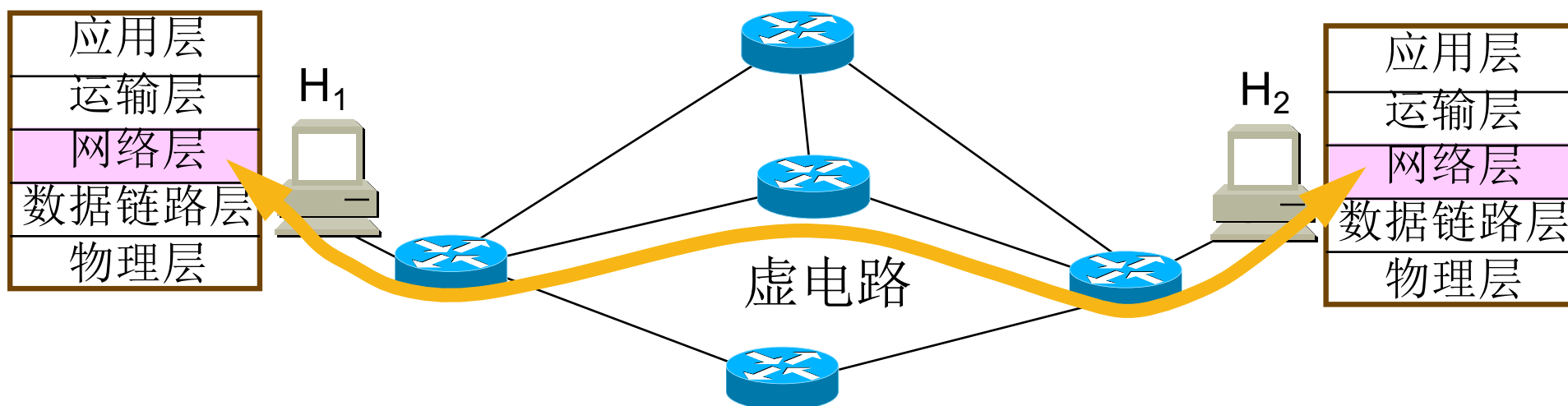
- 争论焦点的实质

- ▣ 在计算机通信中，可靠交付应当由谁来负责？是网络还是端系统？

- ▣ 网络层还是运输层以上？

(1) 电信网的成功经验

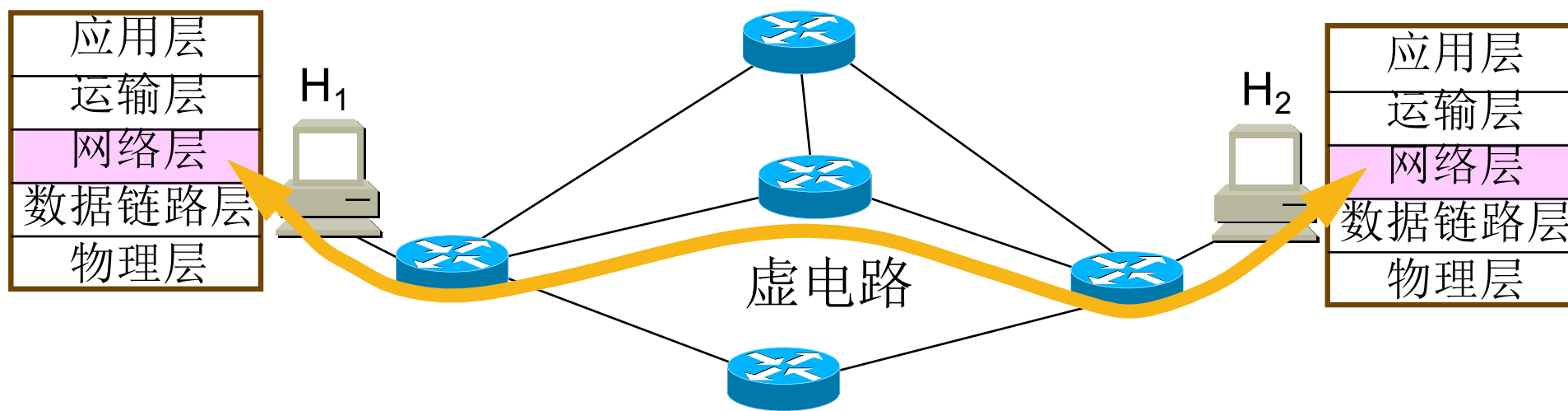
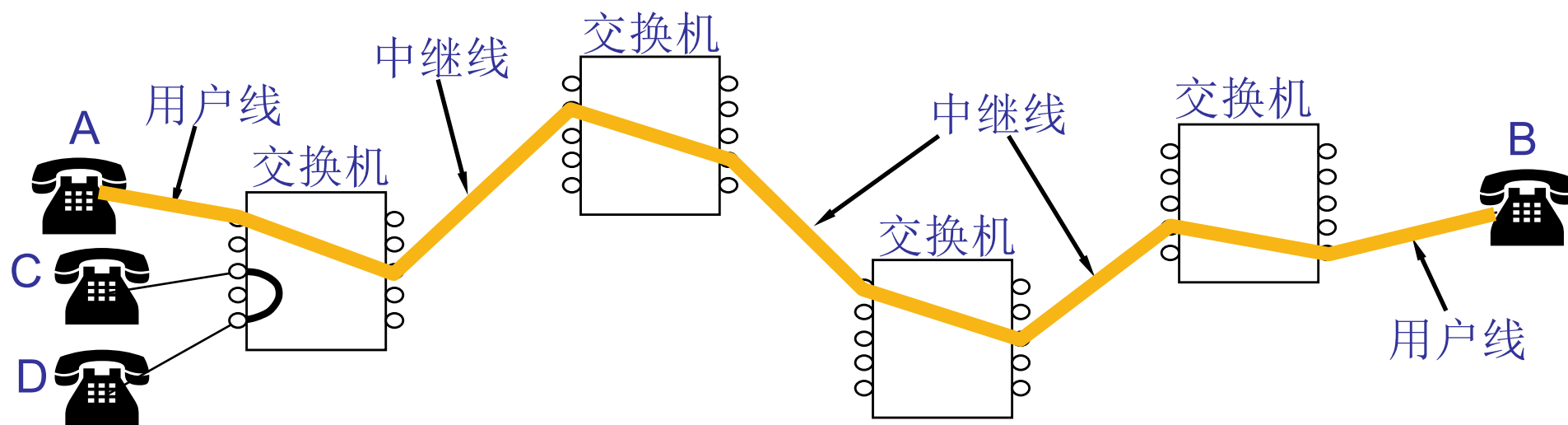
- 让网络负责可靠交付：面向连接的通信方式
 - ▣ 虚电路服务
 - ▣ 使用可靠传输的网络协议，分组无差错按序到达。



虚电路：一条逻辑上的连接，分组通过存储转发传送

虚电路与电路交换的区别

- 电路交换：建立了一条物理连接。



虚电路中“虚”的含义

- 这条电路不是专用的
 - ▣ 分组仍然在每个结点处首先被缓存，并排队等待转发
- 每个结点到其他结点之间可能同时有若干条虚电路
- 每条虚电路支持特定的两个端系统之间的数据传输
 - ▣ 两个端系统之间也可以有多条虚电路为不同的进程服务，这些虚电路的实际路由可能相同，也可能不同。

两种连接的区别



- 电路交换网络的连接：两个用户在通话期间自始至终地占用一条端到端的物理信道。
- 虚电路连接：两个用户只是断续地占用一段又一段的链路。

虚电路方式的特点（1/2）

- 一次通信包含三个阶段：
 - 建立连接、数据传输和连接清除
 - 分组中不包含目标地址，大数据通信的传输效率高
- 数据分组按序到达
 - 分组按呼叫建立的路径，顺序通过网络，在网络终点不需重新排序，分组传输时延小，不易产生分组丢失
- 当网络由于线路或设备故障，导致虚电路中断时，**网络负责**建立新的连接

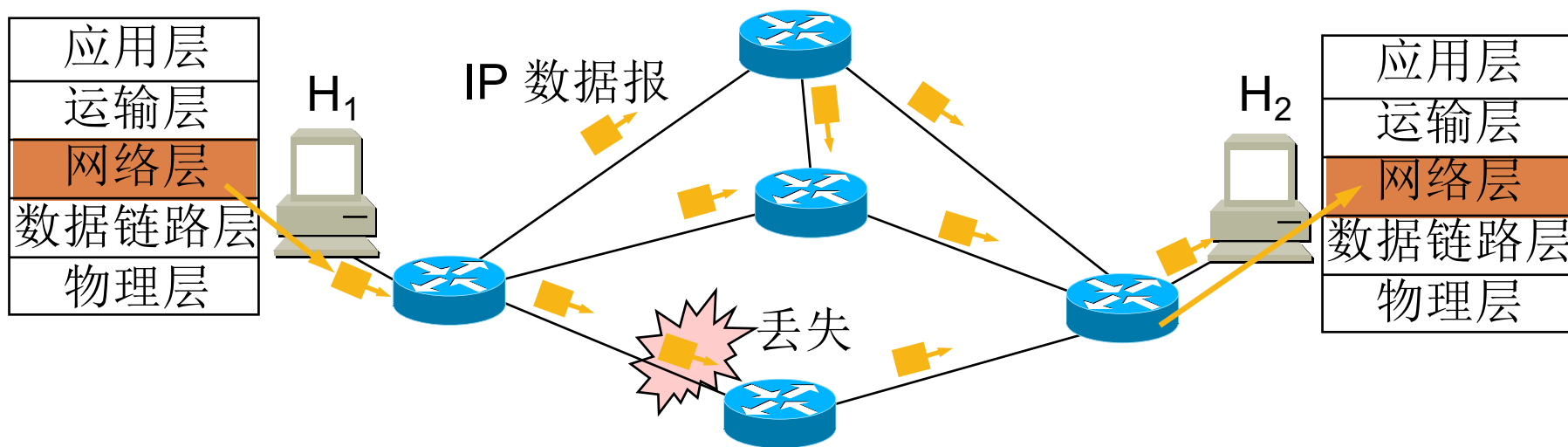
虚电路方式的特点 (2/2)

- 虚电路可以是临时连接，也可以是永久连接。
 - ▣ 临时连接称为：（交换虚电路）
 - 用户终端在通信之前必须建立虚电路，通信结束后就拆除虚电路。
 - ▣ 永久连接的称为：永久虚电路：
 - 用户如果向网络预约了该项服务，就在两个用户之间建立永久的虚连接；
 - 用户之间的通信直接进入数据传输阶段，就好象具有一条专线一样，可随时传送数据。

(2) 因特网采用的设计思路

- 网络层向上提供数据报服务
 - ▣ 简单灵活、无连接、尽最大努力交付
- 网络在发送分组时不需要先建立连接
 - ▣ 每一个分组（即 IP 数据报）独立发送
- 网络层不提供服务质量的承诺
 - ▣ 分组可能出错、丢失、重复和失序，也不保证分组传送的时限。

数据报服务



H₁ 发送给 H₂ 的分组可能沿着不同路径传送

尽最大努力交付的好处

- 网络的造价大大降低，运行方式灵活，能够适应多种应用
 - ▣ 网络中的路由器比较简单，价格低廉（与电信网的交换机相比较）
 - ▣ 网络中的主机的运输层负责可靠通信
- 因特网能够发展到今日的规模，充分证明了当初采用这种设计思路的正确性。

数据报方式的特点

- 每个数据报自身必须包含有目的地的完整地址信息
 - ▣ 主机只要想发送数据就随时可以发送。每个分组独立地选择路由
- 当需要把数据按发送顺序交付给目的主机时
 - ▣ 在目的站必须对收到的分组进行缓存，等到能够按顺序交付主机时再进行交付
- 当网络发生拥塞时，网络中的某个结点可以将一些分组丢弃
- 所以，数据报提供的服务是不可靠的，它不能保证服务质量，而是一种"尽最大努力交付"的服务

虚电路和数据报方式的对比

- 最本质的区别？

- (1) 效率

- ▣ 虚电路：适合端系统间 **长时间** 的数据传输，特别是每个分组很短的情况下
 - 每个分组不需要包括地址信息，但，每个网络结点维持一张虚电路的表格
- ▣ 数据报方式：在传输 **少数几个** 分组时，比使用虚电路要简便灵活
 - 免去了呼叫建立阶段；每个结点没有额外开销，只是每个分组在每个结点都要进行路由选择，会影响分组传输延迟

