

A large, semi-transparent abstract network graph is positioned on the left side of the slide. It consists of numerous small, light-blue circular nodes connected by thin white lines, forming a complex web-like structure that suggests a global or local network.

# 第4章

# 网络层

# 计算机网络体系结构

OSI 的七层协议体系结构



(a)

TCP/IP 的四层协议体系结构



(b)

五层协议的体系结构



(c)

4.1	网络层的几个重要概念
4.2	网际协议 IP
4.3	IP 层转发分组的过程
4.4	网际控制报文协议 ICMP
4.5	IPv6
4.6	互联网的路由选择协议
4.7	IP 多播
4.8	虚拟专用网 VPN 和网络地址转换 NAT
4.9	多协议标记交换 MPLS
4.10	软件定义网络 SDN 简介

## 4.2

### 网际协议 IP

4.2.1

虚拟互连网络

4.2.2

IP 地址

4.2.3

IP 地址与 MAC 地址

4.2.4

地址解析协议 ARP

4.2.5

IP 数据报的格式

## 4.2.3 IP 地址与 MAC 地址

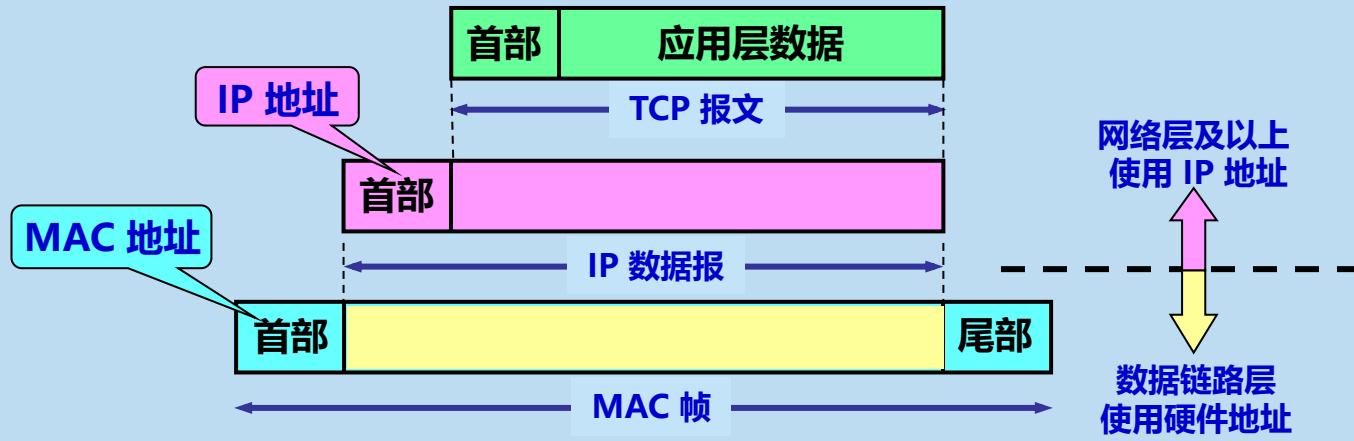
### IP 地址

- 虚拟地址、软件地址、逻辑地址。
- 网络层和以上各层使用。
- 放在 IP 数据报的首部。

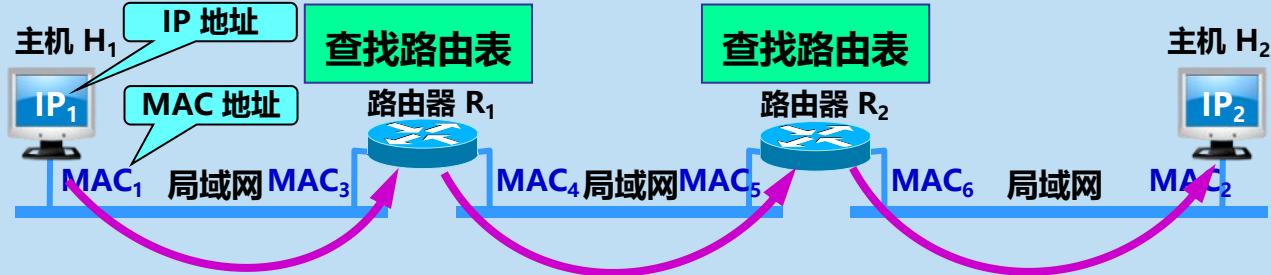
### MAC 地址

- 固化在网卡上的 ROM 中。
- 硬件地址、物理地址。
- 数据链路层使用。
- 放在 MAC 帧的首部。

# IP 地址与 MAC 地址的区别



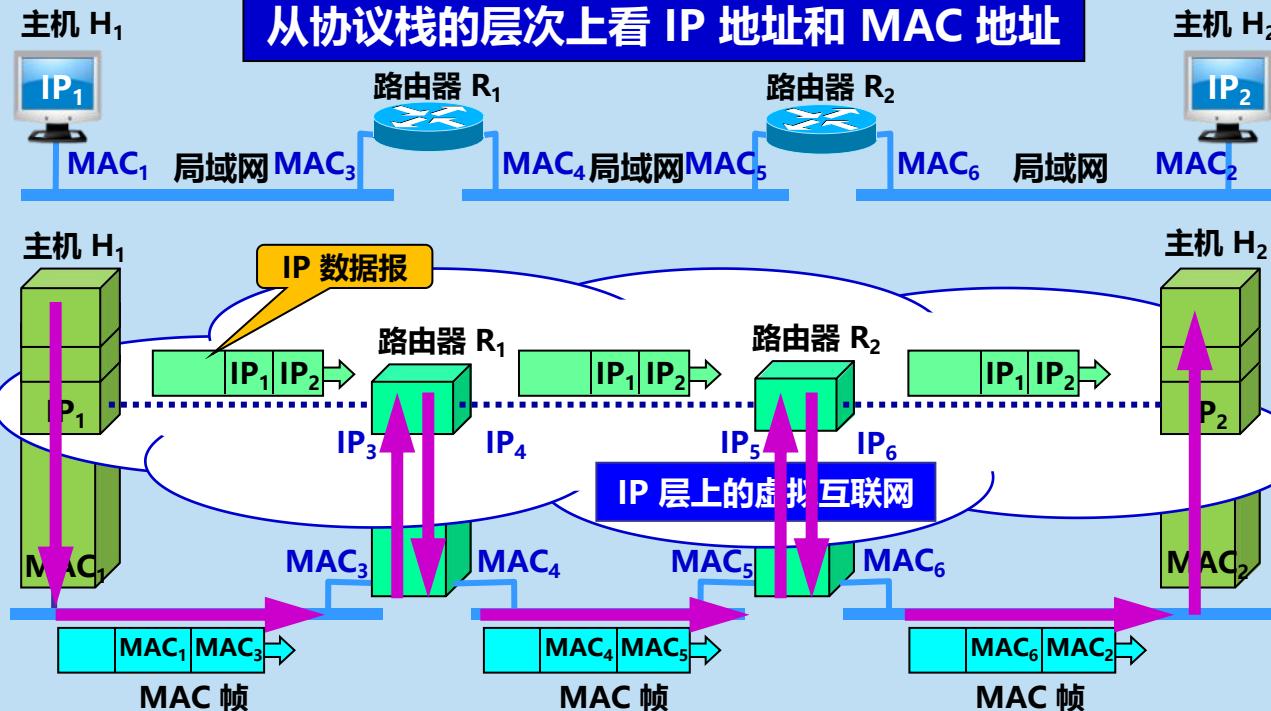
IP 地址放在 IP 数据报的首部，  
MAC 地址则放在 MAC 帧的首部。



