



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

计算机网络经典教材系列

微课版（教学视频 教学课件PPT）

计算机网络

（第8版）

谢希仁 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
http://www.phei.com.cn



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

计算机网络经典教材系列

微课版（教学视频 教学课件PPT）

计算机网络

（第8版）

谢希仁 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书自 1989 年首次出版以来，曾多次修订。在 2006 年本书通过了教育部的评审，被纳入普通高等教育“十一五”国家级规划教材；2008 年出版的第 5 版获得了教育部 2009 年精品教材称号。2013 年出版的第 6 版是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。现在的第 8 版又在原有的基础上进行了一些修订。

全书分为 9 章，比较全面系统地介绍了计算机网络的发展和原理体系结构、物理层、数据链路层（包括局域网）、网络层、运输层、应用层、网络安全、互联网上的音频/视频服务，以及无线网络和移动网络等内容。各章均附有习题（附录 A 给出了部分习题的答案和提示）。全书课件放在电子工业出版社华信教育资源网（www.hxedu.com.cn），供读者下载参考。

本书的特点是概念准确、论述严谨、内容新颖、图文并茂，突出基本原理和基本概念的阐述，同时力图反映计算机网络的一些最新发展。本书可供电气信息类和计算机类专业的大学本科生和研究生使用，对从事计算机网络工作的工程技术人员也有参考价值。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

计算机网络 / 谢希仁编著. —8 版. —北京：电子工业出版社，2021.6
ISBN 978-7-121-41174-8

I. ①计... II. ①谢... III. ①计算机网络—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2021）第 090476 号

责任编辑：郝志恒 牛晓丽

印 刷：保定市中画美凯印刷有限公司

装 订：保定市中画美凯印刷有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱

邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：30.25 字数：774 千字

版 次：1989 年 11 月第 1 版

2021 年 6 月第 8 版

印 次：2021 年 6 月第 1 次印刷

印 数：1~150000 册

定 价：59.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：QQ 1098545482。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 计算机网络在信息时代中的作用	1
1.2 互联网概述	3
1.2.1 网络的网络	3
1.2.2 互联网基础结构发展的三个阶段	5
1.2.3 互联网的标准化工作	8
1.3 互联网的组成	9
1.3.1 互联网的边缘部分	10
1.3.2 互联网的核心部分	12
1.4 计算机网络在我国的发展	17
1.5 计算机网络的类别	19
1.5.1 计算机网络的定义	19
1.5.2 几种不同类别的计算机网络	19
1.6 计算机网络的性能	21
1.6.1 计算机网络的性能指标	21
1.6.2 计算机网络的非性能特征	26
1.7 计算机网络体系结构	27
1.7.1 计算机网络体系结构的形成	27
1.7.2 协议与划分层次	29
1.7.3 具有五层协议的体系结构	31
1.7.4 实体、协议、服务和访问点	34
1.7.5 TCP/IP 的体系结构	36
本章的重要概念	38
习题	39
第 2 章 物理层	42
2.1 物理层的基本概念	42
2.2 数据通信的基础知识	43
2.2.1 数据通信系统的模型	43
2.2.2 有关信道的几个基本概念	44
2.2.3 信道的极限容量	46
2.3 物理层下面的传输媒体	48
2.3.1 导引型传输媒体	48
2.3.2 非导引型传输媒体	52
2.4 信道复用技术	56
2.4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用	56
2.4.2 波分复用	59
2.4.3 码分复用	60