虚电路和数据报方式的对比

□ (2) 差错控制和流量控制

- ▣ 数据报方式：主机承担端到端的差错控制、流量控制；
- ▣ 虚电路方式：网络应负责差错控制、流量控制，保证分组按顺序交付，不丢失、不重复；

□ (3) 故障处理

- ▣ 数据报方式：分组独立进行路由选择，当节点发生故障时，后续的分组可另选路由，提高了可靠性；
- ▣ 使用虚电路时，节点发生故障就必须重新建立另一条虚电路

虚电路和数据报方式的对比

□ (4) 对广播和组播的支持

- ▣ 数据报服务很适合于广播或组播通信

□ (5) 拥塞控制

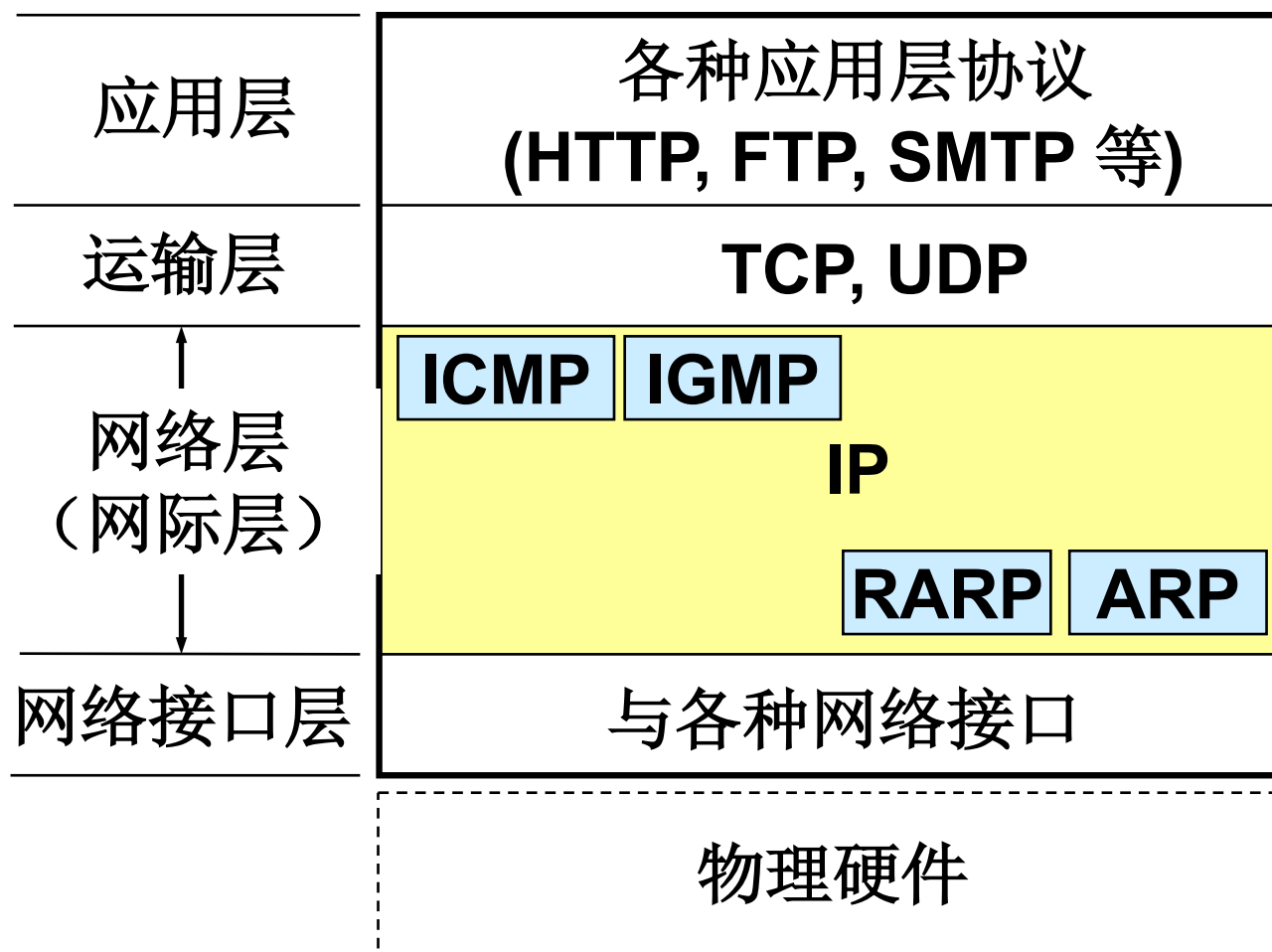
- ▣ 虚电路要比数据报更容易进行拥塞控制
 - 虚电路在建立连接时，可以预约所需的网络资源
- ▣ 而对于数据报，避免拥塞则更困难些

虚电路服务与数据报服务的对比

对比的方面	虚电路服务	数据报服务
思路	可靠通信由网络来保证	可靠通信由用户主机来保证
连接的建立	必须有	不需要
终点地址	仅在连接建立阶段使用，每个分组使用短的虚电路号	每个分组都有终点的完整地址
分组的转发	属于同一条虚电路的分组均按照同一路由进行转发	每个分组独立选择路由进行转发
当结点出故障时	所有通过出故障的结点的虚电路均不能工作	出故障的结点可能会丢失分组，一些路由可能会发生变化
分组的顺序	总是按发送顺序到达终点	到达终点时不一定按发送顺序
端到端的差错处理和流量控制	可以由网络负责，也可以由用户主机负责	由用户主机负责

4.2 网际协议 IP

- 网际协议 IP 是 TCP/IP 体系中两个最主要的协议之一



IP（Internet Protocol）层



- 网际层/网络互连层

- ▣ 功能是使主机可以把IP数据报（datagram）发往任何网络，并使数据报独立地传向目标。

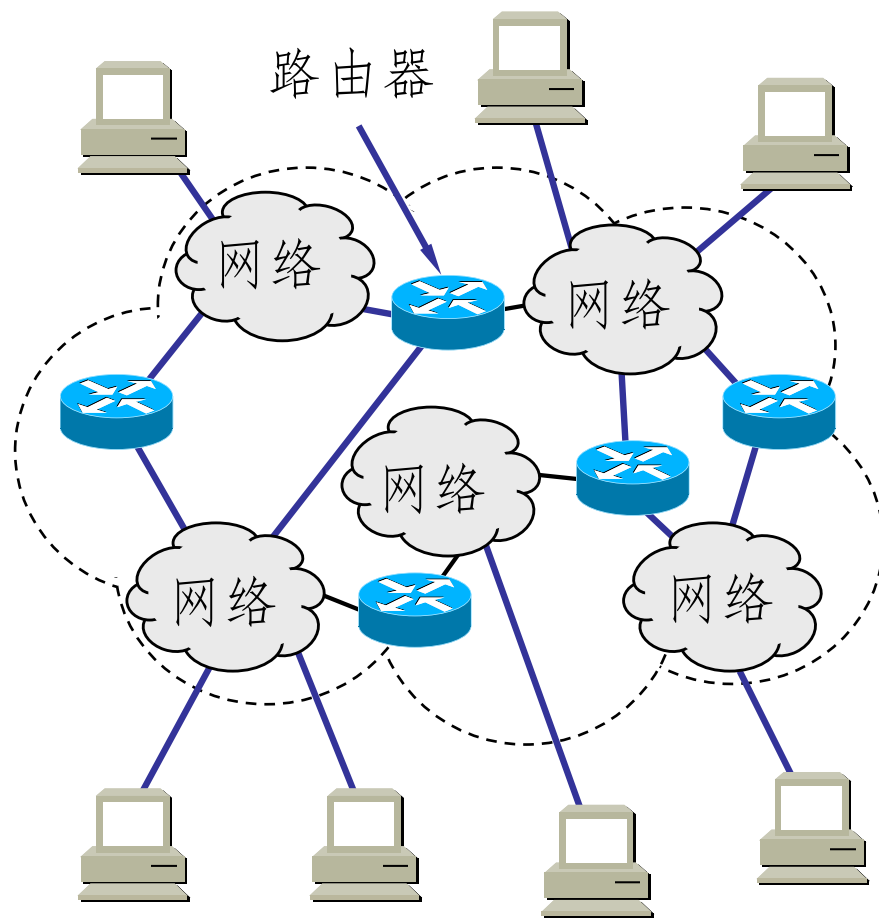
- IP协议制定了统一的IP数据报格式

- ▣ 消除各通信子网的差异。

IP层的主要任务

- (1) 为IP数据报分配一个全网唯一的传送地址
 - ▣ 称为IP地址，实现IP地址的识别与管理；
- (2) IP数据报的路由机制；
- 发送或接收时，使IP数据报的长度与通信子网所允许的数据报长度相匹配等
 - ▣ 例如：以太网—1518；ARPANET—1008

4.2.1 虚拟互连网络

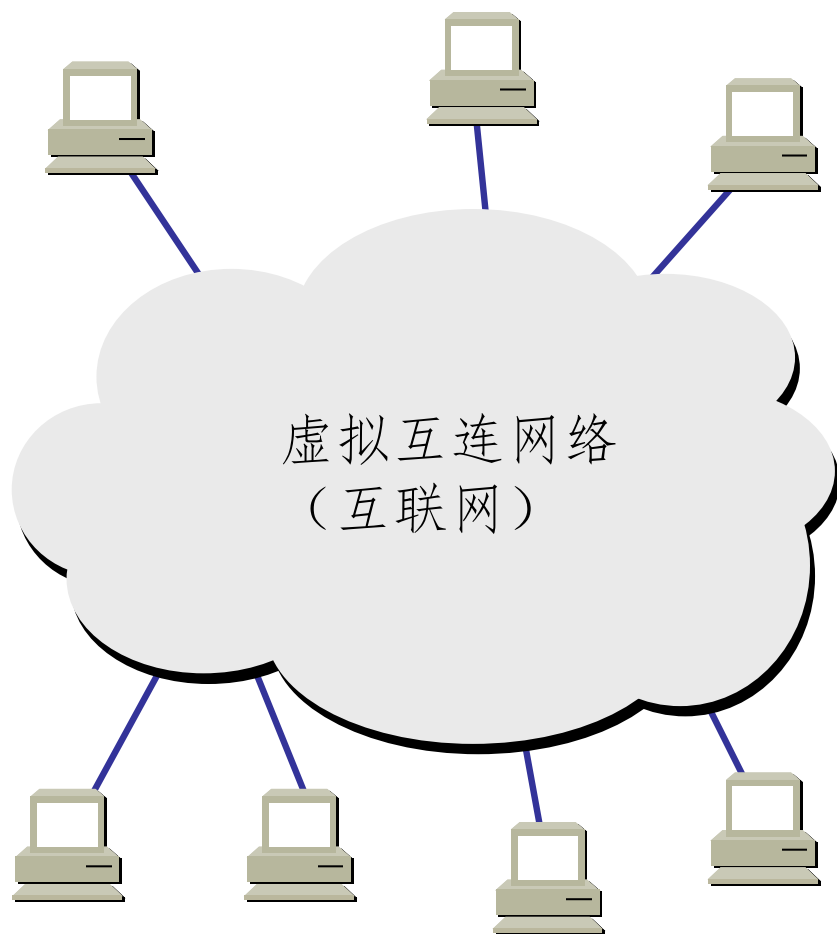


(a) 互连网络

□ 网络互联需要解决许多问题，如：

- 不同的最大分组长度
- 、不同的网络接入机制
- 、不同的超时控制
- 、不同的差错恢复方法
- 、不同的状态报告方法

虚拟互连网络



(b) 虚拟互连网络

- 虚拟互连网络，即逻辑互连网络，含义：
 - 互连起来的各种物理网络的异构性是客观存在；
 - 但利用IP协议使性能各异的网络从用户的角度来看，好像是一个统一的网络。
- 使用IP协议的虚拟互连网络可简称为IP网。

网络互连使用路由器

- 互联网都是指用路由器进行互连的网络。
 - ▣ 由于历史的原因，许多TCP/IP的文献将路由器称为网关。
- 中间设备，又称中间系统或中继(relay)系统
 - ▣ 物理层中继系统：转发器(repeater)，集线器。
 - ▣ 数据链路层中继系统：网桥或桥接器(bridge)。
 - ▣ 网络层中继系统：路由器(router)。
 - ▣ 网络层以上的中继系统：网关(gateway)。

网络的
扩展

网络互联

路由器的作用与构成

□ 路由器

- 是一种具有多个输入端口和多个输出端口的专用计算机
- 其任务是转发分组（路由器的转发分组正是网络层的主要工作）

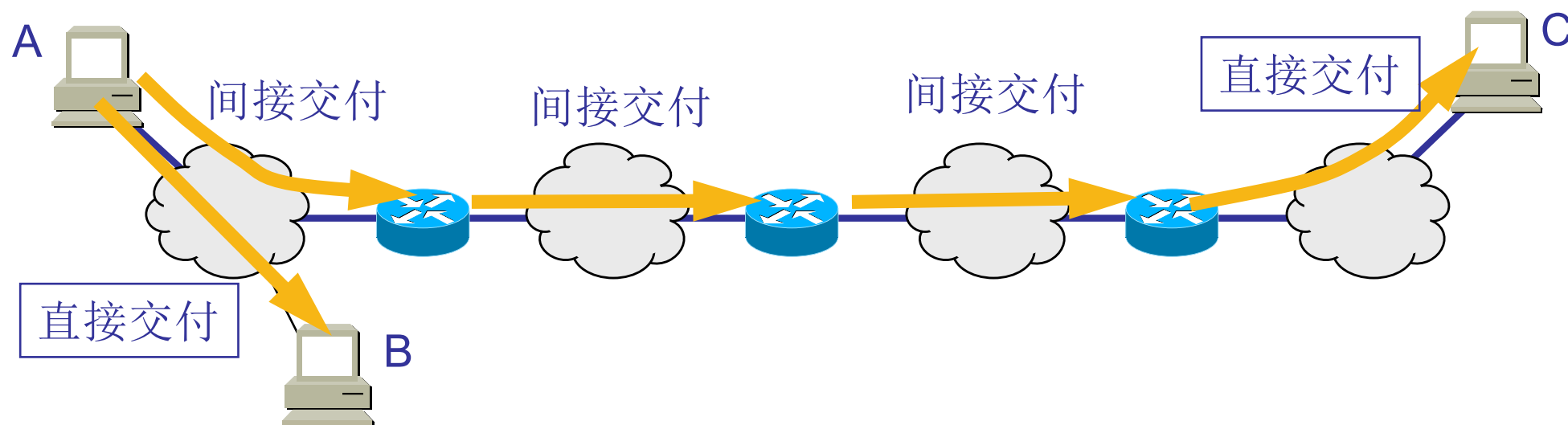
□ 把与路由器相连接的主机称为站点

- 一个路由器并不连接所有的站点，只连通相邻的站点；
- 路由器知道下一个站点(Next HOP)是什么；哪一个站点距离目的地近；由此，路由器可决定将信息送往哪儿。