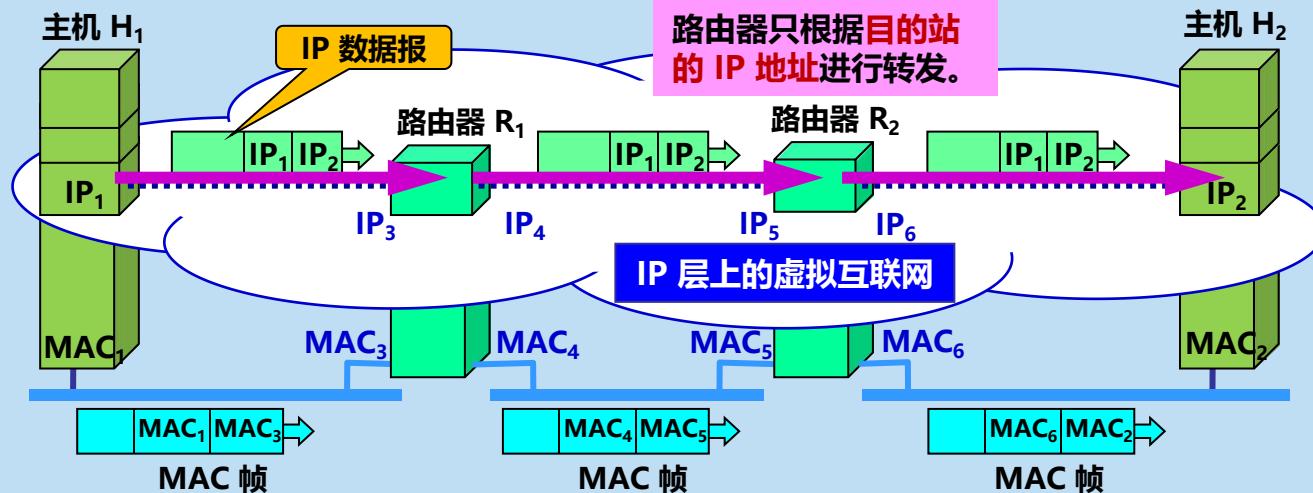
通信的路径：

$H_1 \rightarrow$  经过  $R_1$  转发  $\rightarrow$  再经过  $R_2$  转发  $\rightarrow H_2$

## 从协议栈的层次上看 IP 地址和 MAC 地址



**在 IP 层抽象的互联网上只能看到 IP 数据报。**



**注意：数据报中 IP 地址是否有变化？**

主机 H<sub>1</sub>



MAC<sub>1</sub>

局域网

在局域网的链路层，只能看见 MAC 帧。

路由器 R<sub>1</sub>

路由器 R<sub>2</sub>

主机 H<sub>2</sub>



MAC<sub>2</sub>

主机 H<sub>1</sub>

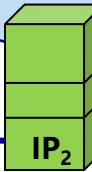


IP 数据报

IP<sub>1</sub> | IP<sub>2</sub>

IP<sub>1</sub> | IP<sub>2</sub>

主机 H<sub>2</sub>



IP<sub>2</sub>

IP 层上的虚拟互联网

MAC<sub>1</sub>

MAC<sub>3</sub>

MAC<sub>4</sub>

MAC<sub>5</sub>

MAC<sub>6</sub>

MAC<sub>2</sub>

MAC 帧

MAC 帧

MAC 帧

注意：帧中 MAC 地址是否有变化？对 IP 层有何影响？

## 不同层次、不同区间使用的源地址和目的地址

	在网络层 写入 IP 数据报头部的地址		在数据链路层 写入 MAC 帧头部的地址	
	源地址	目的地址	源地址	目的地址
从 H <sub>1</sub> 到 R <sub>1</sub>	IP <sub>1</sub>	IP <sub>2</sub>	MAC <sub>1</sub>	MAC <sub>3</sub>
从 R <sub>1</sub> 到 R <sub>2</sub>	IP <sub>1</sub>	IP <sub>2</sub>	MAC <sub>4</sub>	MAC <sub>5</sub>
从 R <sub>2</sub> 到 H <sub>2</sub>	IP <sub>1</sub>	IP <sub>2</sub>	MAC <sub>6</sub>	MAC <sub>2</sub>

## 不同层次、不同区间使用的源地址和目的地址

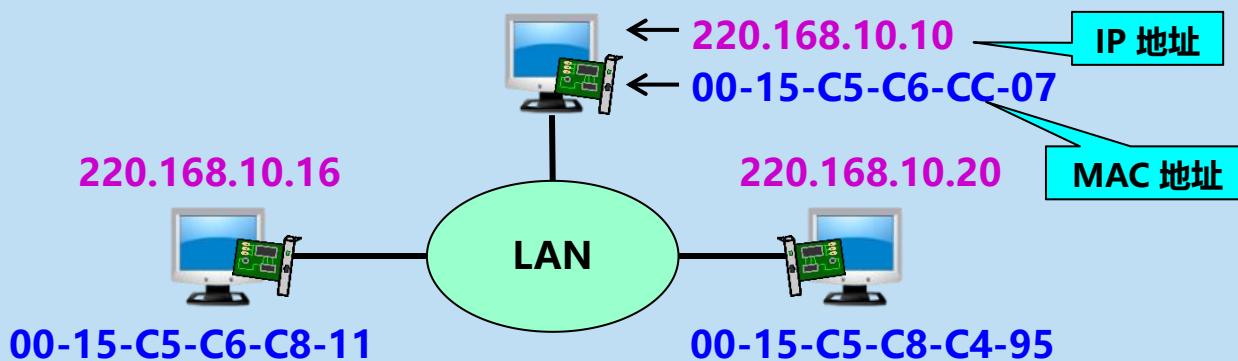
- 尽管互连在一起的网络的 MAC 地址体系各不相同，但 IP 层抽象的互联网却**屏蔽**了下层这些很复杂的细节。
- 只要我们在网络层上讨论问题，就能够使用统一的、抽象的 IP 地址研究主机和主机或路由器之间的通信。