2.5	数字传输系统	61
2.6	宽带接入技术	63
2.6.1	ADSL 技术	63
2.6.2	光纤同轴混合网 (HFC 网)	66
2.6.3	FTTx 技术	67
	本章的重要概念	69
	习题	70
第 3 章	数据链路层	71
3.1	数据链路层的几个共同问题	72
3.1.1	数据链路和帧	72
3.1.2	三个基本问题	73
3.2	点对点协议 PPP	78
3.2.1	PPP 协议的特点	78
3.2.2	PPP 协议的帧格式	80
3.2.3	PPP 协议的工作状态	82
3.3	使用广播信道的数据链路层	84
3.3.1	局域网的数据链路层	84
3.3.2	CSMA/CD 协议	87
3.3.3	使用集线器的星形拓扑	92
3.3.4	以太网的信道利用率	94
3.3.5	以太网的 MAC 层	95
3.4	扩展的以太网	99
3.4.1	在物理层扩展以太网	99
3.4.2	在数据链路层扩展以太网	101
3.4.3	虚拟局域网	104
3.5	高速以太网	106
3.5.1	100BASE-T 以太网	106
3.5.2	吉比特以太网	107
3.5.3	10 吉比特以太网(10GbE)和更快的以太网	108
3.5.4	使用以太网进行宽带接入	110
	本章的重要概念	111
	习题	112
第 4 章	网络层	115
4.1	网络层的几个重要概念	115
4.1.1	网络层提供的两种服务	115
4.1.2	网络层的两个层面	117
4.2	网际协议 IP	119
4.2.1	虚拟互连网络	119
4.2.2	IP 地址	122
4.2.3	IP 地址与 MAC 地址	130
4.2.4	地址解析协议 ARP	133

4.2.5 IP 数据报的格式.....	136
4.3 IP 层转发分组的过程.....	140
4.3.1 基于终点的转发.....	140
4.3.2 最长前缀匹配.....	142
4.3.3 使用二叉线索查找转发表.....	144
4.4 网际控制报文协议 ICMP.....	146
4.4.1 ICMP 报文的种类.....	146
4.4.2 ICMP 的应用举例.....	148
4.5 IPv6.....	149
4.5.1 IPv6 的基本首部.....	150
4.5.2 IPv6 的地址.....	152
4.5.3 从 IPv4 向 IPv6 过渡.....	155
4.5.4 ICMPv6.....	156
4.6 互联网的路由选择协议.....	157
4.6.1 有关路由选择协议的几个基本概念.....	157
4.6.2 内部网关协议 RIP.....	159
4.6.3 内部网关协议 OSPF.....	164
4.6.4 外部网关协议 BGP.....	168
4.6.5 路由器的构成.....	175
4.7 IP 多播.....	179
4.7.1 IP 多播的基本概念.....	179
4.7.2 在局域网上进行硬件多播.....	180
4.7.3 网际组管理协议 IGMP 和多播路由选择协议.....	181
4.8 虚拟专用网 VPN 和网络地址转换 NAT.....	185
4.8.1 虚拟专用网 VPN.....	185
4.8.2 网络地址转换.....	188
4.9 多协议标签交换 MPLS.....	189
4.9.1 MPLS 的工作原理.....	190
4.9.2 MPLS 首部的位置与格式.....	193
4.9.3 新一代的 MPLS.....	193
4.10 软件定义网络 SDN 简介.....	194
本章的重要概念.....	200
习题.....	202
第 5 章 运输层.....	211
5.1 运输层协议概述.....	211
5.1.1 进程之间的通信.....	211
5.1.2 运输层的两个主要协议.....	213
5.1.3 运输层的端口.....	214
5.2 用户数据报协议 UDP.....	215
5.2.1 UDP 概述.....	215
5.2.2 UDP 的首部格式.....	217
5.3 传输控制协议 TCP 概述.....	219
5.3.1 TCP 最主要的特点.....	219

5.3.2 TCP 的连接	220
5.4 可靠传输的工作原理	221
5.4.1 停止等待协议	221
5.4.2 连续 ARQ 协议	224
5.5 TCP 报文段的首部格式	225
5.6 TCP 可靠传输的实现	229
5.6.1 以字节为单位的滑动窗口	229
5.6.2 超时重传时间的选择	233
5.6.3 选择确认 SACK	235
5.7 TCP 的流量控制	236
5.7.1 利用滑动窗口实现流量控制	236
5.7.2 TCP 的传输效率	237
5.8 TCP 的拥塞控制	238
5.8.1 拥塞控制的一般原理	238
5.8.2 TCP 的拥塞控制方法	241
5.8.3 主动队列管理 AQM	245
5.9 TCP 的运输连接管理	246
5.9.1 TCP 的连接建立	247
5.9.2 TCP 的连接释放	248
5.9.3 TCP 的有限状态机	250
本章的重要概念	251
习题	253
第 6 章 应用层	260
6.1 域名系统 DNS	261
6.1.1 域名系统概述	261
6.1.2 互联网的域名结构	262
6.1.3 域名服务器	264
6.2 文件传送协议	269
6.2.1 FTP 概述	269
6.2.2 FTP 的基本工作原理	269
6.2.3 简单文件传送协议 TFTP	271
6.3 远程终端协议 TELNET	271
6.4 万维网 WWW	272
6.4.1 万维网概述	272
6.4.2 统一资源定位符 URL	274
6.4.3 超文本传送协议 HTTP	276
6.4.4 万维网的文档	283
6.4.5 万维网的信息检索系统	288
6.4.6 博客和微博	290
6.4.7 社交网站	292
6.5 电子邮件	293
6.5.1 电子邮件概述	293
6.5.2 简单邮件传送协议 SMTP	296