路由器在网际互连中的作用

- 当主机A要向主机B发送数据报时，先检查B与A是否属于同一个网络，如果
 - ▣ 属于同一网络：将数据报直接交付给目的主机B，不需要通过路由器。
 - ▣ 不属于同一网络：
 - 将数据报发送给本网络上的某个路由器；
 - 当前路由器按照转发表将数据报转发给下一个路由器。这就叫作间接交付。

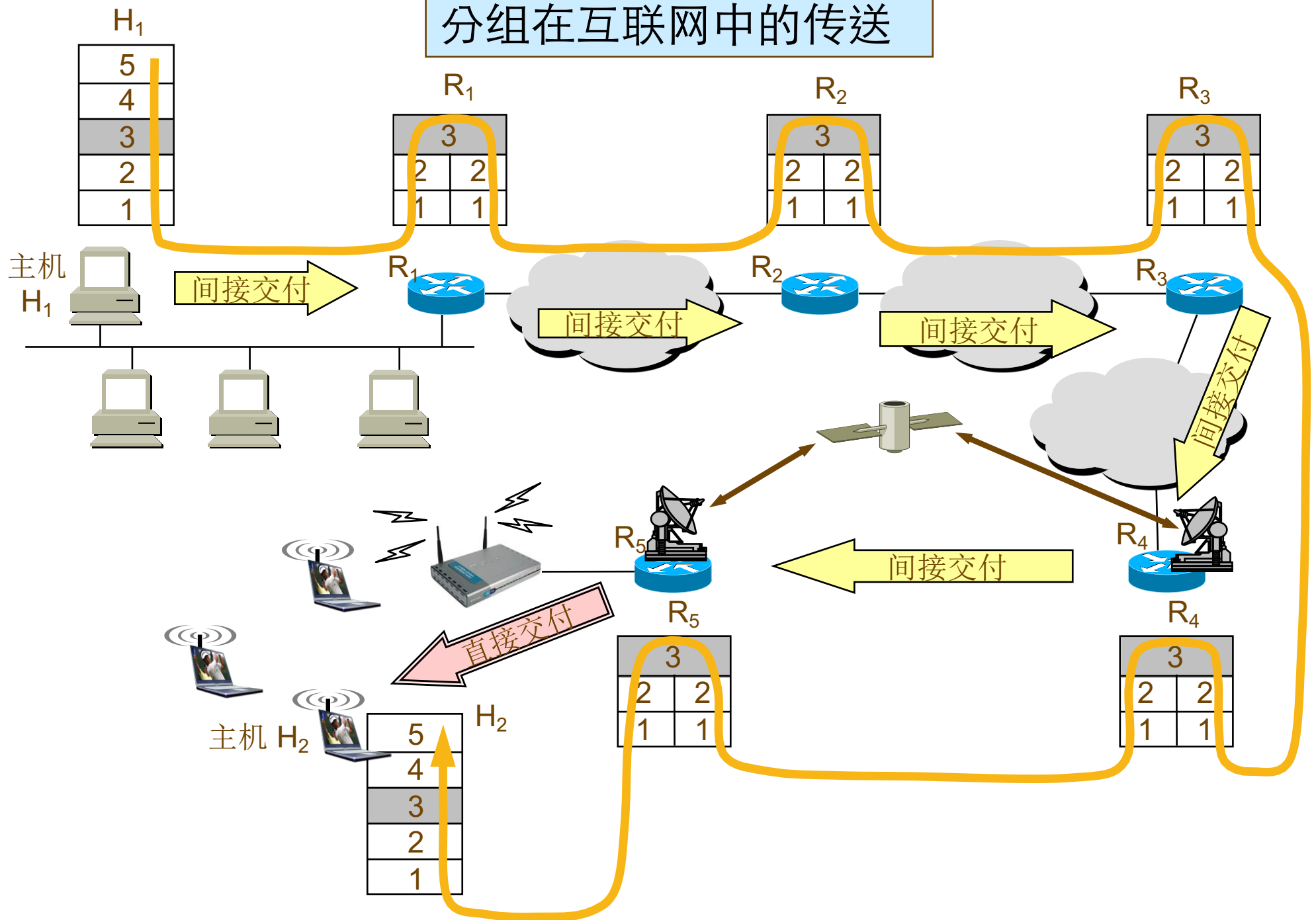
直接交付和间接交付



- ✓ 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

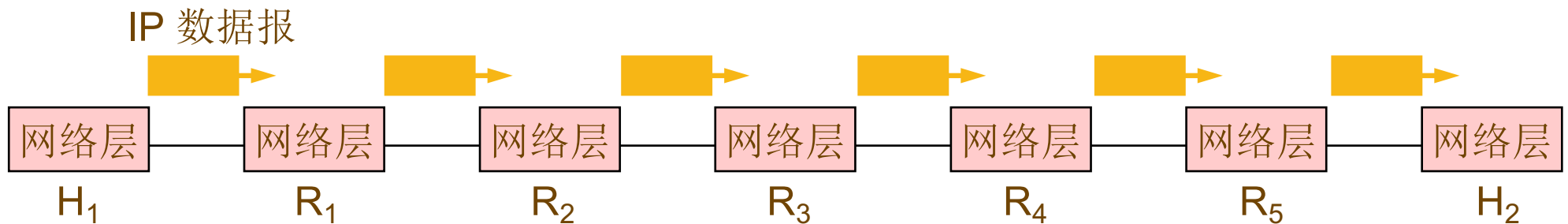
思考：直接交付、间接交付怎么实现的？

分组在互联网中的传送



从网络层看 IP 数据报的传送

- 如果我们只从网络层考虑问题，那么 IP 数据报就可以想象是在网络层中传送。



4.2.2 分类的IP地址

1. IP 地址及其表示方法

□ IP 地址

- ▣ 如果把整个因特网看成为一个单一的、抽象网络
- ▣ IP地址就是给每个连接在因特网上的主机（或路由器）分配的一个在全世界范围是唯一的 32 位的标识符。

□ IP 地址的分配

- ▣ 由因特网名字与号码指派公司ICANN分配

ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)

IP地址的编址方法

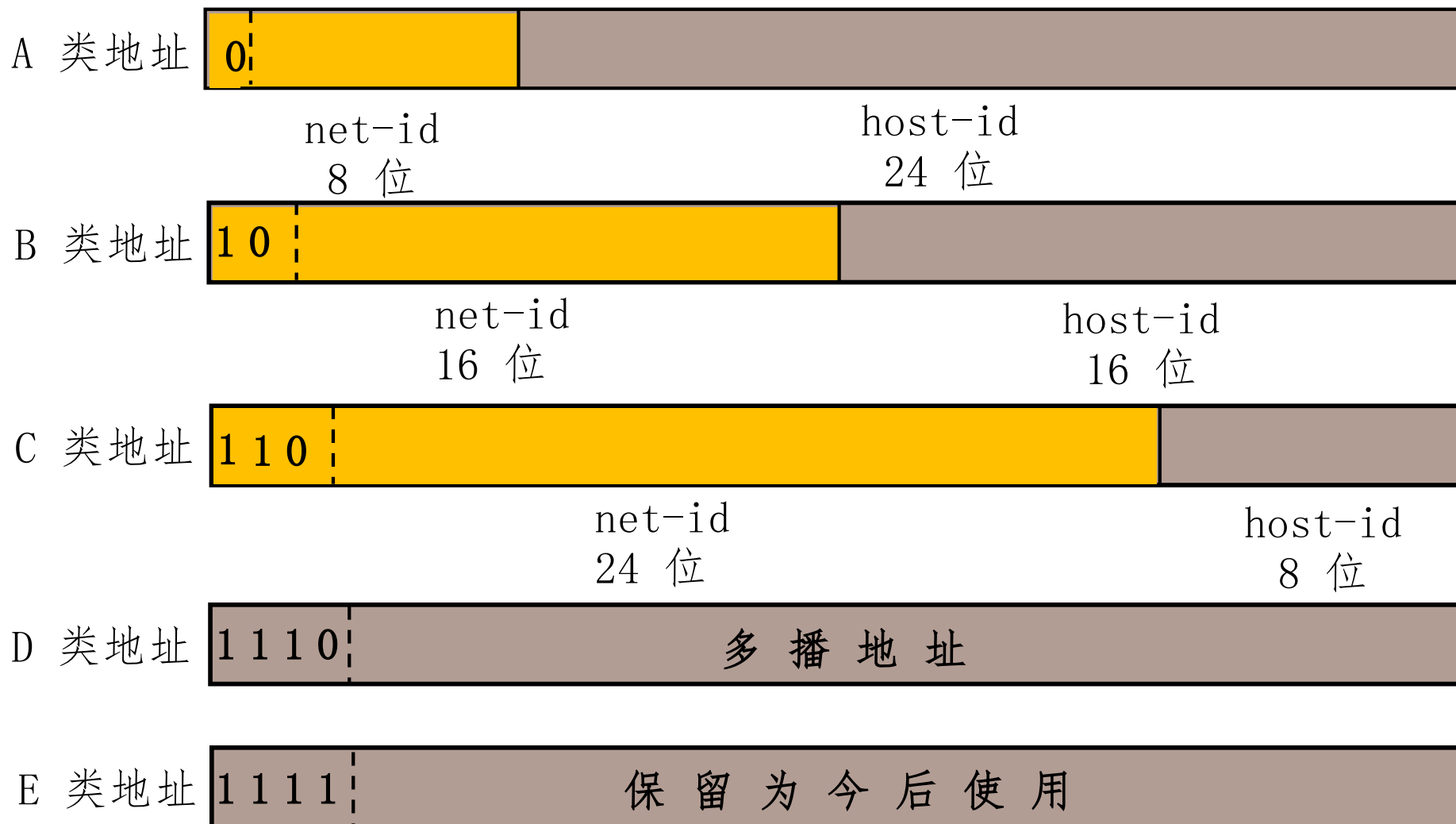
- IP地址的编址方法经历了三个阶段
 - ▣ 分类的IP地址
 - 最基本的编址方法，1981年通过了相应的标准
 - ▣ 子网的划分
 - 对最基本的编址方法的改进，其标准1985 年通过
 - ▣ 构成超网
 - 是比较新的无分类编址方法，1993年提出后很快得到推广应用

分类 IP地址

- 每一类地址都由两个固定长度的字段组成
 - ▣ 网络号net-id, 标志主机（或路由器）所连接到的网络；
 - ▣ 主机号host-id, 标志该主机（或路由器）
- 两级的 IP 地址可以记为：

IP 地址 ::= { <网络号>, <主机号> }

IP地址中的网络号字段和主机号字段



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

每隔 8 位插入一个空格
能够提高可读性

10000000 00001011 00000011 00011111

将每 8 位的二进制数
转换为十进制数

128

11

3

采用点分十进制记法
则进一步提高可读性

128. 11. 3. 31

2. 常用的三种类别的IP地址

网络类别	最大网络数	第一个可用网络号	最后一个可用网络号	每个网络最大主机数
A	$2^7 - 2 = 126$	1	126	$2^{24} - 2 = 16,777,214$
B	$2^{14} - 1 = 16,383$	128.1	191.255	$2^{16} - 2 = 65,534$
C	$2^{21} - 1 = 2,097,151$	192.0.1	223.255.255	$2^8 - 2 = 254$

A类：0.*/127.*不分配；B类：128.0.*不分配；C类：192.0.0.*不分配。

IP地址空间： 2^{32} ；A类： 2^{31} ；B类： 2^{30} ；C类： 2^{29} 。

举例：IP地址分类

Address	Class	Network	Host
10.2.1.1	A	10.0.0.0	0.2.1.1
128.63.2.100	B	128.63.0.0	0.0.2.100
201.222.5.64	C	201.222.5.0	0.0.0.64
192.6.141.2	C	192.6.141.0	0.0.0.2
130.113.64.16	B	130.113.0.0	0.0.64.16
256.241.201.10	Nonexistent		

特殊的IP地址——（1）广播地址

- 广播地址：所有主机号部分全为“1”的地址，分为直接广播地址和有限广播地址。
- 直接广播地址(direct broadcast)
 - ▣ 在一特定子网中，主机地址部分为全1的地址。
子网192.105.130.0中的192.105.130.255
 - ▣ 协议规定，每台主机和路由器等都要接收和处理目的地址为本子网广播地址的数据报。
 - ▣ 不在该子网内的主机，也可用192.105.130.255向该子网上所有的主机广播信息

□ 有限广播地址(limited broadcast)

- ▣ 32个比特全为1的IP地址(即255.255.255.255)，也称本地网广播地址
- ▣ 该地址被用作在本网络内部广播
- ▣ 使用有限广播地址，主机在不知道自己的网络地址的情况下，也可向本子网上其它的所有主机发送消息

□ 注意

- ▣ 无论哪种广播地址都不能分配给某台具体的主机。因为它是指满足一定条件的一组机器
- ▣ 广播地址只能作为IP报文的目的地址，表示该报文的一组接收者

(2) 组播地址

□ 组播地址(multicast)

- ▣ 代表一组特定的主机的地址，D类IP地址；
- ▣ 范围为**224. 0. 0. 0 - 239. 255. 255. 255**的每个IP地址
- ▣ 组播地址与广播地址的相似之处
 - 都只能作为IP报文的目的地址，表示该报文的一组接收者；
 - 不能把它分配给某台具体的主机。