问题：

主机或路由器怎样知道应当在 MAC 帧的首部填入什么样的 MAC 地址？

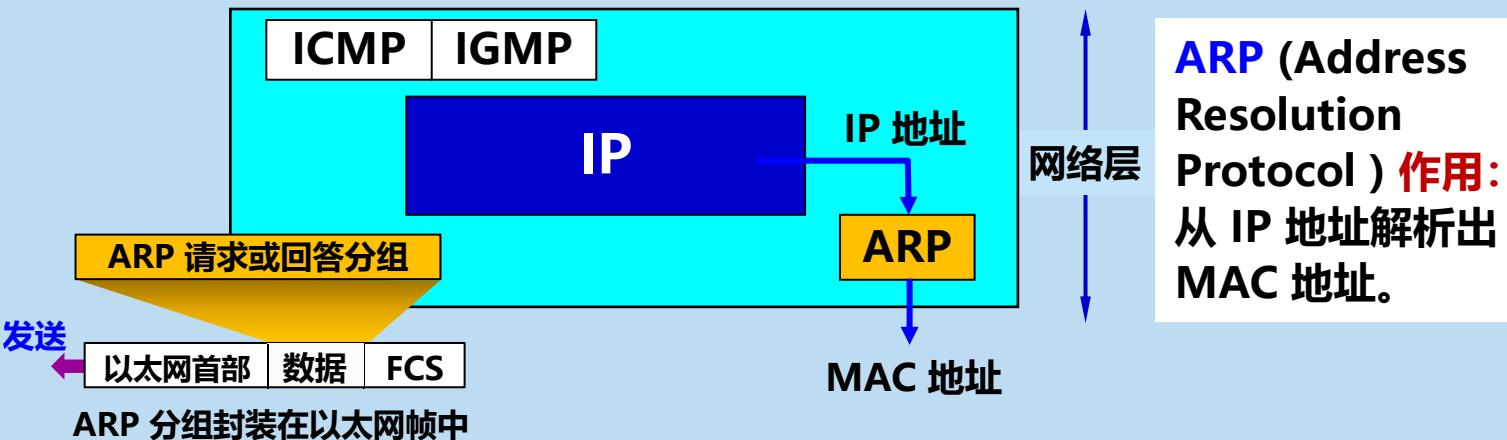
## 4.2.4 地址解析协议 ARP

- 实现 IP 通信时使用了两个地址：
  1. IP 地址（网络层地址）
  2. MAC 地址（数据链路层地址）



## 地址解析协议 ARP 的作用

- **问题：**已经知道了一个机器（主机或路由器）的 IP 地址，如何找出其相应的 MAC 地址？



## 要点 1: ARP 高速缓存 (ARP cache)

- **ARP 高速缓存 (ARP cache):**

- ◆ 存放 IP 地址到 MAC 地址的映射表。
- ◆ 映射表动态更新（新增或超时删除）。

映射表

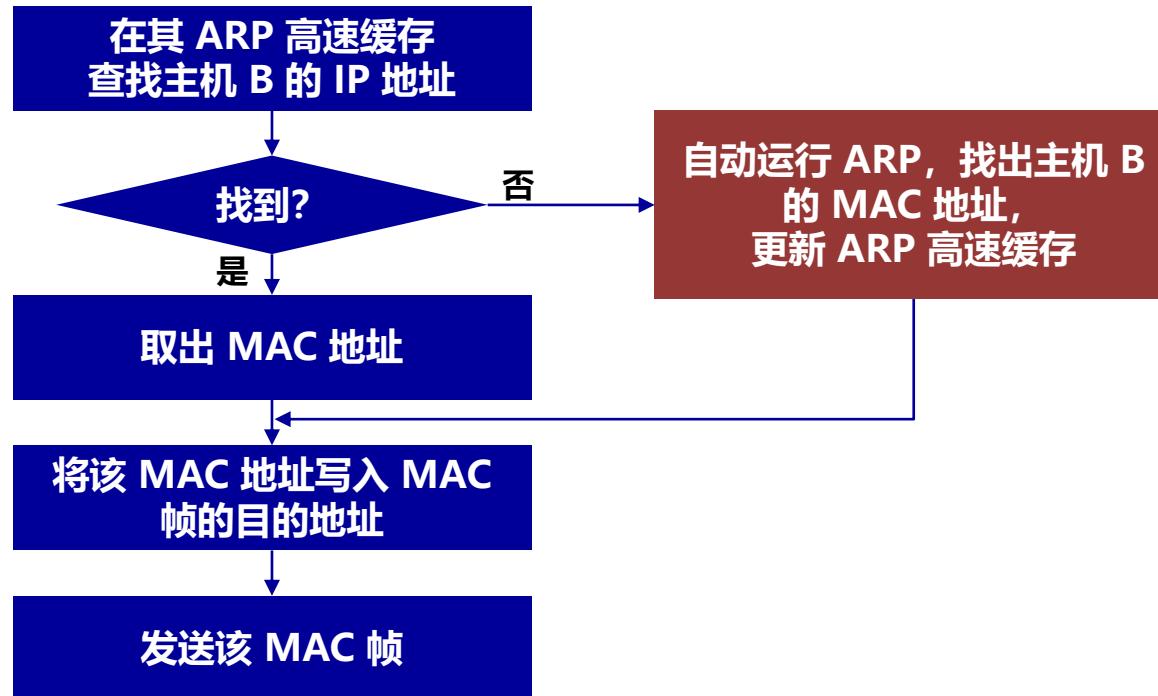
< IP 地址; MAC 地址; 生存时间 (Age); 类型等 >

IP 地址	MAC 地址	生存时间 (Age)	类型	其他
10.4.9.2	0030.7131.abfc	00:08:55	Dynamic	
10.4.9.1	0000.0c07.ac24	00:02:55	Dynamic	
10.4.9.99	0007.ebea.44d0	00:06:12	Dynamic	

超过生存时间的项目都从高速缓存中删除，以适应网络适配器变化。

## 要点 2: ARP 工作

- 当主机 A 欲向**本局域网上的某个主机 B**发送 IP 数据报时：

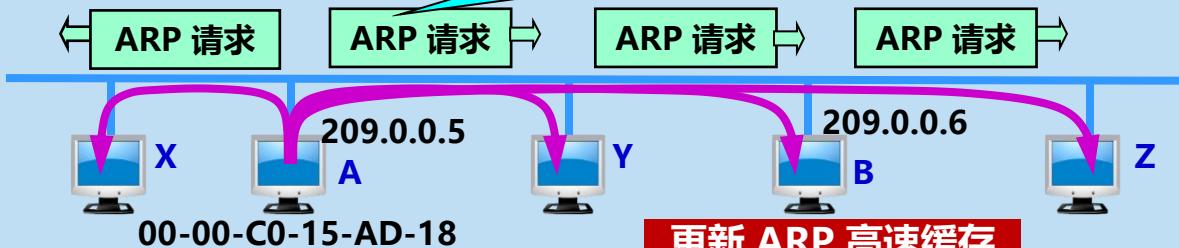


## 要点 3：ARP 查找 IP 地址对应的 MAC 地址

- 本局域网上广播发送 ARP 请求（路由器不转发 ARP 请求）。
- ARP 请求分组：包含发送方硬件地址 / 发送方 IP 地址 / 目标方硬件地址(未知时填 0) / 目标方 IP 地址。
- 单播 ARP 响应分组：包含发送方硬件地址 / 发送方 IP 地址 / 目标方硬件地址 / 目标方 IP 地址。
- ARP 分组封装在以太网帧中传输。

