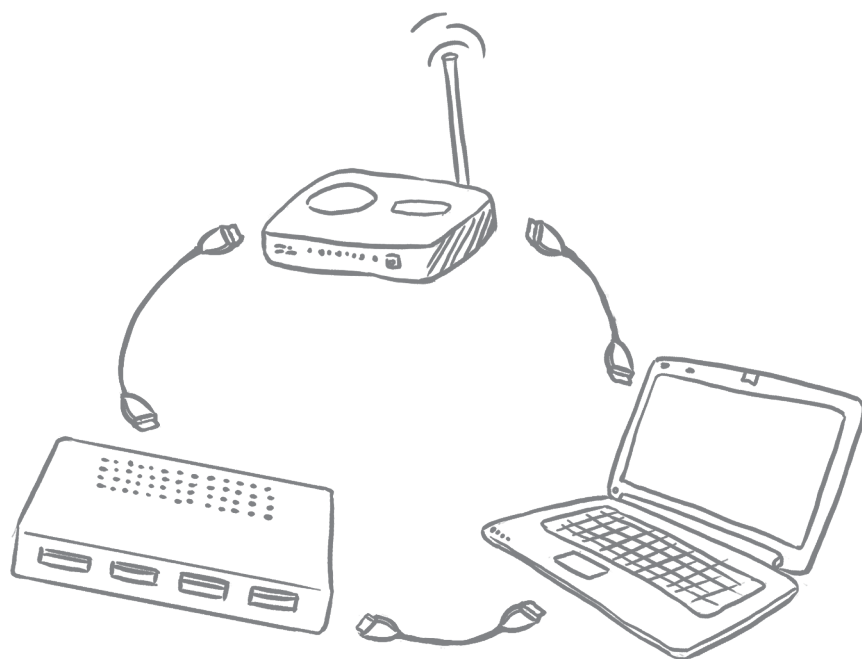


**TURING**  
图灵程序  
设计丛书

# 图解网络硬件

[日] 三轮贤一 著  
盛荣 译



人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

图解网络硬件 / (日) 三轮贤一著; 盛荣译. --  
北京: 人民邮电出版社, 2014.8

(图灵程序设计丛书)

ISBN 978-7-115-36036-6

I. ①图… II. ①三… ②盛… III. ①计算机网络—  
硬件—图解 IV. ①TP393-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 127302 号

*PURO NO TAMENO ZUKAI NETWORK KIKI NYUMON* by Kenichi Miwa

Copyright © 2012 Kenichi Miwa

All rights reserved.

Original Japanese edition published by Gijyutsu-Hyoron Co., Ltd., Tokyo

This Simplified Chinese language edition published by arrangement with  
Gijyutsu-Hyoron Co., Ltd., Tokyo in care of Tuttle-Mori Agency, Inc., Tokyo

本书中文简体字版由 Gijyutsu-Hyoron Co., Ltd. 授权人民邮电出版社独家出版。未经出版者书面  
许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有, 侵权必究。

## 内 容 提 要

本书详细介绍了网络硬件的相关知识。在对硬件设备、相关技术及规范详尽考据的同时, 侧重实践, 重点介绍了在实际网络建设工程中使用的硬件设备, 辅以丰富的图例, 使网络硬件的真实情况一目了然, 并深入浅出地解释了复杂的网络术语, 因此对于想了解实际网络设备的读者来说是不可或缺的参考资料, 也可作为大学课程《计算机网络》的扩展读物。本书还介绍了大量非思科设备和数据通信领域的知识, 对于学习 CCNA、CCIE 等的读者和相关工程技术人员也很具有参考价值。

---

◆ 著 [日] 三轮贤一

译 盛 荣

责任编辑 乐 馨

执行编辑 高宇涵

责任印制 焦志伟

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京 印刷

◆ 开本: 800×1000 1/16

印张: 23.5

字数: 522 千字

2014 年 8 月第 1 版

印数: 1-5 000 册

2014 年 8 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2013-4379 号

---

定价: 69.00 元

读者服务热线: (010)51095186 转 600 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

## 译者序

---

众所周知，IT 行业是一个变化非常快的行业，计算机网络作为其中的一个分支尤为明显，这一点从业内赫赫有名的思科公司网络工程师认证有效期只有短短两年便可见一斑。正是这飞速变化的特性，导致网络硬件设备的更新换代也日新月异、千变万化，从而让很多初学者在学习了基本网络原理后，对实际的计算机网络依然是一知半解，尤其是对其中各类网络硬件设备的认识更是犹如浮光掠影，这同初学者深入掌握计算机网络技术的殷切期望形成了巨大的矛盾。