组播地址和广播地址区别

□ 广播地址

- ▣ 按主机的物理位置(属于同一个子网)来划分各组

□ 组播地址

- ▣ 指定一个逻辑组，参与该组的机器可能遍布整个Internet网

□ 组播地址主要用于电视会议、视频点播等应用。

- ▣ 一个组播IP地址唯一地标志一个逻辑组。每个要求参与组播接收的主机使用IGMP协议，主动登记到希望加入的组

(3) “零” 地址

- 主机号为零

- ▣ 表示该网络本身，例如，202.112.7.0 就是一个典型的C类网络地址；从来不分配给任何一个单个的主机

- 网络号为“0”

- ▣ 指的是本网络上的某台主机
 - ▣ 例如，主机202.112.7.13接收到一个IP报文，目的地地址中网络号部分为“0”，主机号部分为0.0.0.13，则接收该IP数据报

- “0.0.0.0”

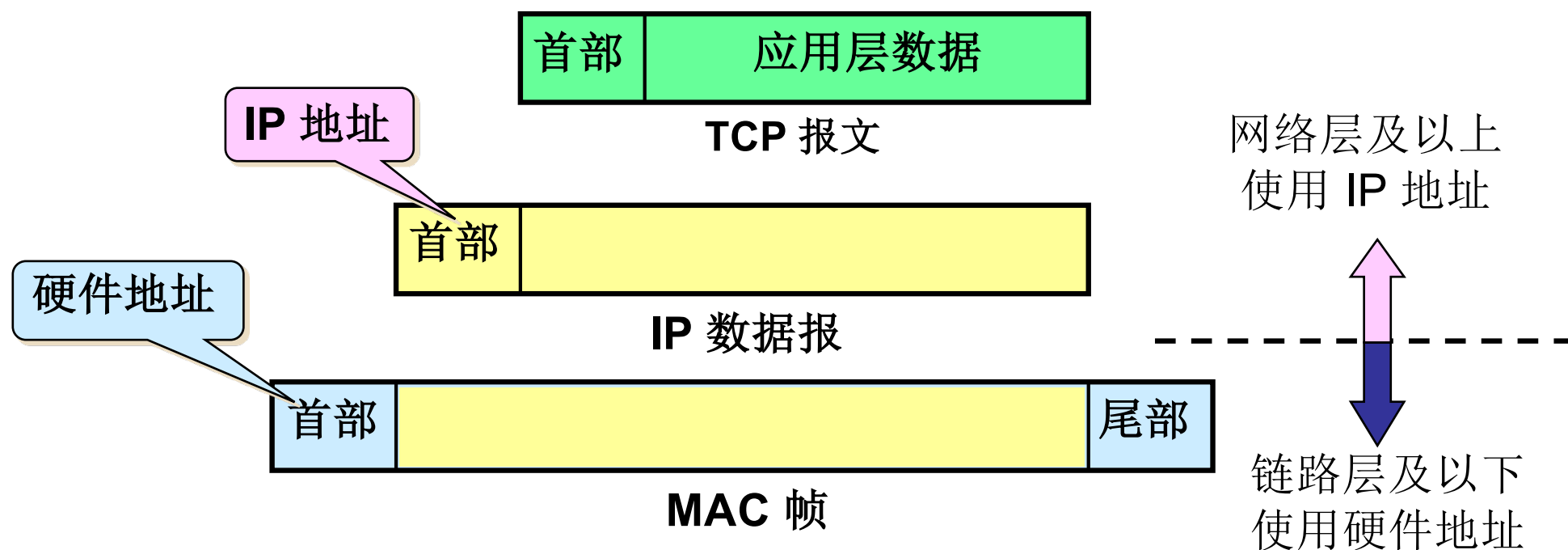
- ▣ 代表本主机地址。网络上任何主机都可以用它来表示自己。

(4) 回送地址

□ 回送地址(loopback address)

- ▣ 任何一个以127开头的IP地址，127.0.0.0~127.255.255.255，原本属于A类地址，却并没有包含在A类地址之内，它是一个保留地址。
- ▣ 最常见：127.0.0.1，在每个主机上对应于IP地址127.0.0.1有个接口，称为**回送接口**
- ▣ IP协议规定，当任何程序用回送地址作为目的地址时，计算机上的协议软件不会把该数据报向网络上发送，而是把数据直接返回给本主机
- ▣ 因此，网络号等于127的数据报文不能出现在任何网络上
- ▣ 回送地址的用途：**测试本机网络协议或实现本地进程通信**

4.2.3 IP 地址与硬件地址



IP 地址的一些重要特点

(1) IP地址是一种分等级的地址结构：

- ▣ 方便了 IP 地址的管理

- 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。

- ▣ 减小路由表所占的存储空间

- 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。

IP 地址的一些重要特点

(2) IP地址标识一个主机（或路由器）和一条链路的接口。

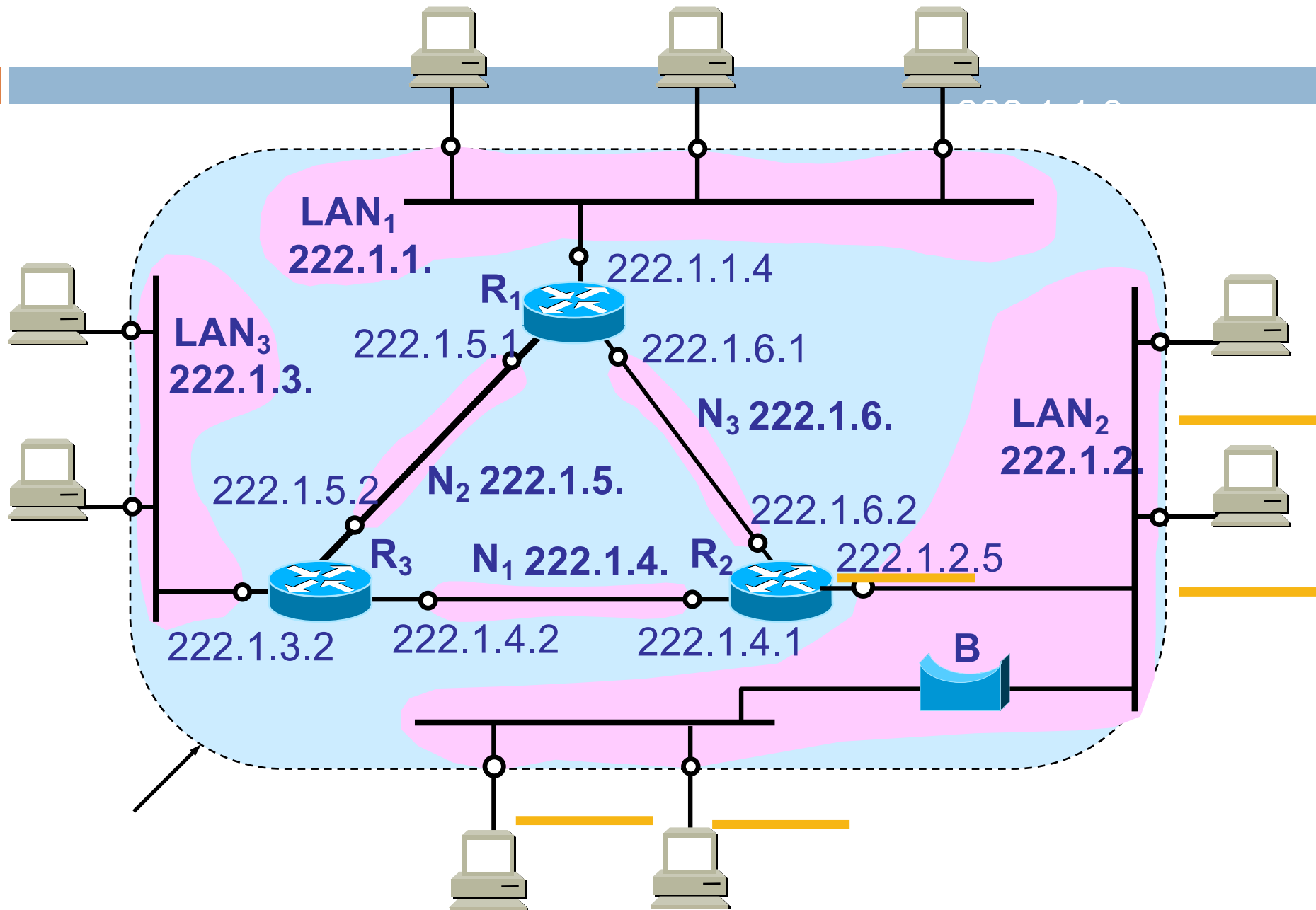
- ▣ 当一个主机同时连接到两个网络上时，该主机就必须同时具有两个相应的IP地址，其网络号 net-id 必须是不同的。
 - 这种主机称为多归属主机(multihomed host)。
- ▣ 一个路由器至少应当连接到两个网络，因此，一个路由器至少应当有两个不同的 IP 地址
 - 这样才能将IP数据报从一个网络转发到另一个网络

IP 地址的一些重要特点

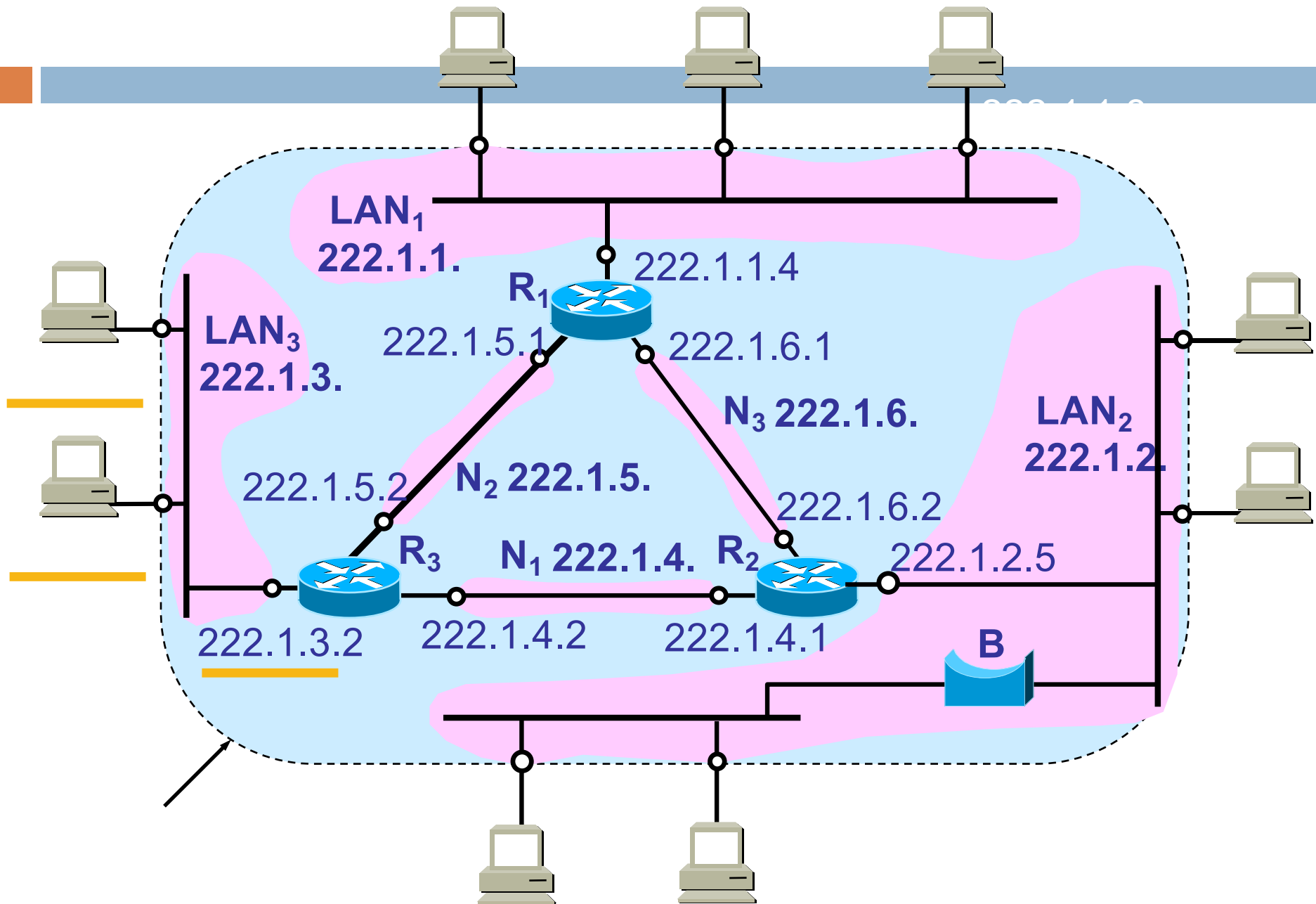


- (3) 用转发器或网桥连接起来的若干个局域网仍为一个网络，因此这些局域网都具有同样的网络号 net-id。
- (4) 所有分配到网络号 net-id 的网络，不管是范围很小的局域网，还是可能覆盖很大地理范围的广域网，都是平等的。