**主机 A 本局域网上广播发送 ARP 请求分组**

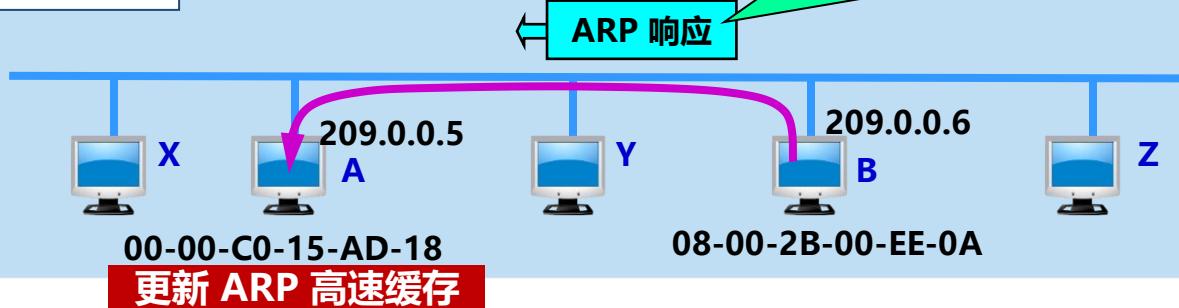
我是 209.0.0.5，硬件地址是 00-00-C0-15-AD-18  
我想知道主机 209.0.0.6 的硬件地址。



**更新 ARP 高速缓存**

**主机 B 向 A 单播发送 ARP 响应分组**

我是 209.0.0.6，  
硬件地址是 08-00-2B-00-EE-0A。



**更新 ARP 高速缓存**

## ARP 高速缓存的作用

- 存放最近获得的 IP 地址到 MAC 地址的绑定。
- 减少 ARP 广播的通信量。
- 为进一步减少 ARP 通信量，主机 A 在发送其 ARP 请求分组时，就将自己的 IP 地址到 MAC 地址的映射写入 ARP 请求分组。
- 当主机 B 收到 A 的 ARP 请求分组时，就将主机 A 的 IP 地址及其对应的 MAC 地址映射写入主机 B 自己的 ARP 高速缓存中。不必在发送 ARP 请求。

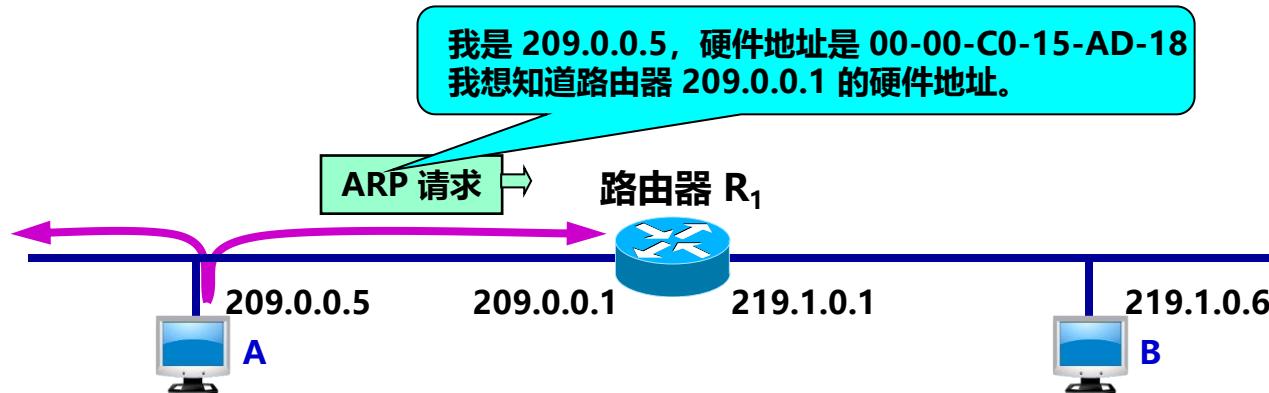
## 2 台主机不在同一个局域网上怎么办？

- ARP 用于解决同一个局域网上的主机或路由器的 IP 地址和 MAC 地址的映射问题。



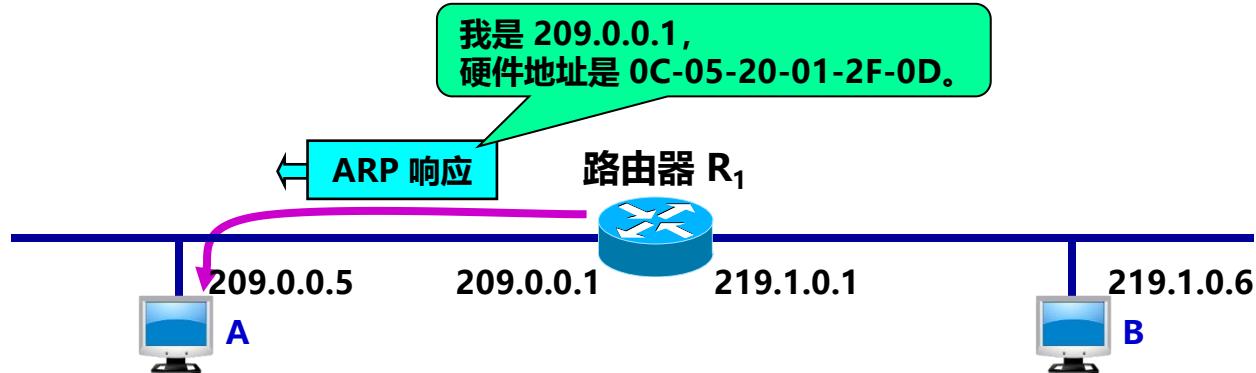
通信的路径：A → 经过  $R_1$  转发 → B。  
因此主机 A 必须知道路由器  $R_1$  的 IP 地址，解析出其 MAC 地址。  
然后把 IP 数据报传送到路由器  $R_1$ 。

## 2 台主机不在同一个局域网上怎么办？



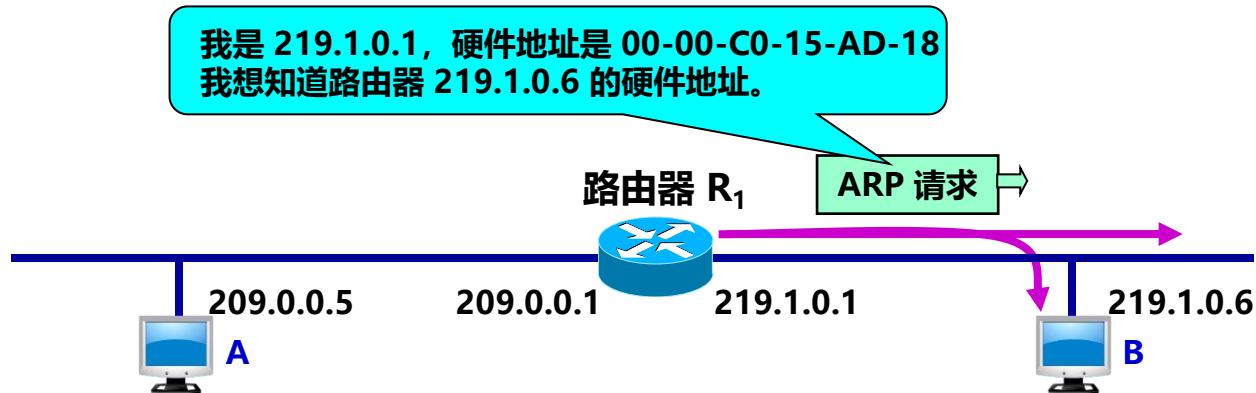
通信的路径：A → 经过  $R_1$  转发 → B。  
因此主机 A 必须知道路由器  $R_1$  的 IP 地址，解析出其 MAC 地址。  
然后把 IP 数据报传送到路由器  $R_1$ 。