学习技术的道路上没有所谓的银弹，相信本书能够在很大程度上解决这个矛盾，帮助读者扫清学习计算机网络技术时遇到的某些障碍。

技术无国界，本书作者三轮贤一曾从事 ATM 交换设备中 TCP/IP 模块的开发，长期在硅谷网络设备公司日本分公司任职，是一名资深的业内人士。同其他介绍计算机网络知识的图书相比，本书在谋篇布局上以 OSI 网络七层模型中各层所涉及的硬件设备为主线，依次介绍了在实际组网工程中使用的各个硬件设备——交换机、路由器、防火墙等，还使用了一个章节的篇幅介绍了网络硬件设备在采购、运维方面的注意事项，层次分明、具体真实，不再“故弄玄虚”；在叙述的方式方法上，本书不但通过大量实物照片、详实参数、图表等充分还原了那些在计算机网络原理中提到的种种“理论”网络设备，而且在其中大量穿插介绍了各类设备所涉及的进阶网络基础知识和概念，如 VPN、QoS、OSPF、RIP、MPLS 等，理论结合实践，不再“纸上谈兵”；除此之外，本书还有一个特色是作者在对每一类硬件设备展开介绍之前，总会用相当的篇幅来回顾一下该类设备的发展历史，不惜笔墨地介绍该类设备的技术沿革和所涉及的重要人物、公司及标志性历史事件，在帮助读者了解计算机网络技术发展来龙去脉的同时，也让读者慢慢体会到本书在非技术角度所反映出的历史人文底蕴，同单纯刻板介绍计算机网络设备的认证教材、快速建网指南等书籍有着本质的不同。

综上所述，本书适合以下读者群体：

1. 对于学习了计算机网络原理，想了解计算机网络真实设备情况的读者来说是不可或缺的参考资料，也可作为大学课程《计算机网络》的扩展读物。
2. 对于学习 CCNA、CCIE 等的读者来说是锦上添花的辅助读物。
3. 对于从事计算机网络设备开发、测试、采购等相关工作的工程技术人员而言，也非常具有参考价值。

译者在从事了多年网络设备的开发和测试工作后，非常有幸能够翻译这么一本書籍。与此同

时也由衷感叹，我国在计算机网络工程实践的技术方面，尤其在我国计算机网络硬件设备已经颇具国际竞争力的今天，非常缺乏本书这类的书籍。由于原作者的局限性，本书对我国现网中普遍使用的华为、中兴、H3C 等公司生产的计算机网络硬件设备几乎只字未提，这一点不得不说非常遗憾，不过译者也相信在不久的将来会有类似的书籍能够弥补这一空缺。

译者能力、精力有限，本书若有错误之处，望各位读者及时指出，不胜感激。

最后，译者非常感谢在翻译本书过程中，妻子所给予的默默支持！

盛荣

2014 年 5 月

# 前言

---

随着互联网的普及，在企业的 IT 部门以及系统集成商中专门从事计算机网络工作的工程师越来越多。

目前，市面上介绍计算机网络技术的书籍，几乎都是类似《简单的计算机网络入门》这种适合那些对网络一无所知的初学者的入门书，或者是《深入学习 TCP/IP 网络》这种介绍 TCP/IP 技术及协议规范的书籍。这类书有助于初学者从网络用户或管理员的视角来思考，建立必要的知识体系，因此一般被用作学校教材或自学读本。

但是在企业中实际使用计算机网络时，除了需要掌握基础知识以外，还需要进一步了解计算机网络硬件的采购、配置、设置、使用管理等相关知识。在过去的 10~20 年里，计算机网络硬件不断地更新换代，研发、支持的功能越来越多，产品操作手册也越来越厚，但术语的解释说明却仍旧匮乏，读者仅靠听课或自学是很难读懂这些手册的。

因此，为了让那些有一定计算机网络基础的工程师掌握更加具有实践性的产品知识，本书将重点介绍作为网络构成要素的节点，即具体的网络设备。

因为网络硬件应用于不同的领域，所以本书将围绕以下要点来介绍各个产品的规格及功能：在该领域存在怎样的硬件产品、为什么需要这些硬件产品、这些产品的结构如何、这些产品有哪些规格和局限性等。