6.5.3	电子邮件的信息格式	298
6.5.4	邮件读取协议 POP3 和 IMAP	298
6.5.5	基于万维网的电子邮件	300
6.5.6	通用互联网邮件扩充 MIME	300
6.6	动态主机配置协议 DHCP	304
6.7	简单网络管理协议 SNMP	306
6.7.1	网络管理的基本概念	306
6.7.2	管理信息结构 SMI	308
6.7.3	管理信息库 MIB	311
6.7.4	SNMP 的协议数据单元和报文	313
6.8	应用进程跨越网络的通信	316
6.8.1	系统调用和应用编程接口	316
6.8.2	几种常用的系统调用	318
6.9	P2P 应用	320
6.9.1	具有集中目录服务器的 P2P 工作方式	320
6.9.2	具有全分布式结构的 P2P 文件共享程序	322
6.9.3	P2P 文件分发的分析	324
6.9.4	在 P2P 对等方中搜索对象	325
	本章的重要概念	328
	习题	330
第 7 章	网络安全	334
7.1	网络安全问题概述	334
7.1.1	计算机网络面临的安全性威胁	334
7.1.2	安全的计算机网络	336
7.1.3	数据加密模型	337
7.2	两类密码体制	338
7.2.1	对称密钥密码体制	338
7.2.2	公钥密码体制	339
7.3	鉴别	341
7.3.1	报文鉴别	341
7.3.2	实体鉴别	346
7.4	密钥分配	348
7.4.1	对称密钥的分配	348
7.4.2	公钥的分配	350
7.5	互联网使用的安全协议	352
7.5.1	网络层安全协议	353
7.5.2	运输层安全协议	357
7.5.3	应用层安全协议	362
7.6	系统安全: 防火墙与入侵检测	364
7.6.1	防火墙	364
7.6.2	入侵检测系统	365
7.7	一些未来的发展方向	366
	本章的重要概念	366

习题	368
第 8 章 互联网上的音频/视频服务	370
8.1 概述	370
8.2 流式存储音频/视频	374
8.2.1 具有元文件的万维网服务器	375
8.2.2 媒体服务器	375
8.2.3 实时流式协议 RTSP	378
8.3 交互式音频/视频	379
8.3.1 IP 电话概述	379
8.3.2 IP 电话所需要的几种应用协议	383
8.3.3 实时运输协议 RTP	384
8.3.4 实时运输控制协议 RTCP	386
8.3.5 H.323	387
8.3.6 会话发起协议 SIP	388
8.4 改进“尽最大努力交付”的服务	390
8.4.1 使互联网提供服务质量	390
8.4.2 调度和管制机制	392
8.4.3 综合服务 IntServ 与资源预留协议 RSVP	395
8.4.4 区分服务 DiffServ	398
本章的重要概念	400
习题	401
第 9 章 无线网络和移动网络	405
9.1 无线局域网 WLAN	405
9.1.1 无线局域网的组成	406
9.1.2 802.11 局域网的物理层	411
9.1.3 802.11 局域网的 MAC 层协议	412
9.1.4 802.11 局域网的 MAC 帧	418
9.2 无线个人区域网 WPAN	422
9.3 蜂窝移动通信网	425
9.3.1 蜂窝无线通信技术的发展简介	425
9.3.2 LTE 网络与互联网的连接	432
9.4 移动 IP	436
9.4.1 移动 IP 的基本概念	436
9.4.2 移动网络对高层协议的影响	440
9.5 移动通信的展望	440
本章的重要概念	441
习题	443
附录 A 部分习题的解答	445
附录 B 英文缩写词	461
附录 C 参考文献与网址	472