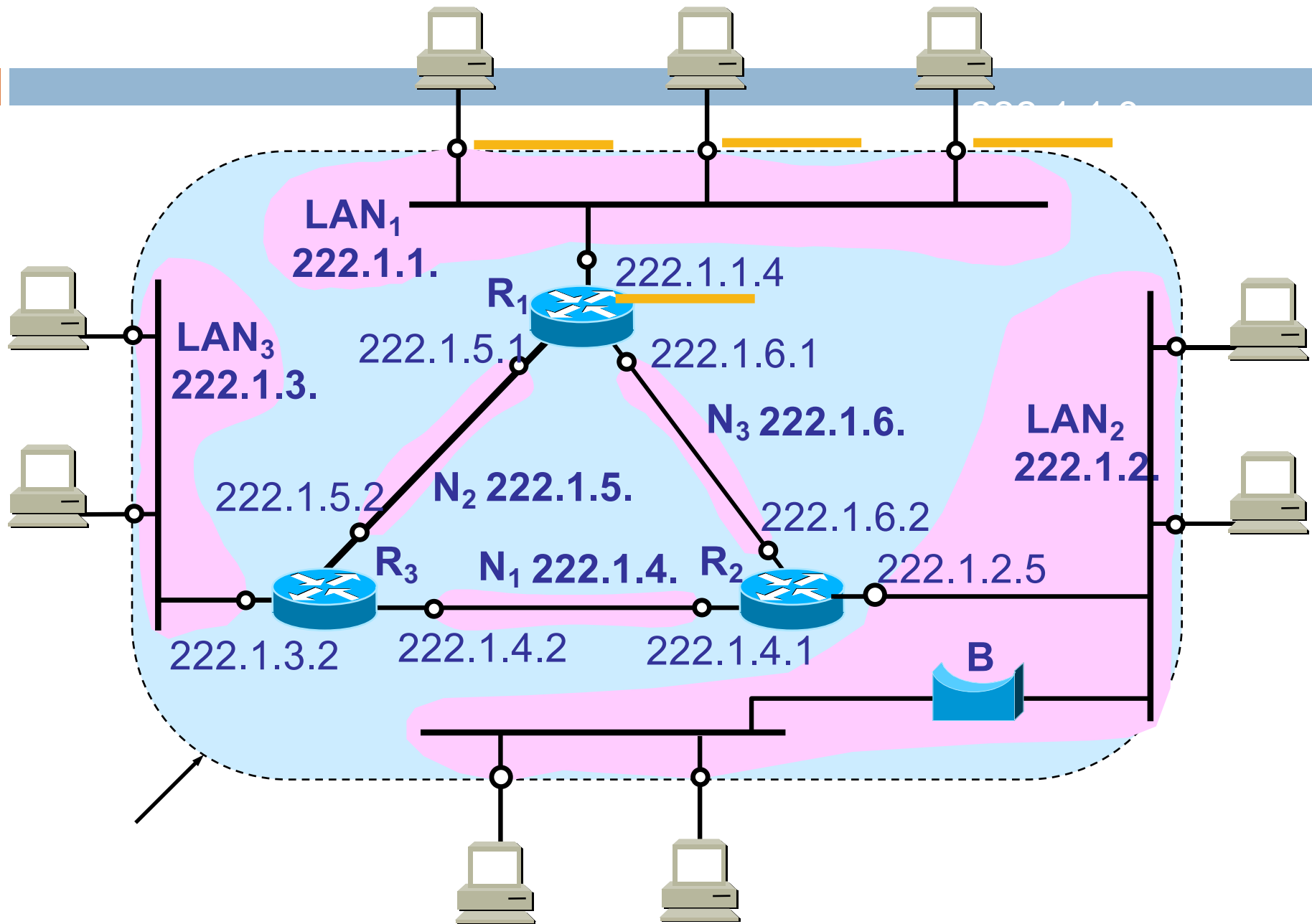
在同一个局域网上的主机或路由器的IP 地址中的网络号必须是一样的。
图中的网络号就是 IP 地址中的 net-id



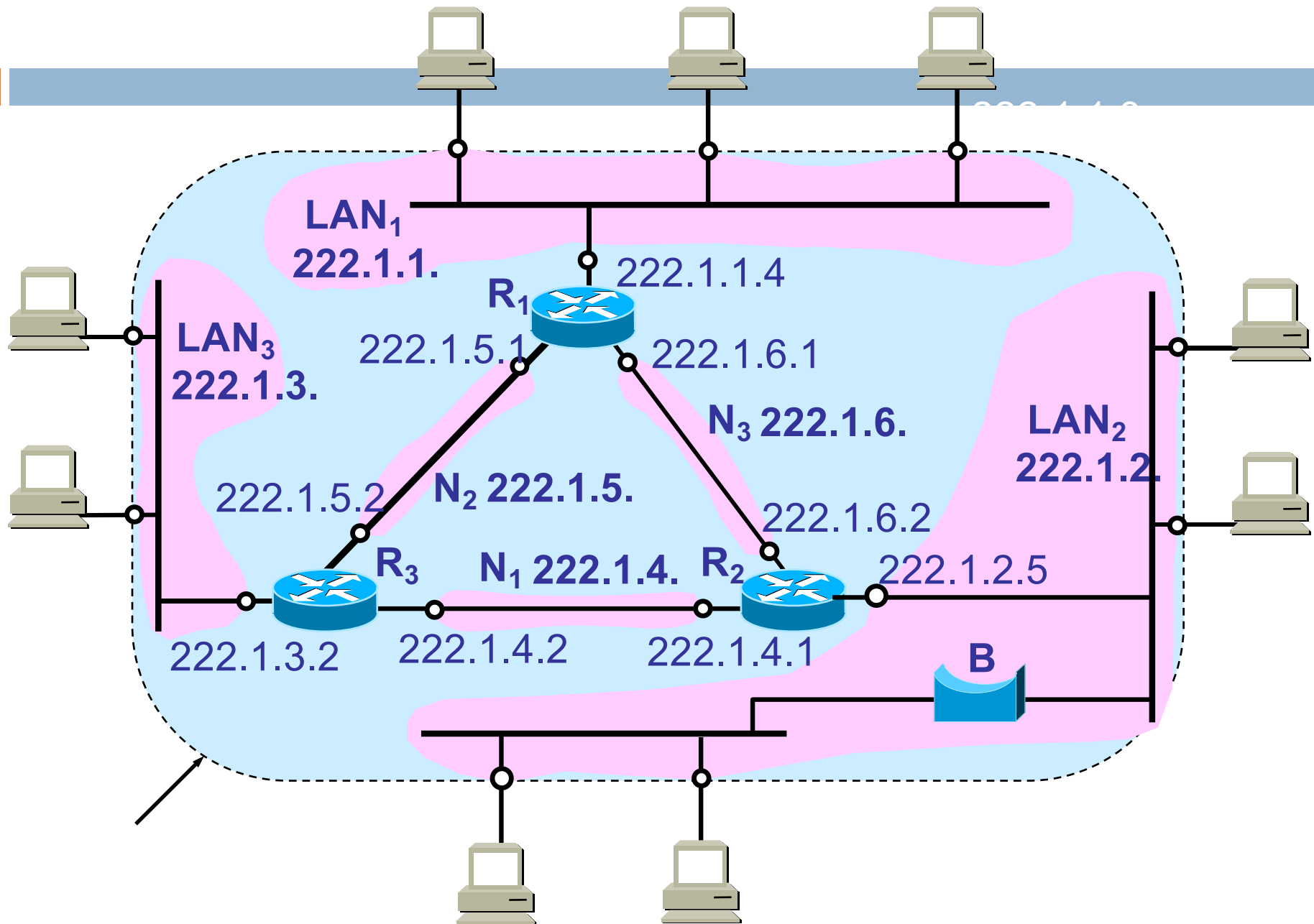
在同一个局域网上的主机或路由器的IP 地址中的网络号必须是一样的。
图中的网络号就是 IP 地址中的 net-id



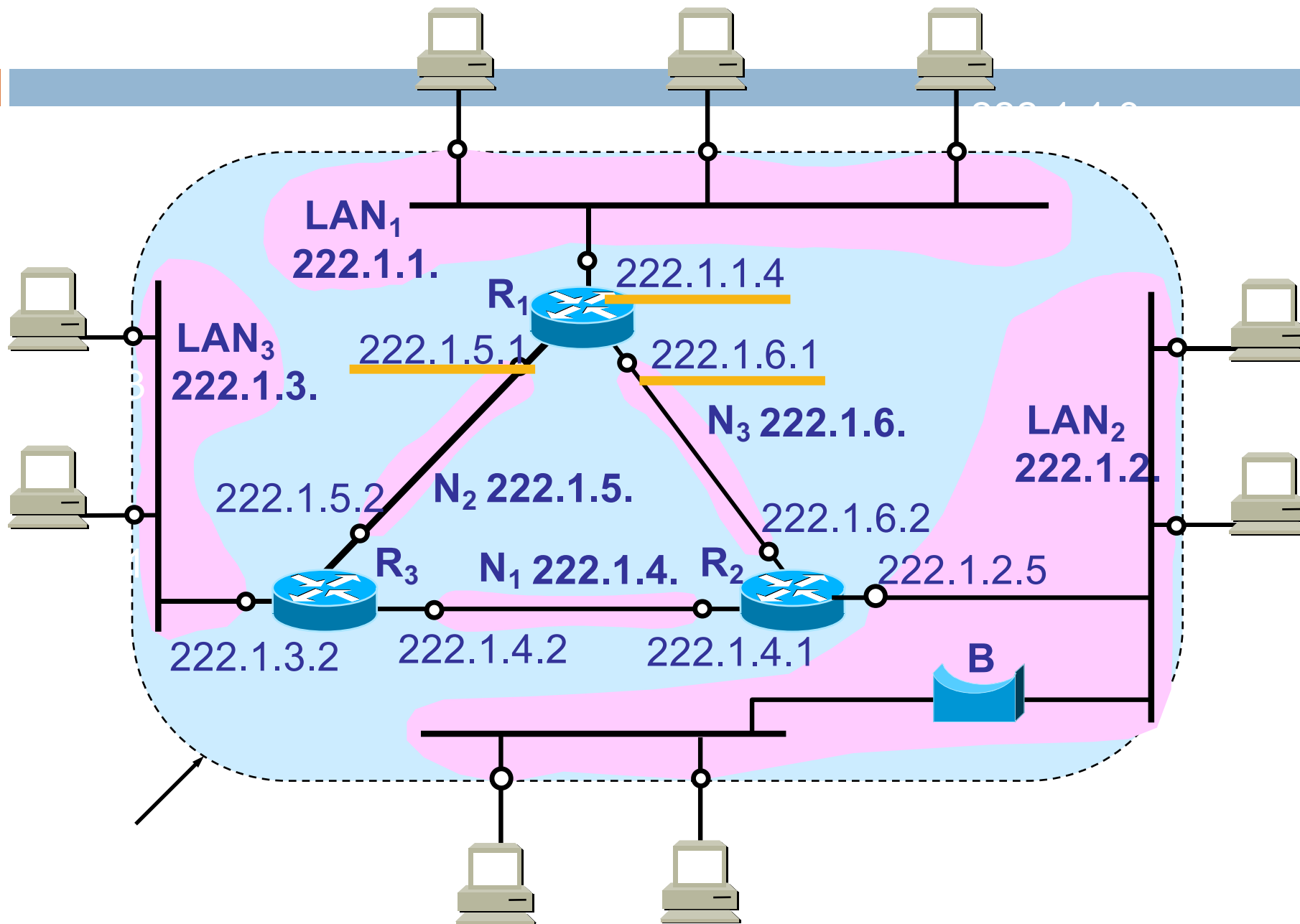
在同一个局域网上的主机或路由器的IP 地址中的网络号必须是一样的。
图中的网络号就是 IP 地址中的 net-id



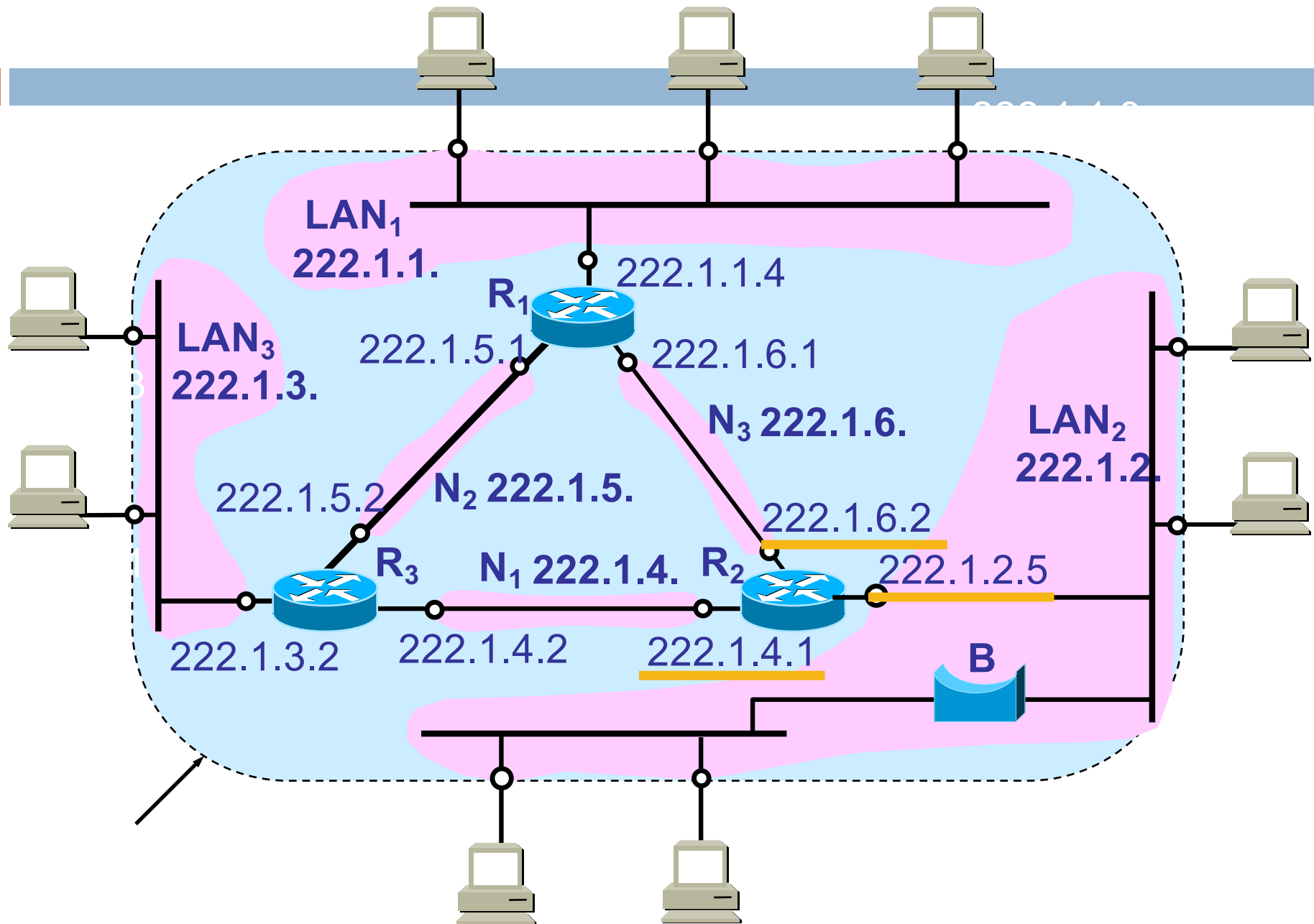
在同一个局域网上的主机或路由器的IP 地址中的网络号必须是一样的。
图中的网络号就是 IP 地址中的 net-id