三轮贤一

2012 年 10 月

# 目录

## 第1章 网络硬件通用基础知识..... 1

01.01	网络的构成要素.....	2
01.01.01	网络有哪些构成要素.....	2
01.01.02	OSI参考模型复习.....	4
01.02	LAN和以太网.....	7
01.02.01	LAN的标准.....	7
01.02.02	以太网.....	10
01.03	以太网标准的数据处理.....	15
01.03.01	以太网上的数据.....	15
01.03.02	10BASE-T.....	16
01.03.03	100BASE-TX.....	17
01.03.04	1000BASE-T/1000BASE-TX.....	19
01.03.05	1000BASE-SX/LX.....	21
01.04	网络设备的构成要素.....	22
01.04.01	通用服务器与专用设备.....	22
01.04.02	分门别类的网络设备.....	23
01.04.03	CPU.....	24
01.04.04	存储设备.....	24
01.04.05	存储器.....	25
01.04.06	HDD/SSD.....	26
01.04.07	硬件芯片.....	28
01.04.08	接口.....	30
01.04.09	信号转换器.....	36
01.04.10	LED指示灯.....	38
01.04.11	操作系统(内核).....	39
01.04.12	电源.....	40
01.04.13	PSE(电气用品安全法).....	46
01.04.14	UPS.....	47
01.04.15	风扇.....	47
01.05	线缆与周边设备.....	50
01.05.01	双绞线缆.....	50
01.05.02	STP与UTP.....	50
01.05.03	光纤.....	51
01.05.04	机架.....	56

## 第2章 彻底理解L2交换机..... 61

02.01	中继器和网桥的不同点.....	62
-------	-----------------	----

02.01.01	什么是中继器	62
02.01.02	什么是网桥	62
02.01.03	共享式集线器	64
02.01.04	交换式集线器	65
02.01.05	学习 MAC 地址	66
02.01.06	使用交换机的优点	67
02.02	交换机是如何诞生的	68
02.02.01	以太网的历史	68
02.02.02	世界上最早的交换机	69
02.03	交换机中使用的数据帧及其传输方式	71
02.03.01	以太网数据帧的种类	71
02.03.02	交换机数据帧的传输方式	71
02.03.03	自适应交换	73
02.04	全双工和半双工	74
02.05	如何描述交换机的处理能力	76
02.06	交换机如何分类	77
02.06.01	按照交换机的功能分类	77
02.06.02	按照设备外形分类	78
02.06.03	根据用途分类	82
02.07	成为交换机性能指标的端口种类与数量	83
02.07.01	快速以太网( 10/100 )端口	84
02.07.02	千兆以太网端口( 10/100/1000 )端口	84
02.07.03	光纤专用端口( SFP/SFP+ )	84
02.07.04	PoE 端口	84
02.07.05	上行链路端口数	86
02.07.06	下行链路端口数	86
02.07.07	交换机堆叠	87
02.08	交换机搭载的其他功能	88
02.08.01	MAC 地址数	88
02.08.02	巨型帧	88
02.08.03	生成树功能	89
02.08.04	链路聚合	96
02.08.05	VLAN	97
02.08.06	端口镜像	97
02.08.07	QoS 优先级队列	98
02.08.08	MAC 地址过滤	99
02.08.09	基于端口的认证	100
02.08.10	网络管理	102
02.09	交换机架构	112
02.09.01	网络控制器( LAN 控制器 )	113
02.09.02	PHY 模块	113
02.09.03	MAC 模块	115
02.09.04	AUI 与 MII	116