第一个问题就是下一节所要讲的内容，而第二个问题将在后面的 4.5 节详细讨论。

4.2.4 地址解析协议 ARP

在实际应用中，我们经常会遇到这样的问题：已经知道了一个机器（主机或路由器）的 IP 地址，需要找出其相应的 MAC 地址。地址解析协议 ARP [RFC 826, STD37]就是用来解决这样的问题的。图 4-17 说明了协议 ARP 的作用。

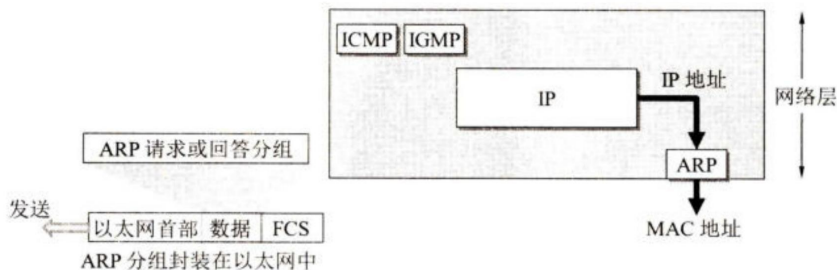


图 4-17 协议 ARP 的作用

还有一个旧的协议叫作逆地址解析协议 RARP，它的作用是使只知道自己 MAC 地址的主机能够通过协议 RARP 找出其 IP 地址。现在的协议 DHCP（见第 6 章的 6.6 节）已经包含了协议 RARP 的功能。因此本书不再介绍协议 RARP。

下面就介绍协议 ARP 的要点。

我们知道，网络层使用的是 IP 地址，但在实际网络的链路上传送数据帧时，最终还是必须使用链路层的 MAC 地址。IP 地址和下面链路层的 MAC 地址之间由于格式不同而不存在简单的映射关系（例如，IP 地址有 32 位，而链路层的 MAC 地址是 48 位）。此外，在一个网络上可能经常会有新的主机加入进来，或撤走一些主机。更换网络适配器也会使主机的 MAC 地址改变（请注意，主机的 MAC 地址实际上就是其网络适配器的 MAC 地址）。地址解析协议 ARP 解决这个问题的方法是在主机的 ARP 高速缓存中存放一个从 IP 地址到 MAC 地址的映射表，并且这个映射表还经常动态更新（新增或超时删除）。

每一台主机都设有一个 ARP 高速缓存(ARP cache)，里面存有本局域网上的各主机和路由器的 IP 地址到 MAC 地址的映射表，这些都是该主机目前知道的一些 MAC 地址。那么主机怎样知道这些 MAC 地址呢？我们可以通过下面的例子来说明。

当主机 A 要向本局域网上的某台主机 B 发送 IP 数据报时，就先在其 ARP 高速缓存中查看有无主机 B 的 IP 地址。如有，就在 ARP 高速缓存中查出其对应的 MAC 地址，再把把这个 MAC 地址写入 MAC 帧，然后通过局域网把该 MAC 帧发往此 MAC 地址。

也有可能查不到主机 B 的 IP 地址。这可能是主机 B 才入网，也可能是主机 A 刚刚加电，其高速缓存还是空的。在这种情况下，主机 A 就自动运行 ARP，然后按以下步骤找出主机 B 的 MAC 地址。

(1) ARP 进程在本局域网广播发送一个 ARP 请求分组（具体格式可参阅[COME06]的第 23 章）。图 4-18(a)是主机 A 广播发送 ARP 请求分组的示意图。ARP 请求分组的主要内容是：“我的 IP 地址是 209.0.0.5，MAC 地址是 00-00-C0-15-AD-18。我想知道 IP 地址为 209.0.0.6 的主机的 MAC 地址。”