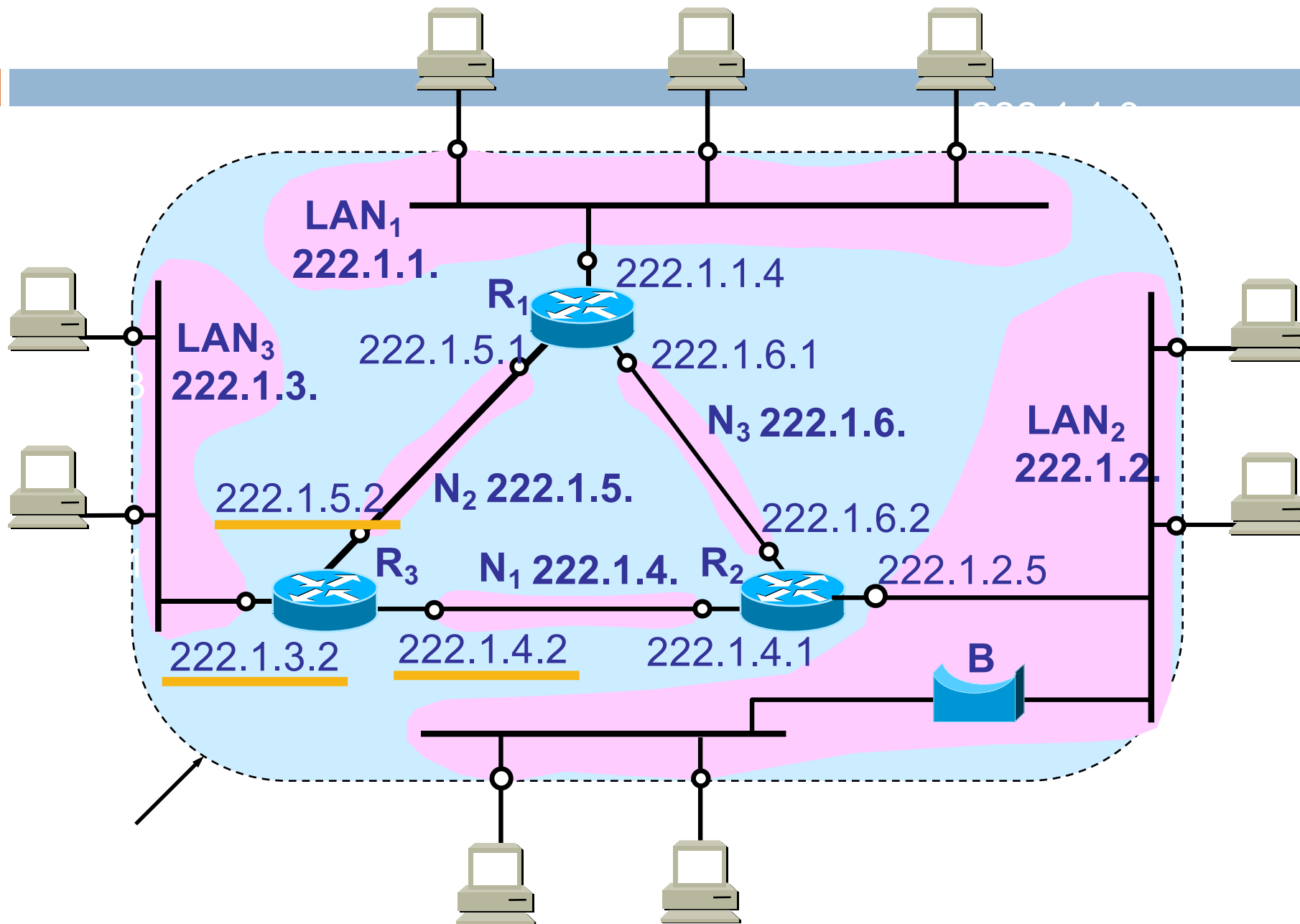
路由器总是具有两个或两个以上的 IP 地址。
路由器的每一个接口都有一个不同网络号的 IP 地址。



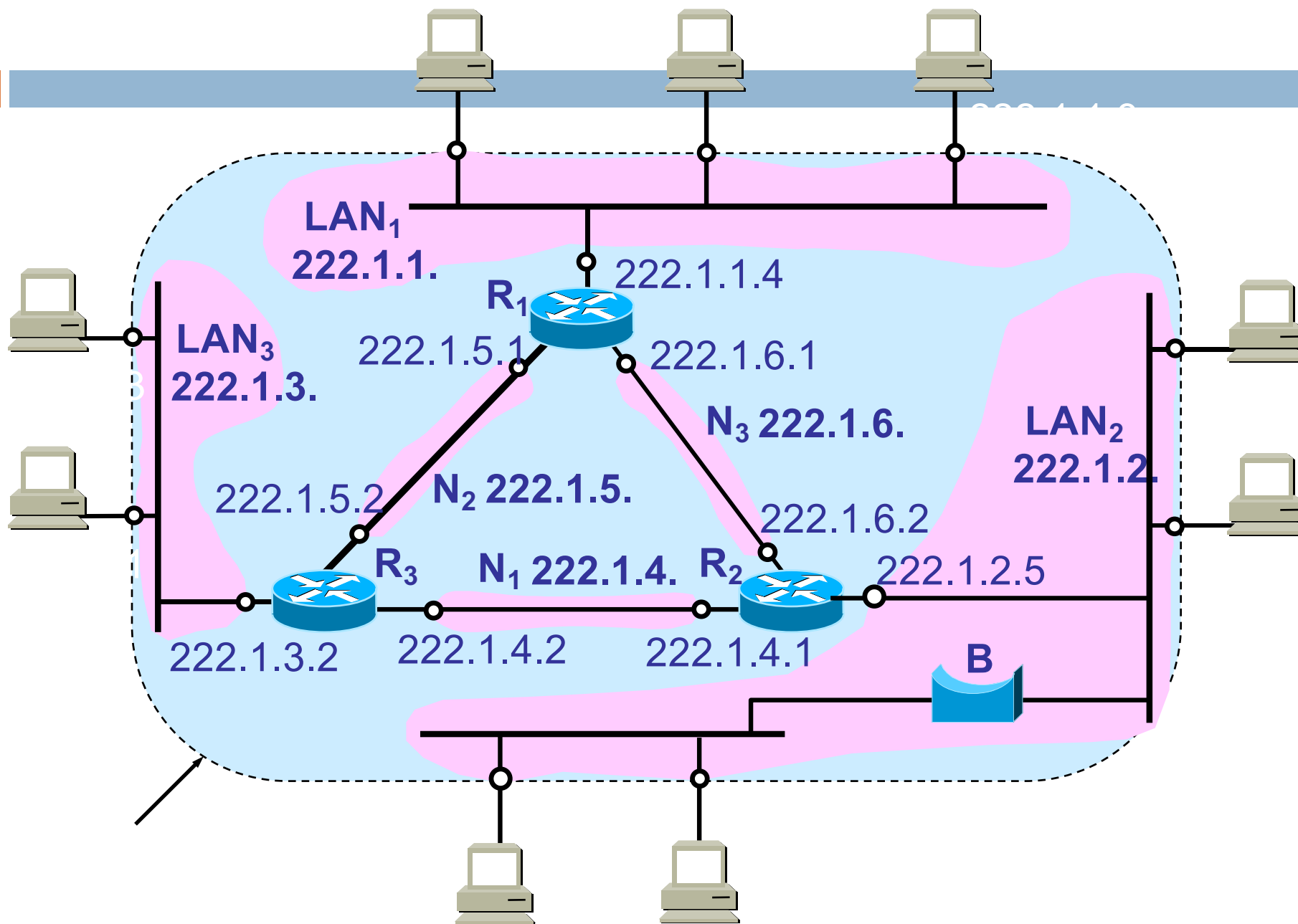
路由器总是具有两个或两个以上的 IP 地址。
路由器的每一个接口都有一个不同网络号的 IP 地址。