<b>第3章 路由器和它庞大的功能</b>	<b>119</b>
03.01 何为路由器	120
03.01.01 路由器的必要性	120
03.01.02 什么是路由选择	120
03.01.03 转发	121
03.01.04 路由器的功能	122
03.02 路由器是如何诞生的	123
03.02.01 世界上最早的商用路由器	124
03.02.02 路由器性能的进化	127
03.03 路由器的分类	128
03.03.01 路由器设备	128
03.03.02 根据性能分类	129
03.03.03 面向电信运营商的路由器产品分类	132
03.03.04 面向企业的路由器产品分类	133
03.04 路由器产品目录说明	137
03.05 IP路由选择的基础知识	139
03.05.01 IP地址管理	139
03.05.02 IP路由选择	144
03.05.03 路由表	145
03.05.04 最长匹配与默认网关	145
03.05.05 静态路由选择	147
03.05.06 动态路由选择	147
03.05.07 IP隧道与VPN	154
03.05.08 IP多播	158
03.06 了解路由器搭载的各种附加功能	161
03.06.01 路由器功能的分类	161
03.06.02 支持TCP/IP以外的协议簇	161
03.06.03 LAN交换	162
03.06.04 支持LAN以外的物理层和数据链路层协议	163
03.06.05 拨号接入	168
03.06.06 冗余	169
03.06.07 认证	174
03.06.08 QoS	175
03.06.09 虚拟路由器	180
03.07 用于管理路由器的各种功能	181
03.07.01 用户界面	181
03.07.02 日志	182
03.07.03 确认CPU使用率	183
03.07.04 告警	183
03.07.05 设置时间	184
03.07.06 故障排查	184
03.07.07 文件传输控制	185
03.07.08 其他工具包	185



03.08	路由器的架构 .....	186
03.08.01	路由器的构成要素 .....	186
03.08.02	启动路由器的流程 .....	191
03.08.03	路由器的一般架构 .....	192
03.08.04	路由器的内部冗余 .....	198
03.09	设置操作系统时使用的命令和模式 .....	201
03.09.01	初始化 .....	201
03.09.02	通过CLI设置 .....	202
03.09.03	保存设置的方法 .....	204
03.09.04	恢复出厂设置的重置方法 .....	204

**第4章 理解L3交换机的性能与功能 ..... 207**

04.01	何为L3交换机 .....	208
04.01.01	L3交换机与路由器的不同 .....	209
04.01.02	多层交换 .....	213
04.02	L3交换机是如何诞生的 .....	217
04.03	L3交换机的分类 .....	219
04.03.01	根据形状和用途分类 .....	219
04.03.02	根据性能分类 .....	219
04.04	L3交换机搭载的特殊功能 .....	221
04.04.01	L3交换机功能的分类 .....	221
04.04.02	VLAN .....	222
04.04.03	VLAN环境中的数据流向 .....	230
04.04.04	VLAN之间的路由选择 .....	231

**第5章 防火墙功能与防范威胁的对策 ..... 233**

05.01	防火墙是怎样的网络硬件 .....	234
05.02	防火墙是如何诞生的 .....	235
05.03	防火墙如何分类 .....	238
05.03.01	软件型防火墙 .....	238
05.03.02	硬件型防火墙 .....	241
05.04	防火墙技术类型 .....	242
05.05	什么是防火墙的网络接口模式 .....	244
05.06	防火墙能够预防的威胁 .....	245
05.07	防火墙中搭载的各种功能 .....	247
05.07.01	会话管理 .....	247
05.07.02	分组结构解析 .....	254
05.07.03	安全区域 .....	256
05.07.04	安全策略 .....	258
05.07.05	NAT .....	262

05.07.06	VPN .....	266
05.07.07	DoS 防御 .....	278
05.07.08	防范基于分组的攻击 .....	281
05.07.09	基于内容的扫描 .....	282
05.07.10	监视、报告功能 .....	289
05.07.11	分组捕获 .....	290
05.07.12	虚拟路由器 .....	290
05.07.13	虚拟防火墙 .....	291
05.08	决定防火墙性能的要素 .....	291
05.08.01	同时在线会话数 .....	291
05.08.02	NAT 表数目 .....	291
05.08.03	每秒新建的会话数目 .....	292
05.09	同信息安全范畴相关的标准 .....	292
05.09.01	ISCA .....	292
05.09.02	FIPS .....	293
05.09.03	ISO/IEC 15408 (公共标准) .....	293

## 第6章 高速普及的无线 LAN 及其基础知识..... 295

06.01	无线 LAN 是如何诞生的? .....	296
06.02	理解无线 LAN 所需的基础知识 .....	298
06.02.01	CSMA/CA .....	298
06.02.02	无线 LAN 的架构 .....	298
06.02.03	无线 LAN 的拓扑结构 .....	299
06.03	各种各样的无线 LAN 标准 .....	301
06.03.01	IEEE 802.11 .....	303
06.03.02	IEEE 802.11a .....	303
06.03.03	IEEE 802.11b .....	304
06.03.04	IEEE 802.11g .....	304
06.03.05	IEEE 802.11n .....	304
06.03.06	IEEE 802.11ac .....	305
06.03.07	IEEE 802.11ad .....	305
06.03.08	Wi-Fi .....	305
06.04	无线 LAN 搭载的各种功能 .....	306
06.04.01	关联 .....	306
06.04.02	接入点的接入控制 .....	307
06.04.03	接入点的认证 .....	309
06.04.04	无线 LAN 通信的加密 .....	310
06.04.05	自治型接入点 .....	313
06.04.06	集中管理型接入点 .....	313
06.04.07	无线 LAN 的桥接 .....	314
06.04.08	中继器连接 .....	314
06.05	无线 LAN 通信速率与覆盖范围的要点 .....	315
06.05.01	无线 LAN 的最大通信速率 .....	315