(2) 在本局域网上的所有主机上运行的 ARP 进程都收到此 ARP 请求分组。

(3) 主机 B 的 IP 地址与 ARP 请求分组中要查询的 IP 地址一致，就收下这个 ARP 请求分组，并向主机 A 发送 ARP 响应分组，同时在这个 ARP 响应分组中写入自己的 MAC 地址。由于其余所有主机的 IP 地址都与 ARP 请求分组中要查询的 IP 地址不一致，因此都不理睬这个 ARP 请求分组，如图 4-18(b)所示。ARP 响应分组的主要内容是：“我的 IP 地址是 209.0.0.6，我的 MAC 地址是 08-00-2B-00-EE-0A。”请注意：虽然 ARP 请求分组是广播发送的，但 ARP 响应分组是普通的单播，即从一个源地址发送到一个目的地址。

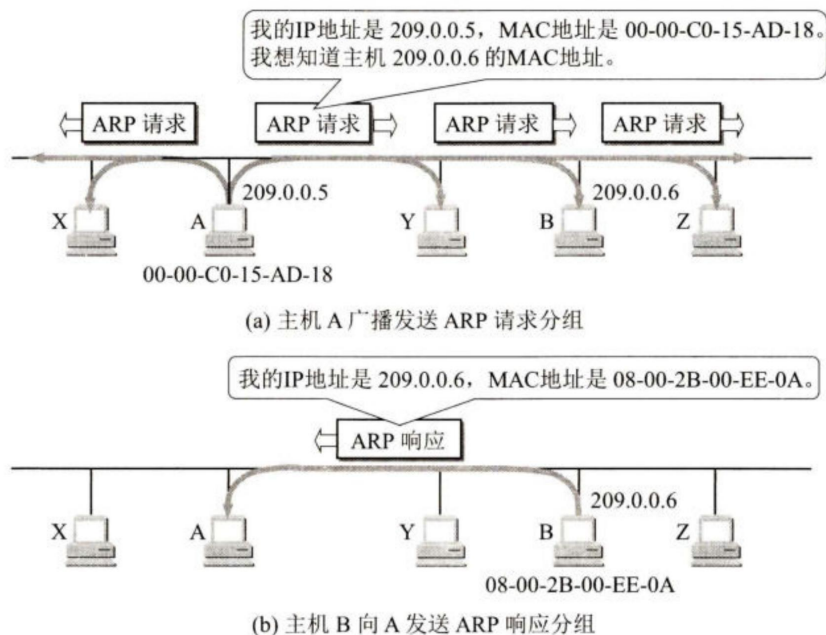


图 4-18 地址解析协议 ARP 的工作原理

(4) 主机 A 收到主机 B 的 ARP 响应分组后，就在其 ARP 高速缓存中写入主机 B 的 IP 地址到 MAC 地址的映射。

当主机 A 向 B 发送数据报时，很可能以后不久主机 B 还要向 A 发送数据报，因而主机 B 也可能要向 A 发送 ARP 请求分组。为了减少网络上的通信量，主机 A 在发送其 ARP 请求分组时，就把自己的 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，就把主机 A 的这一地址映射写入主机 B 自己的 ARP 高速缓存中。以后主机 B 向 A 发送数据报时就很方便了。

可见 ARP 高速缓存非常有用。如果不使用 ARP 高速缓存，那么任何一台主机只要进行一次通信，就必须在网络上用广播方式发送 ARP 请求分组，这就会使网络上的通信量大大增加。ARP 把已经得到的地址映射保存在高速缓存中，这样就使得该主机下次再和具有同样目的地址的主机通信时，可以直接从高速缓存中找到所需的 MAC 地址而不必再用广播方式发送 ARP 请求分组。

ARP 对保存在高速缓存中的每一个映射地址项目都设置生存时间（例如，10 ~ 20 分钟）。凡超过生存时间的项目就从高速缓存中删除掉。设置这种地址映射项目的生存时间是很重要的。设想有一种情况：主机 A 和 B 通信。A 的 ARP 高速缓存里保存有 B 的 MAC 地址，但 B 的网络适配器突然坏了，B 立即更换了一块，因此 B 的 MAC 地址就改变了。假