## 2 台主机不在同一个局域网上怎么办？



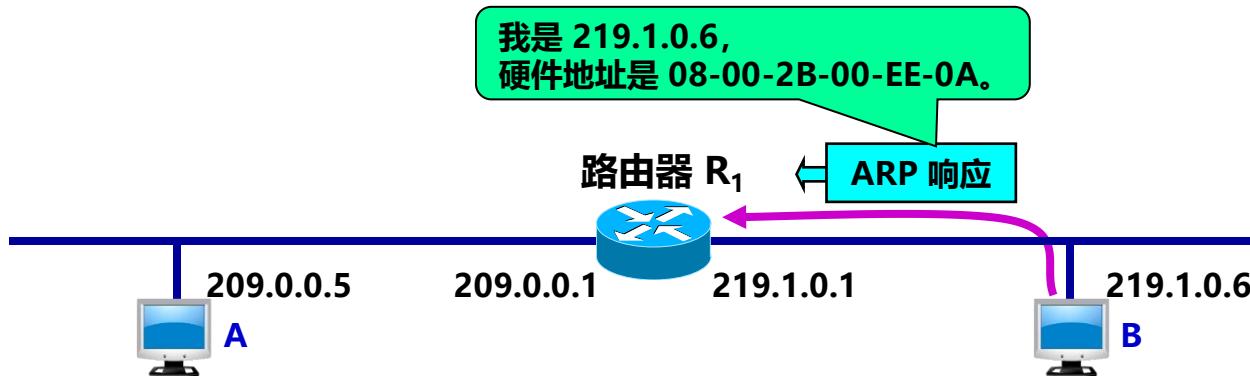
通信的路径: A → 经过  $R_1$  转发 → B。  
因此主机 A 必须知道路由器  $R_1$  的 IP 地址, 解析出其 MAC 地址。  
然后把 IP 数据报传送到路由器  $R_1$ 。

## 2 台主机不在同一个局域网上怎么办？



通信的路径: A → 经过  $R_1$  转发 → B。  
因此主机 A 必须知道路由器  $R_1$  的 IP 地址, 解析出其 MAC 地址。  
然后把 IP 数据报传送到路由器  $R_1$ 。

## 2 台主机不在同一个局域网上怎么办？



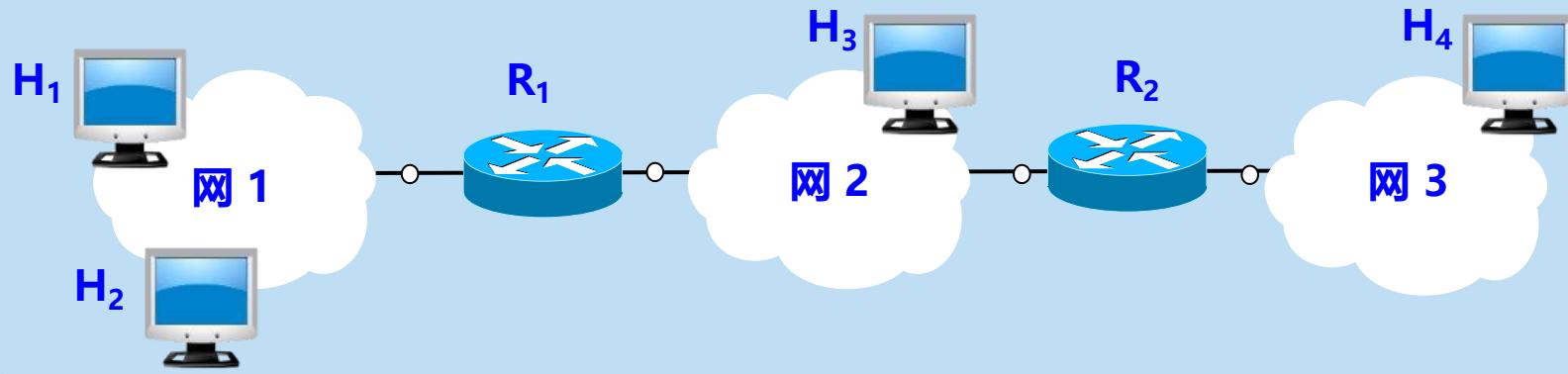
通信的路径：A → 经过  $R_1$  转发 → B。  
因此主机 A 必须知道路由器  $R_1$  的 IP 地址，解析出其 MAC 地址。  
然后把 IP 数据报传送到路由器  $R_1$ 。