路由器总是具有两个或两个以上的 IP 地址。
路由器的每一个接口都有一个不同网络号的 IP 地址。

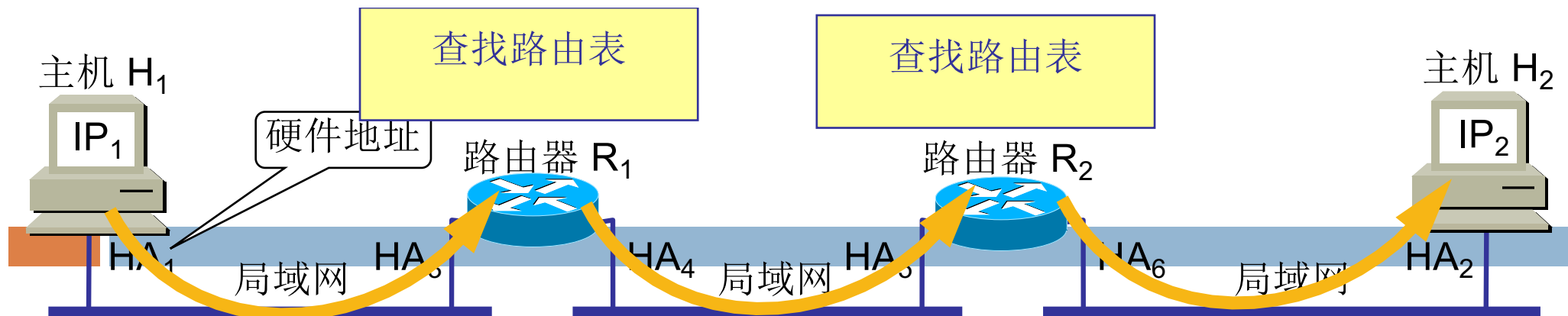


两个路由器直接相连的接口处，可指明也可不指明 IP 地址。如指明 IP 地址，则这一段连线就构成了一种只包含一段线路的特殊“网络”。现在常不指明 IP 地址。



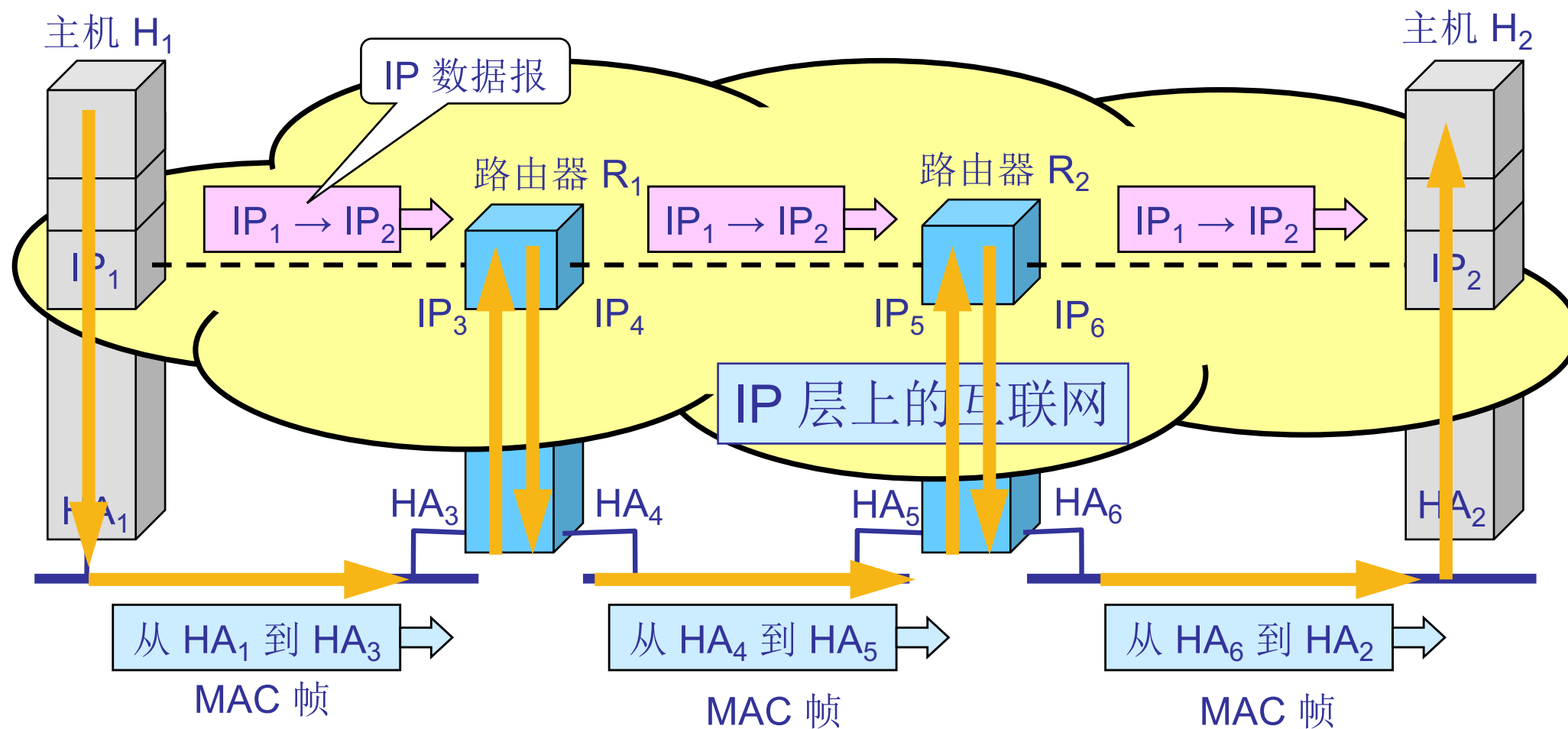
总结

- 1) 在同一个局域网上的主机或路由器的IP地址中的网络号必须是一样的。
- 2) 用网桥（它只在链路层工作）互连的网段仍然是一个局域网，只能有一个网络号。
- 3) 路由器总是具有两个或两个以上的IP地址。
- 4) 当两个路由器直接相连时，在连接两端的接口处，可以指明也可以不指明IP地址。

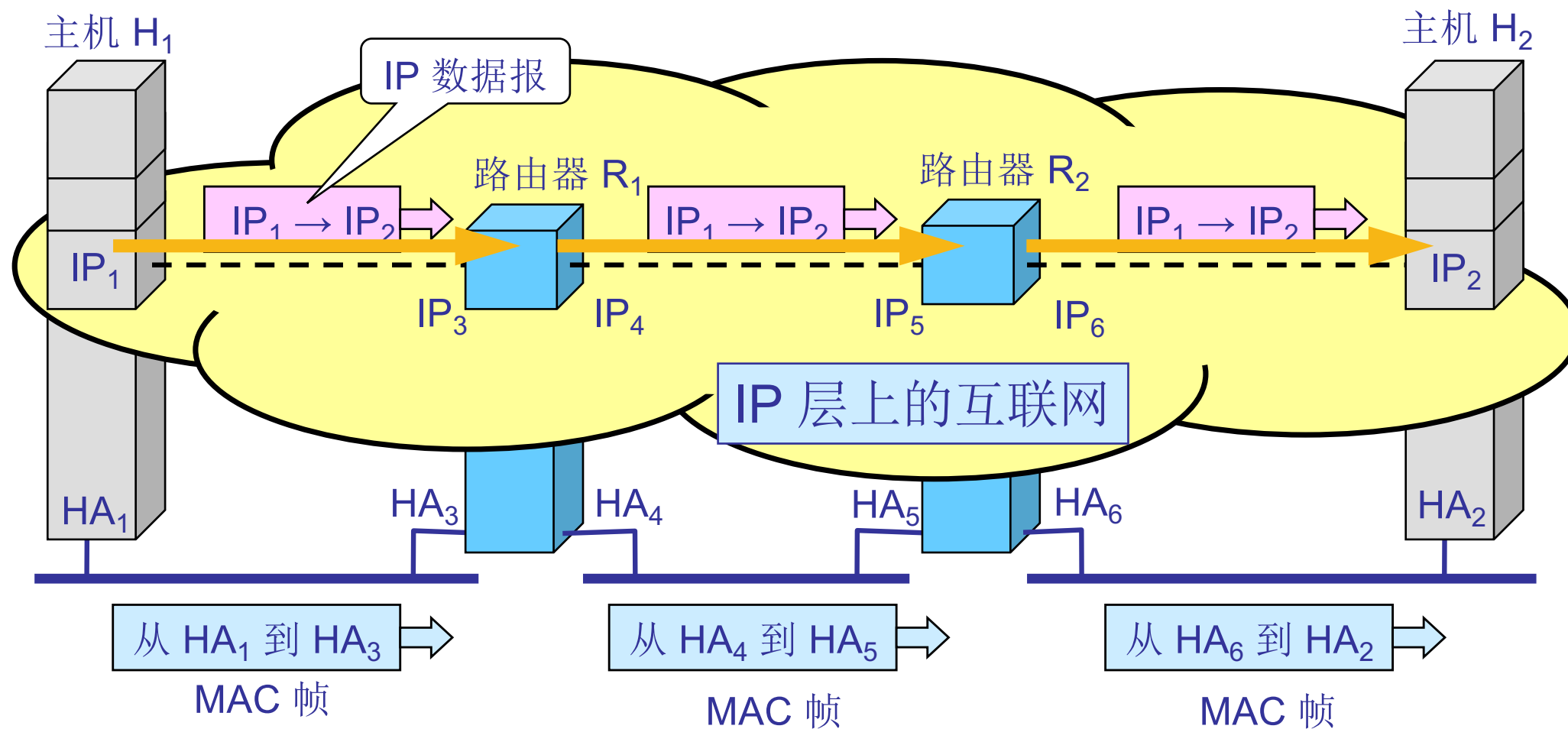
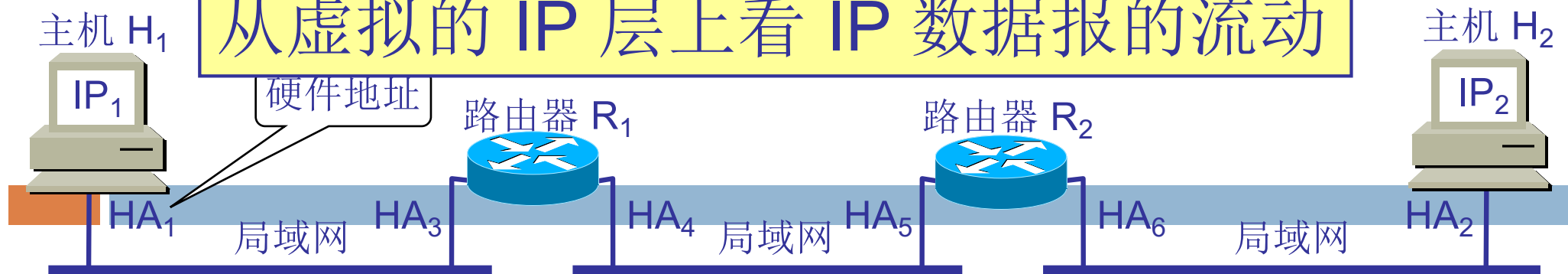