定 A 还要和 B 继续通信。A 在其 ARP 高速缓存中查找到 B 原先的 MAC 地址，并使用该 MAC 地址向 B 发送数据帧。但 B 原先的 MAC 地址已经失效了，因此 A 无法找到主机 B。但是过了一段不长的生存时间，A 的 ARP 高速缓存中已经删除了 B 原先的 MAC 地址，于是 A 重新广播发送 ARP 请求分组，又找到了 B。

请注意，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。如果所要找的主机和源主机不在同一个局域网，例如，在前面的图 4-16 中，主机 H_1 就无法解析出另一个局域网上的主机 H_2 的 MAC 地址（实际上主机 H_1 也不需要知道远程主机 H_2 的 MAC 地址）。主机 H_1 发送给 H_2 的 IP 数据报首先需要通过与主机 H_1 连接在同一个局域网上的路由器 R_1 来转发，因此主机 H_1 必须知道路由器 R_1 的 IP 地址。于是 H_1 使用 ARP 把路由器 R_1 的 IP 地址 IP_3 解析为 MAC 地址 MAC_3 ，然后把 IP 数据报传送到路由器 R_1 。以后， R_1 从转发表知道应把 IP 数据报转发到路由器 R_2 ，再使用 ARP 解析出 R_2 的 MAC 地址 MAC_5 ，把 IP 数据报转发到路由器 R_2 。路由器 R_2 用同样方法解析出目的主机 H_2 的 MAC 地址 MAC_2 ，使 IP 数据报最终交付主机 H_2 。

从 IP 地址到 MAC 地址的解析是自动进行的，主机的用户对这种地址解析过程是不知道的。只要主机或路由器要和本网络上的另一个已知 IP 地址的主机或路由器进行通信，协议 ARP 就会自动地把这个 IP 地址解析为链路层所需要的 MAC 地址，然后插入到 MAC 帧中。

下面我们归纳出使用 ARP 的四种典型情况（如图 4-19 所示）。

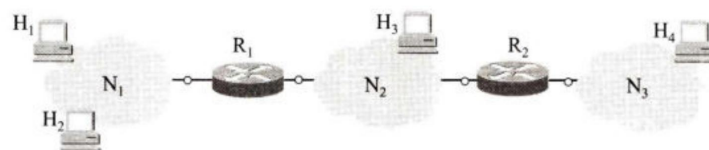


图 4-19 使用 ARP 的四种典型情况

(1) 发送方是主机（如 H_1 ），要把 IP 数据报发送到同一个网络上的另一台主机（如 H_2 ）。这时 H_1 发送 ARP 请求分组（在网络 N_1 上广播），找到目的主机 H_2 的 MAC 地址。

(2) 发送方是主机（如 H_1 ），要把 IP 数据报发送到另一个网络上的一台主机（如 H_3 或 H_4 ）。这时 H_1 发送 ARP 请求分组（在网络 N_1 上广播），找到 N_1 上的一个路由器 R_1 的 MAC 地址。剩下的工作由路由器 R_1 来完成。 R_1 要做的事情是下面的(3)或(4)。

(3) 发送方是路由器（如 R_1 ），要把 IP 数据报转发到与 R_1 连接在同一个网络 N_2 上的主机（如 H_3 ）。这时 R_1 发送 ARP 请求分组（在 N_2 上广播），找到目的主机 H_3 的 MAC 地址。

(4) 发送方是路由器（如 R_1 ），要把 IP 数据报转发到网络 N_3 上的一台主机（如 H_4 ）。 H_4 与 R_1 不是连接在同一个网络上的。这时 R_1 发送 ARP 请求分组（在 N_2 上广播），找到连接在 N_2 上的一个路由器 R_2 的 MAC 地址。剩下的工作由这个路由器 R_2 来完成。

在许多情况下需要多次使用 ARP，但这只是以上几种情况的反复使用而已。

有的读者可能会产生这样的问题：既然在网络链路上传送的帧最终是按照 MAC 地址找到目的主机的，那么为什么我们还要使用两种地址（IP 地址和 MAC 地址），而不直接使用 MAC 地址进行通信？只用一个 MAC 地址进行通信似乎可以免除使用 ARP。