# 01

## 地址解析协议ARP

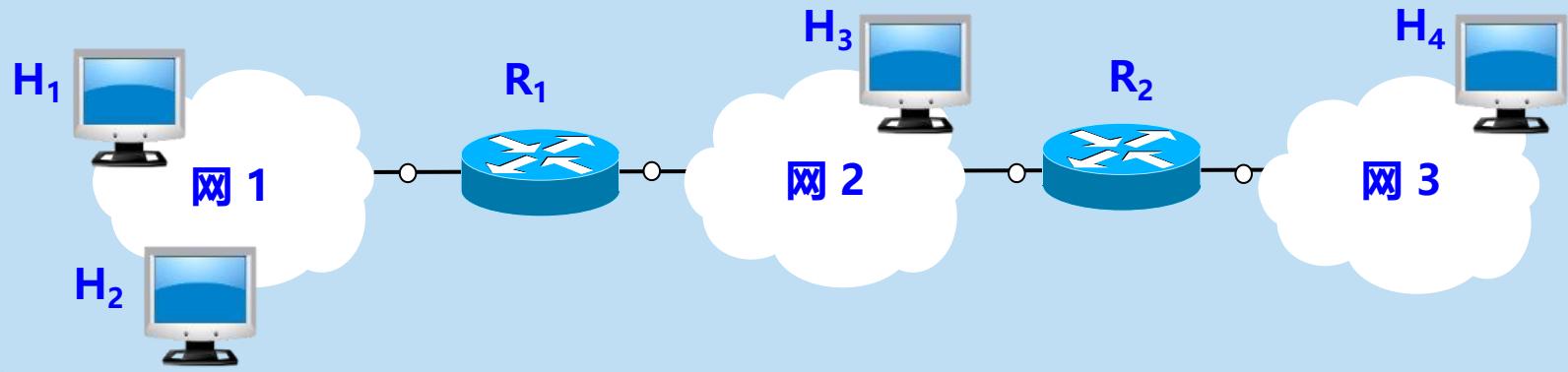


## 使用 ARP 的四种典型情况



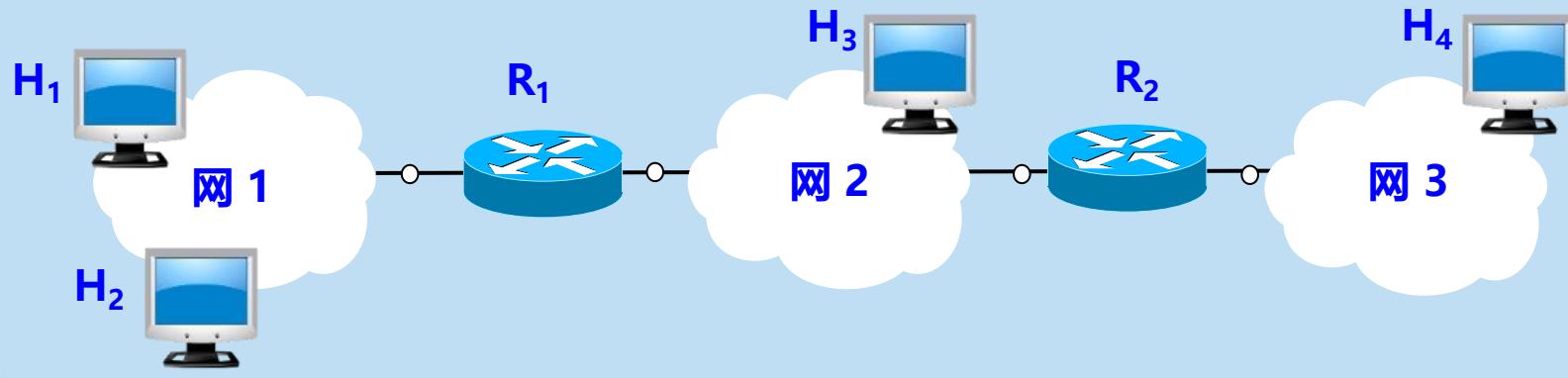
1. 发送方是**主机**，要把 IP 数据报发送到**本网络上的另一个主机**。  
这时用 ARP 找到目的主机的硬件地址。

## 使用 ARP 的四种典型情况



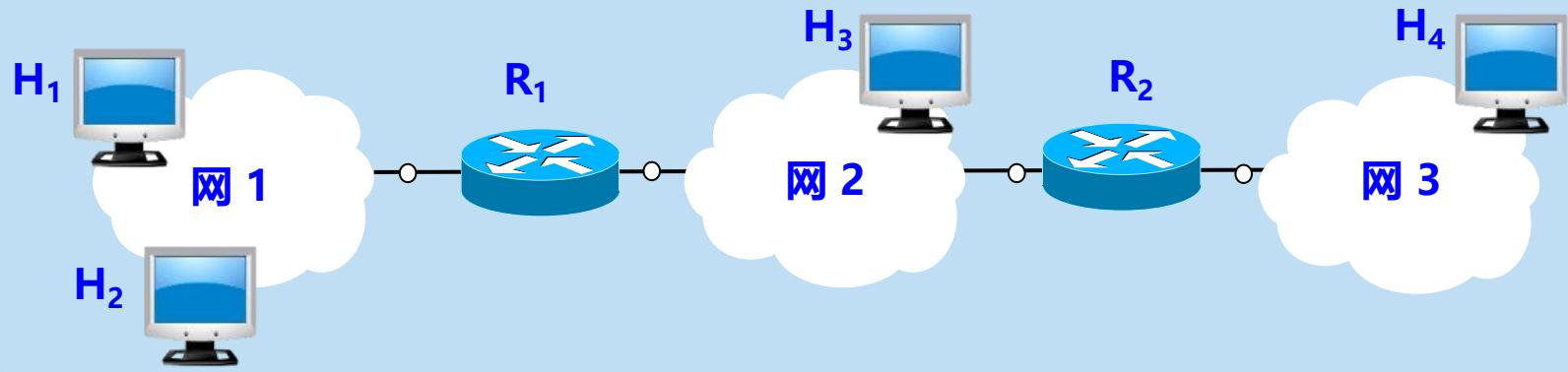
2. 发送方是**主机**, 要把 IP 数据报发送到**另一个网络上的一个主机**。  
这时用 ARP 找到本网络上的一个路由器的硬件地址。剩下的工  
作由这个路由器来完成。

## 使用 ARP 的四种典型情况



3. 发送方是**路由器**，要把 IP 数据报转发到**本网络上的一个主机**。  
这时用 ARP 找到目的主机的硬件地址。

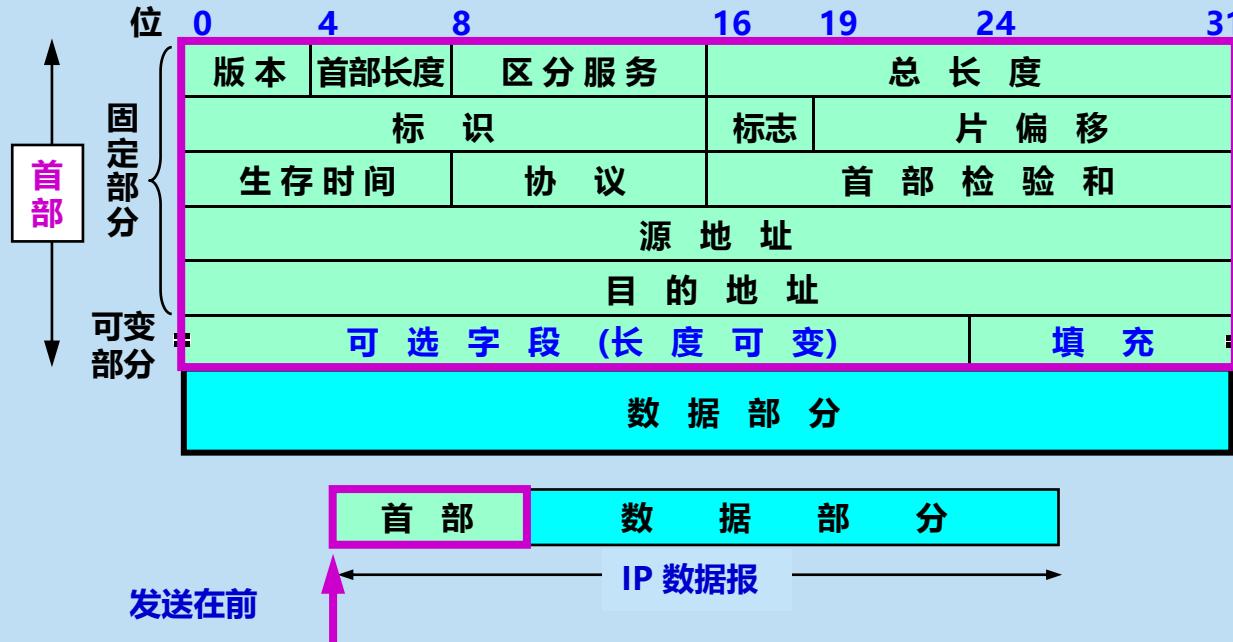
## 使用 ARP 的四种典型情况



4. 发送方是**路由器**，要把 IP 数据报转发到**另一个网络上的一个主机**。这时用 ARP 找到本网络上另一个路由器的硬件地址。剩下的工作由这个路由器来完成。