主机H1向H2发送数据，通信的路径：
H₁→经过 R₁ 转发→再经过 R₂ 转发→H₂

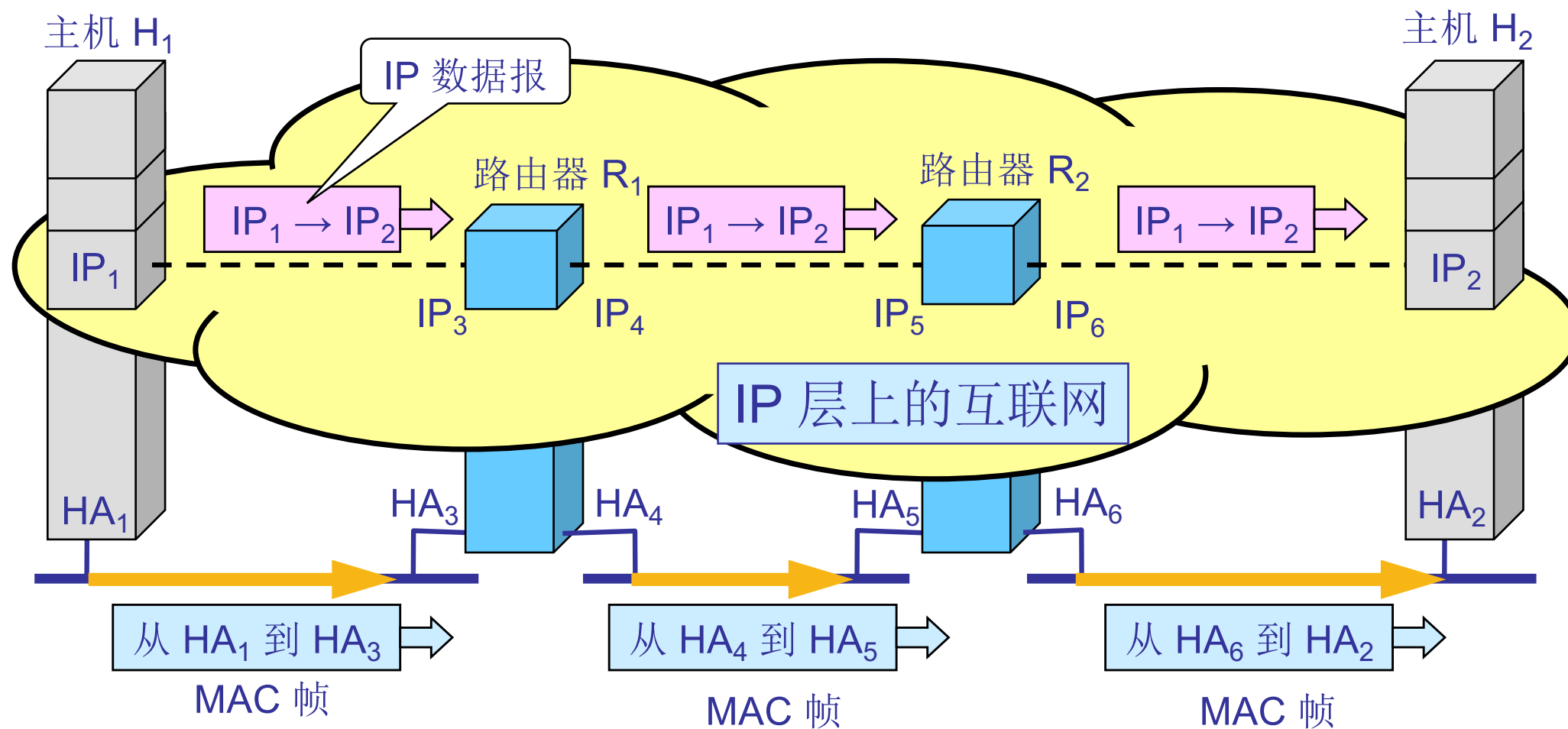
从协议栈的层次上看数据的流动



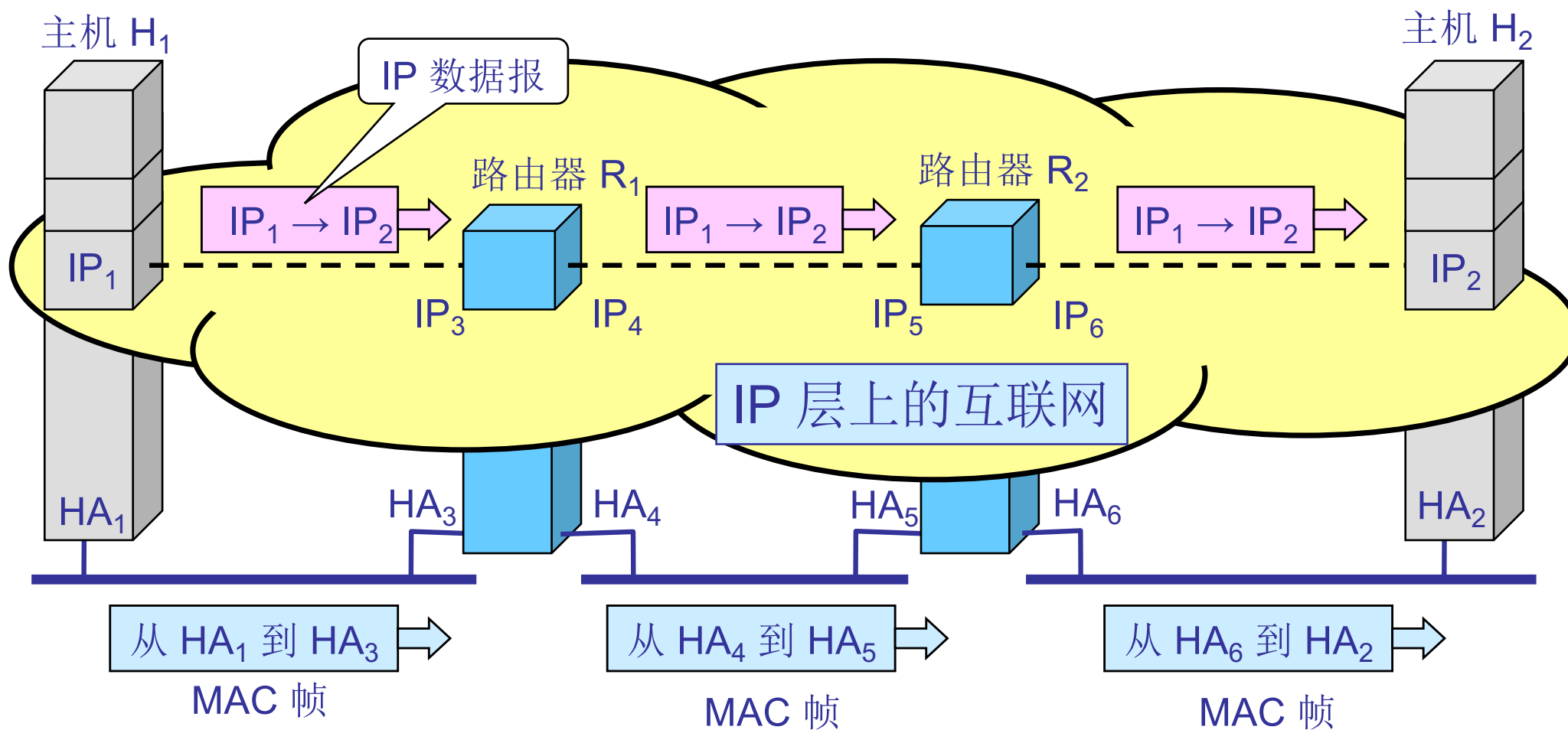
从虚拟的 IP 层上看 IP 数据报的流动



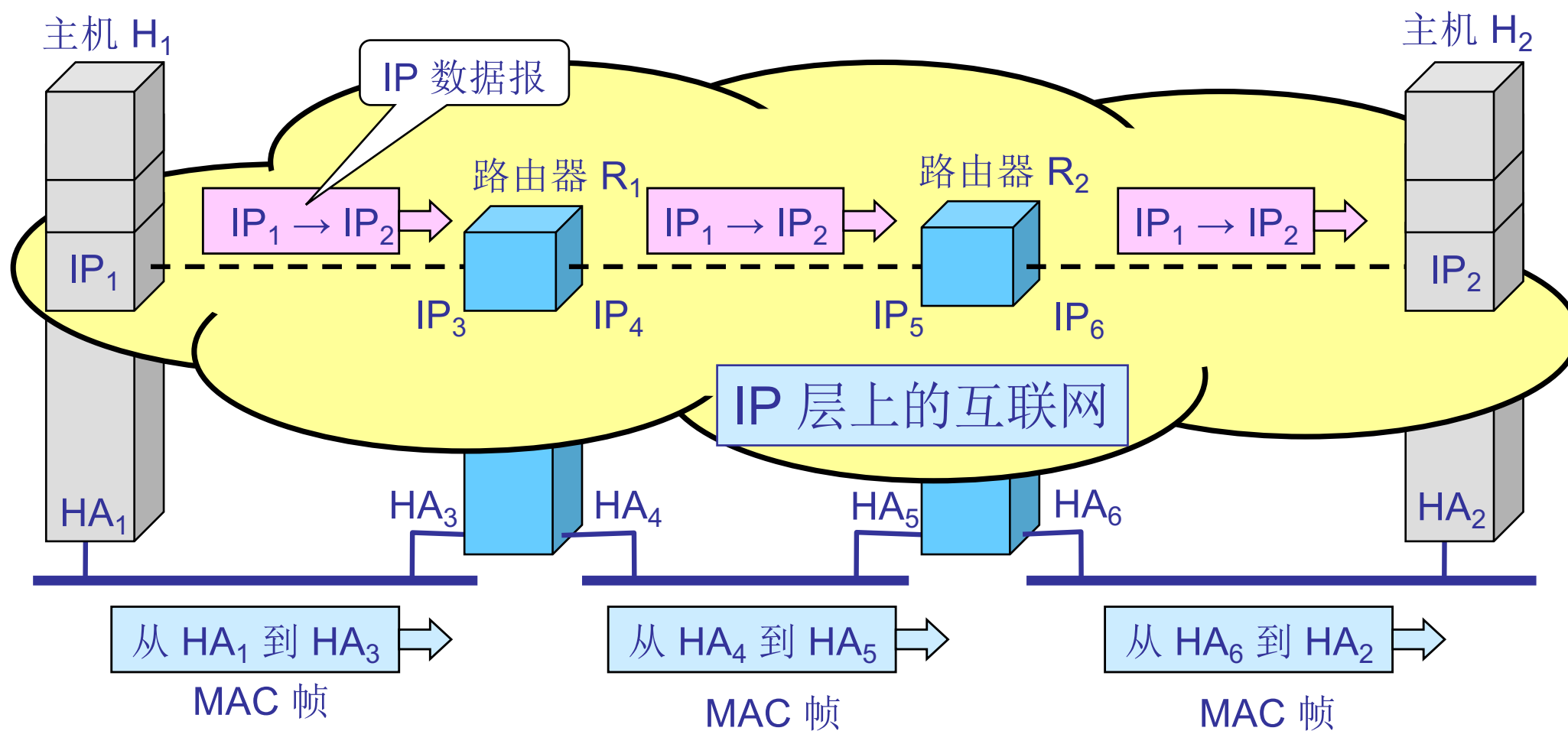
在链路上看 MAC 帧的流动



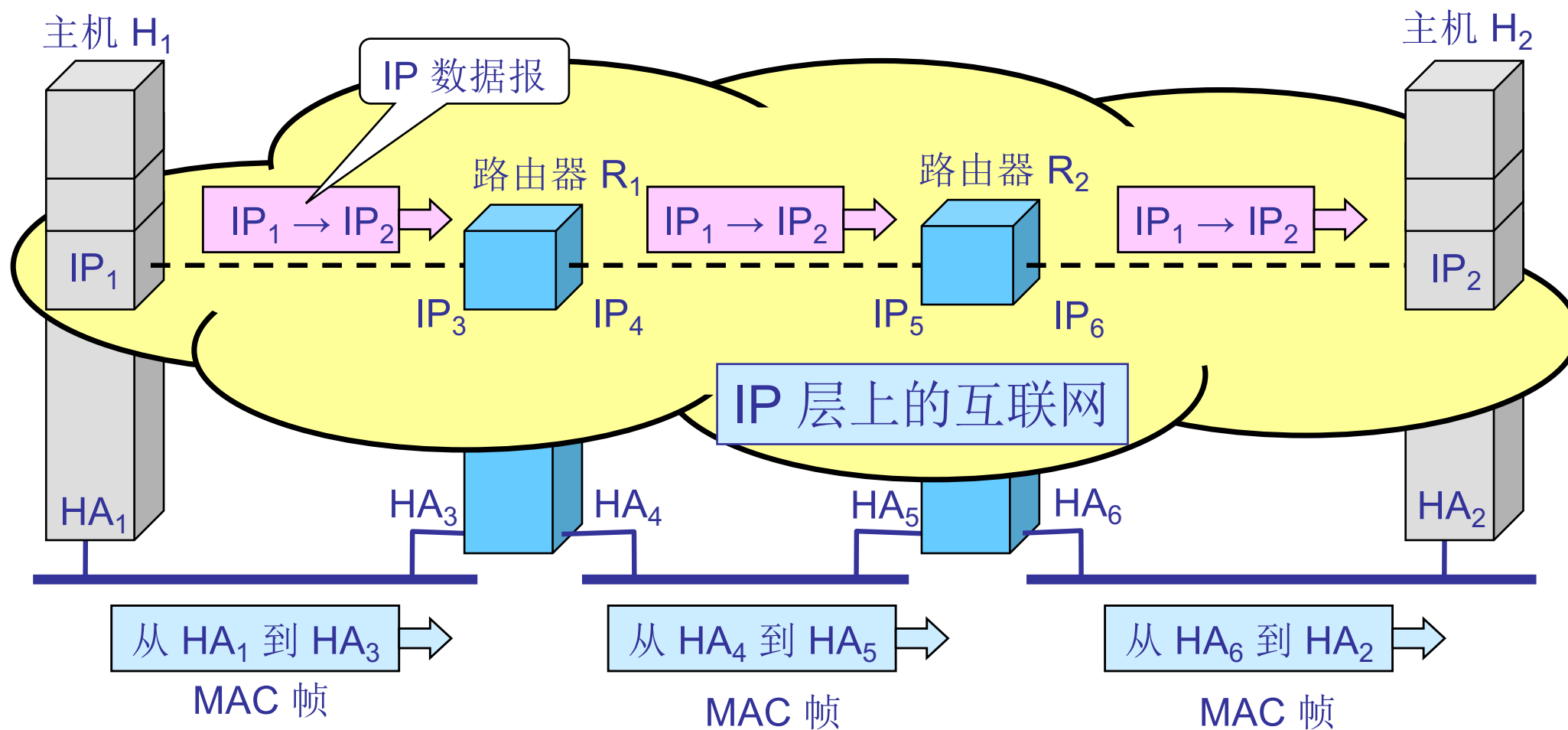
- 在 IP 层抽象的互联网上，只能看到 IP 数据报
- 图中的 $IP_1 \rightarrow IP_2$ 表示从源地址 IP_1 到目的地址 IP_2
- 两个路由器的 IP 地址并不出现在 IP 数据报的首部中



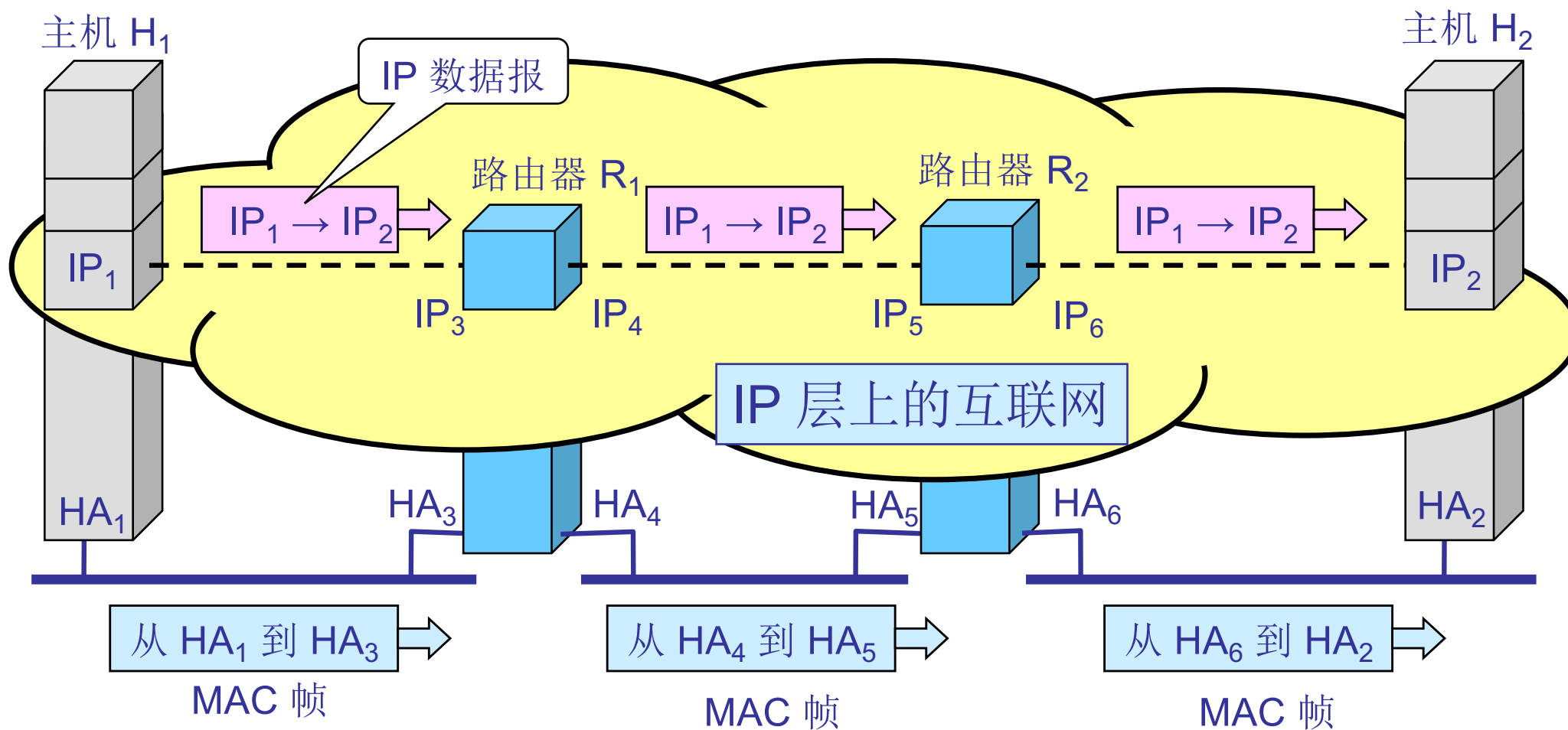
路由器只根据目的站IP 地址的网络号，进行路由选择



在具体的物理网络的链路层
只能看见 **MAC 帧** 而看不见 **IP 数据报**



- (1) IP层抽象的互联网，屏蔽了下层很复杂的细节；
- (2) 在抽象的网络层上讨论问题，就能够使用统一的、抽象的 IP 地址，来研究主机和主机，或者主机和路由器之间的通信。



路由器转发分组的步骤

- （1）先按所要找的IP地址中的网络号net-id找到目的网络。
- （2）当分组到达目的网络后，再利用主机号host-id将数据报直接交付给目的主机。
- IP地址并不只是一个主机的号，*而是指出了连接到某个网络上的某个主机。*



谢谢！