这个问题必须弄清楚。

由于全世界存在着各式各样的网络，它们使用不同的 MAC 地址。要使这些异构网络

能够互相通信就必须进行非常复杂的 MAC 地址转换工作，因此由用户或用户主机来完成这项工作几乎是不可能的事。即使是对分布在全世界的以太网 MAC 地址进行寻址，也是极其困难的。然而 IP 编址把这个复杂问题解决了。连接到互联网的主机只需各自拥有一个 IP 地址，它们之间的通信就像连接在同一个网络上那样简单方便，即使必须多次调用 ARP 来找到 MAC 地址，但这个过程都是由计算机软件自动进行的，对用户来说是看不见的。

因此，在虚拟的 IP 网络上用 IP 地址进行通信给广大的计算机用户带来了很大的方便。

4.2.5 IP 数据报的格式

IP 数据报的格式说明协议 IP 都具有什么功能。在协议 IP 的标准中，描述首部格式的宽度是 32 位（即 4 字节）。图 4-20 是 IP 数据报的完整格式 [RFC 791, STD5]。

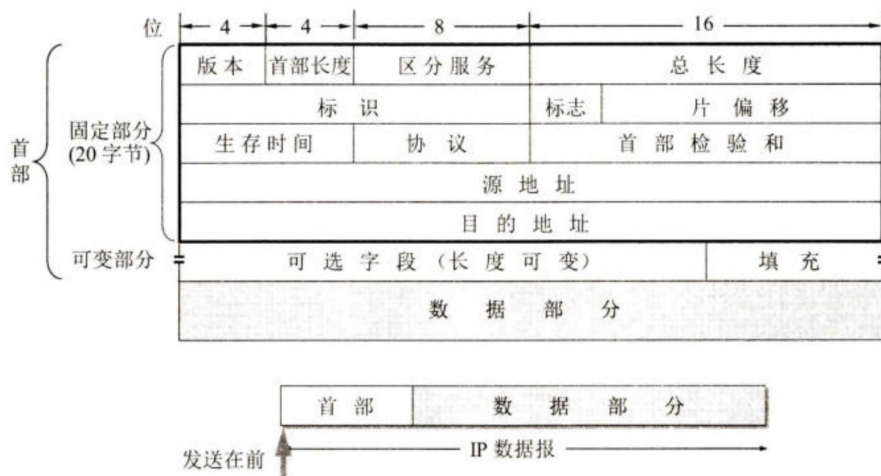


图 4-20 IP 数据报的格式

从图 4-20 可看出，一个 IP 数据报由首部和数据两部分组成。首部的前一部分长度是固定的，共 20 字节，是所有 IP 数据报必须具有的。在首部的固定部分的后面是一些可选字段，其长度是可变的。下面介绍首部各字段的意义。

1. IP 数据报首部的固定部分中的各字段

(1) **版本** 占 4 位，指协议 IP 的版本。通信双方使用的协议 IP 的版本必须一致。这里讨论的协议 IP 版本号为 4（即 IPv4）。关于 IPv6（即版本 6 的协议 IP），我们将在后面的 4.5 节讨论。

(2) **首部长度** 占 4 位，可表示的最大十进制数值是 15。请注意，首部长度字段所表示数的单位是 32 位字长（1 个 32 位字长是 4 字节）。因为 IP 首部的固定部分是 20 字节，因此首部长度字段的最小值是 5（即二进制表示的首部长度是 0101）。而当首部长度字段为最大值 1111 时（即十进制的 15），就表明首部长度达到最大值——15 个 32 位字长，即 60 字节。当 IP 分组的首部长度不是 4 字节的整数倍时，必须利用最后的填充字段加以填充。因此 IP 数据报的数据部分永远在 4 字节的整数倍时开始，这样在实现协议 IP 时较为方便。首部长度限制为 60 字节的缺点是有可能不够用，但这样做是希望用户尽量减少开销。最常用的首部长度是 20 字节，不使用任何可选字段。

计算机网络经典教材系列



陆续出版中……



第7版视频讲解
微信扫码，即可观看



计算机网络**教师**沟通群 (QQ)
教师交流，资源共享，与作者和编辑互动



责任编辑：郝志恒 牛晓丽
责任美编：秦 靖
交流投稿请联系QQ：9616328 1098545482



定价：59.80元