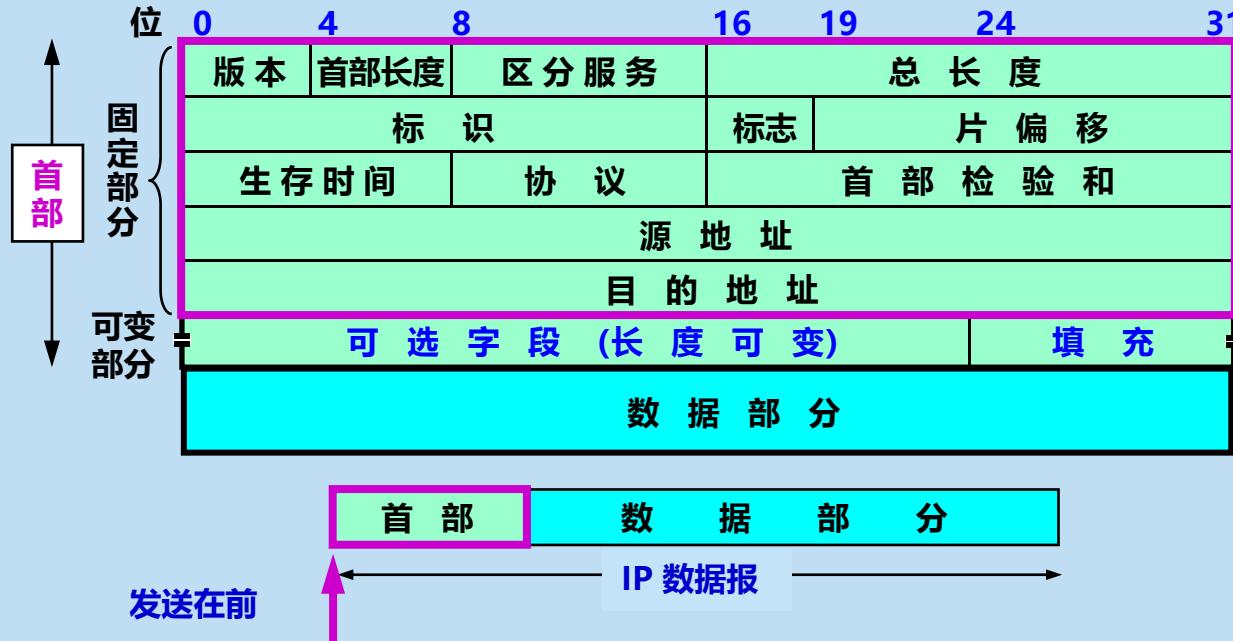
## 4.2.5 IP 数据报的格式

IP 数据报由**首部**和**数据**两部分组成



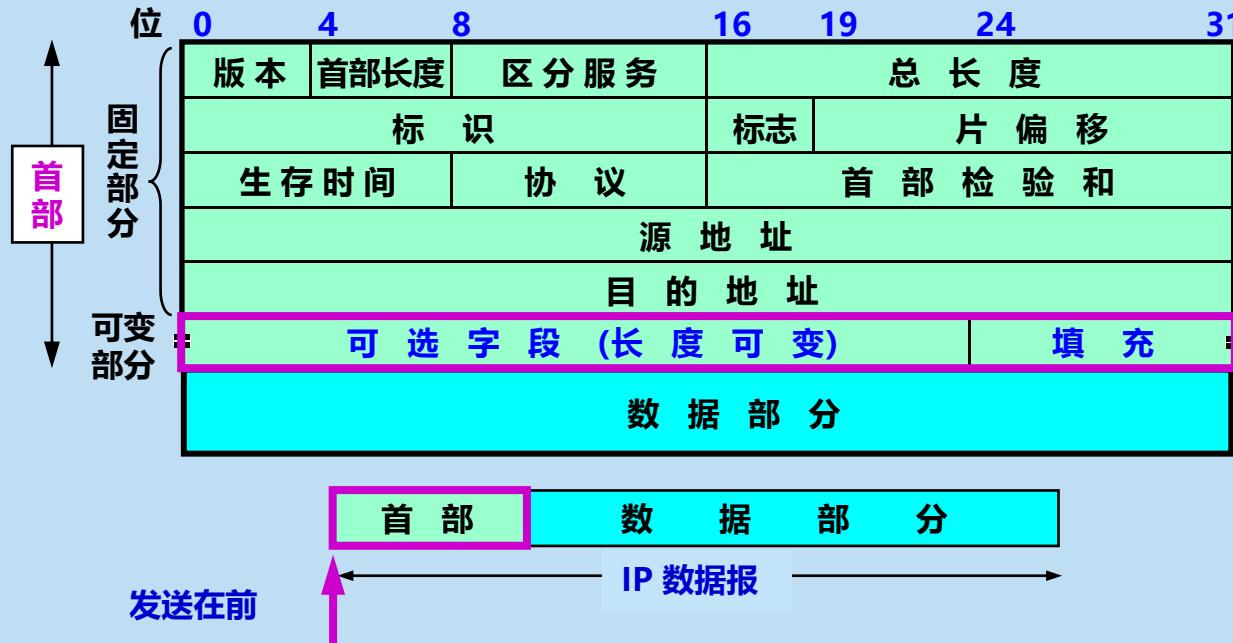
## 4.2.5 IP 数据报的格式

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。



## 4.2.5 IP 数据报的格式

可选字段，其长度是可变的



# 1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段



版本——占 4 位，指 IP 协议的版本。  
目前的 IP 协议版本号为 4 (即 IPv4)。

# 1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段



首部长度——占 4 位，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。

# 1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段



区分服务——占 8 位，用来获得更好的服务。  
只有在使用区分服务 (DiffServ) 时，这个字段才起作用。  
在一般的情况下都不使用这个字段

## 1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段



**总长度**——占 16 位，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。**

# 1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段



标识 (identification) ——占 16 位，  
它是一个计数器，用来产生 IP 数据报的标识。

# 1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段



标志(flag) ——占 3 位，目前只有前两位有意义。

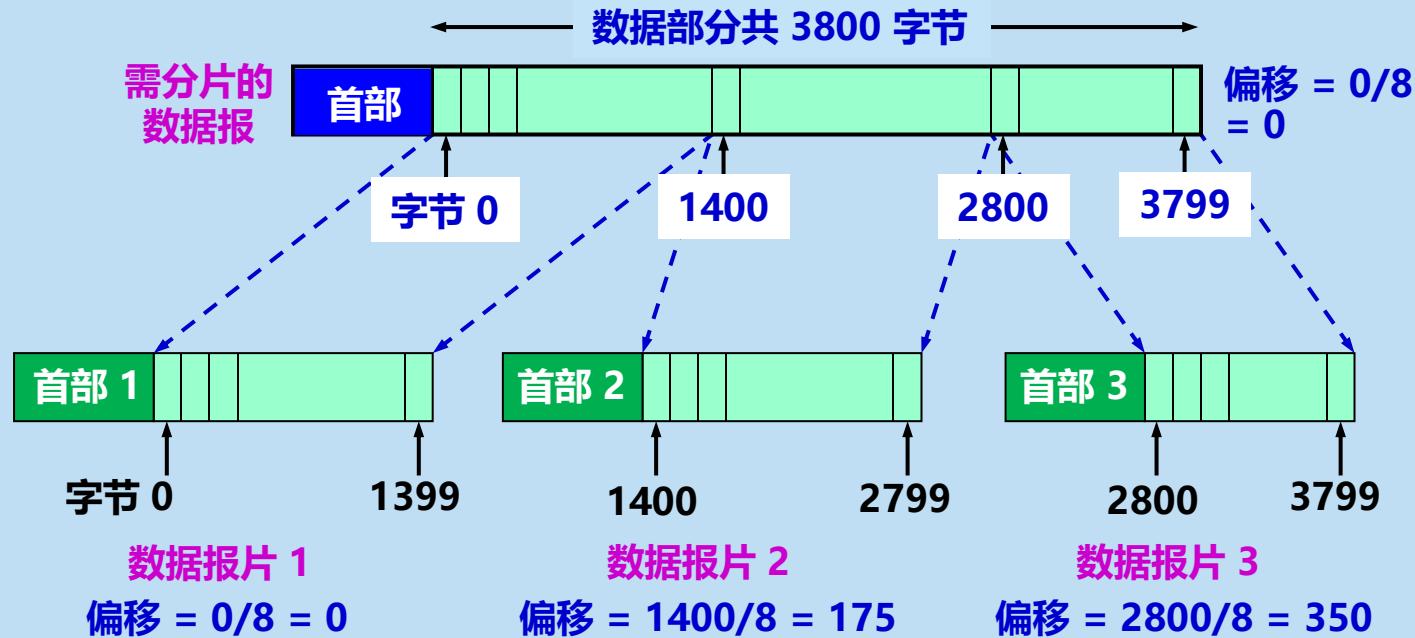
- 标志字段的最低位是 **MF** (More Fragment)。  
MF=1 表示后面还有分片，MF=0 表示最后一个分片。
- 标志字段中间的一位是 **DF** (Don't Fragment)。  
只有当 DF=0 时才允许分片。

# 1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段



片偏移——占 13 位，指出：较长的分组在分片后  
某片在原分组中的相对位置。  
片偏移以 8 个字节为偏移单位。

## 【例4-1】IP 数据报分片



## 【例4-1】IP 数据报分片

IP 数据报首部中与分片有关的字段中的数值

	总长度	标识	MF	DF	片偏移
原始数据报	3820	12345	0	0	0
数据报片1	1420	12345	1	0	0
数据报片2	1420	12345	1	0	175
数据报片3	1020	12345	0	0	350

# 1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段



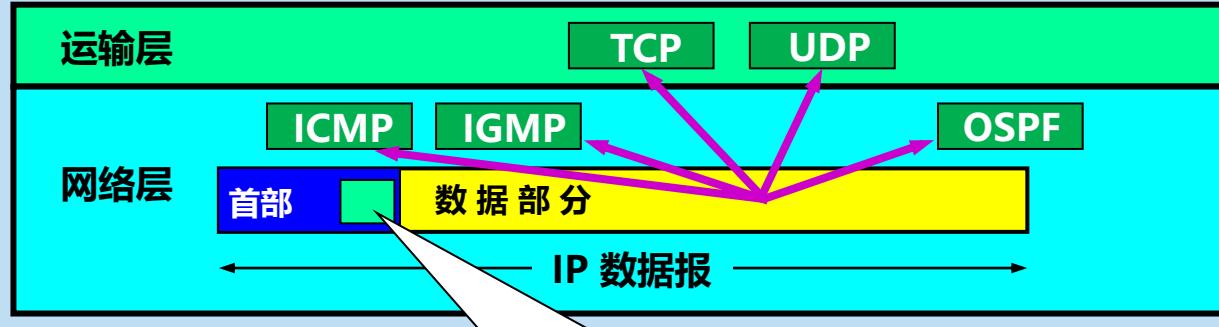
生存时间——占 8 位，记为 TTL (Time To Live)，  
指示数据报在网络中可通过的路由器数的最大值。

## 1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段



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 IP 层将数据部分上交给那个处理过程

IP 协议支持多种协议，IP 数据报可以封装多种协议 PDU。



协议字段指出应将数据部分交给哪一个进程

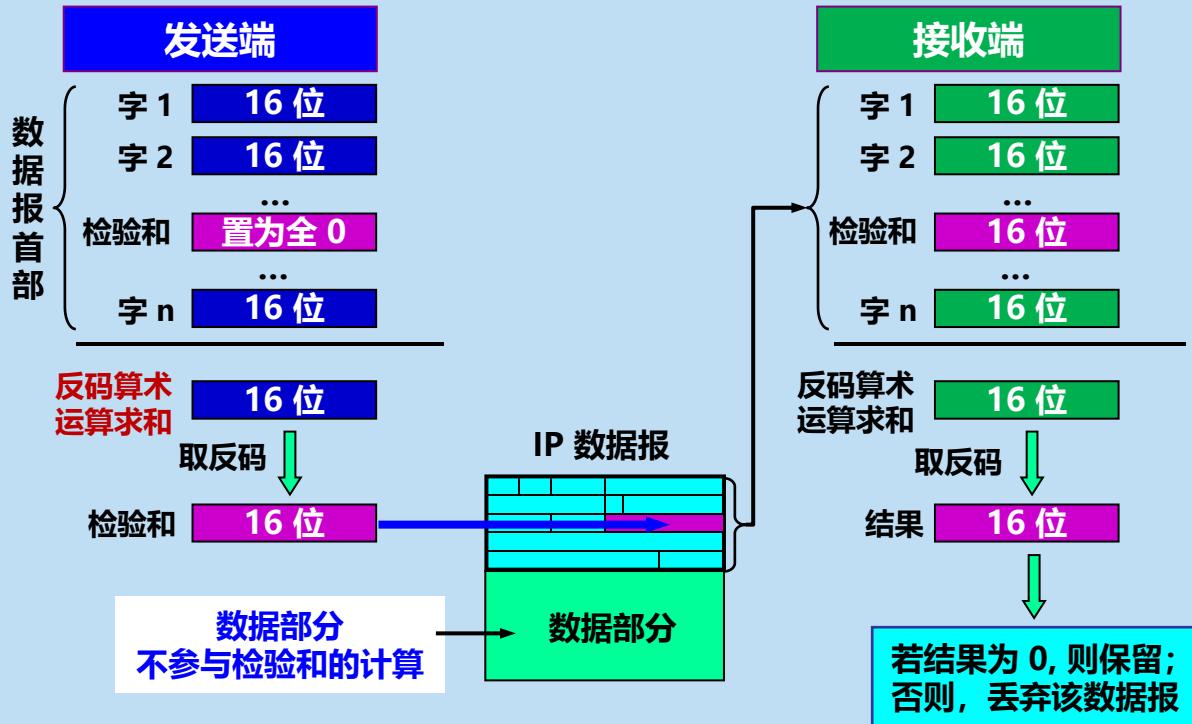
## 常用的一些协议和相应的协议字段值

协议名	ICMP	IGMP	IP	TCP	EGP	IGP	UDP	IPv6	ESP	AH	ICMP-IPv6	OSPF
协议字段值	1	2	4	6	8	9	17	41	50	51	58	89

## 1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段



首部检验和——占 16 位，只检验数据报的首部，  
不检验数据部分。这里不采用 CRC 检验码而采用简单的计算方法。



数据报每经过一个路由器，路由器都要重新计算一下首部检验和

# 1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段



源地址和目的地址都各占 32 位。

## 2. IP 数据报头部的可变部分

- IP 首部的可变部分就是一个选项字段，用来支持排错、测量以及安全等措施，内容很丰富。
- 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。
- 增加了 IP 数据报的功能，但这同时也使得 IP 数据报的首部长度成为可变的，增加了每一个路由器处理数据报的开销。
- 实际上这些选项很少被使用。

## 主要内容回顾

### 掌握：

- IP地址、MAC地址的含义
- IP地址到MAC地址的映射
- IP数据报格式

### 预习：

- IP分组的转发过程
- ICMP协议