06.05.02	覆盖范围	315
06.05.03	干涉	320
06.05.04	无线LAN信道	321
06.05.05	接入点的最大通信范围	324
06.06	无线LAN的接入点产品	326
06.06.01	产品规格书的阅读方法	326
06.06.02	无线LAN硬件的制造厂商	327

**第7章 网络硬件设备的选购要点 ..... 329**

07.01	选择产品的类别	330
07.02	基于功能需求汇总备选设备型号	331
07.03	网络硬件的采购流程	332
07.03.01	RFI与RFP	332
07.03.02	RFQ	334
07.04	根据性能选择产品的型号	335
07.04.01	收集同网络延迟相关的信息	335
07.04.02	网络设备产品性能的测量方法	338
07.04.03	交换机性能的考量方法	341
07.04.04	路由器性能的考量方法	344
07.04.05	防火墙性能的考量方法	344
07.04.06	无线LAN性能的考量方法	347
07.05	根据物理需求选择产品	349
07.05.01	交换机的选择	349
07.05.02	路由器的选择	352
07.05.03	防火墙产品的选择	353
07.06	确认网络设备的互操作性	353
07.07	高可用性的考量方法	354
07.08	价格相关的考量方法	355
07.08.01	端口单价	355
07.08.02	比特单价	356
07.08.03	学习成本	356
07.08.04	支持的费用	358
07.09	达到采购条件	359
07.09.01	绿色采购	359
07.09.02	符合RoHS要求	359
07.09.03	加密出口管理相关	360
07.10	售后支持相关的基础知识	360
07.10.01	网络硬件的维护	360
07.10.02	厂商保修	361
插图	参考/引用文献	363
照片	出处和提供方	364

## 本书出现的信息与通信硬件一览



客户端



集线器



交换机



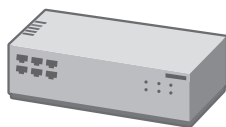
分布式交换机



核心交换机



家用路由器



路由器



防火墙



无线LAN接入点



服务器

# 第 1 章

## 网络硬件通用基础知识

---

本章将介绍所有网络<sup>①</sup>硬件通用的物理层标准——以太网的历史、标准种类及其实现方法。另外，还将进一步介绍 CPU、硬盘、电源、线缆等组成网络设备所需部件的相关知识。

---

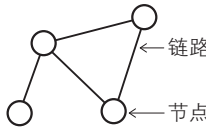
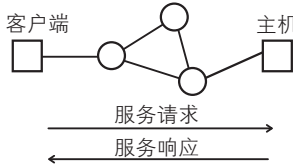
① 网络是一个很大的概念。本书所指的网络特指计算机网络，需要和传统的电信网络加以区分。下文中若无特别说明，网络均指计算机网络。——译者注

# 01.01 网络的构成要素

## 01.01.01 网络有哪些构成要素

构建网络所需的硬件一般包括交换机、路由器等网络硬件，以及个人计算机、服务器等计算机硬件，这些硬件统称为节点，节点之间可以通过链路进行连接（表 1-1）。

表 1-1 网络的构成要素

节点（node）	计算机、交换机、路由器等构成网络的硬件均可称为通信节点	
链路（link）	泛指将各个节点进行连接的逻辑线路，物理上可以使用有线线缆或者无线电波	
主机（host）	通过网络为其他机器提供服务的计算机，也称为服务器	
客户端（client）	指从主机处获得服务的计算机（如个人计算机等），也称为终端或者 Terminal	

### ■ 客户端服务器型与点对点型

根据主机和客户端承担角色的不同，可以将网络分为客户端服务器型和点对点型（表 1-2）。

表 1-2 客户端服务器型与点对点型

客户端服务器型	一种严格区分服务提供方和服务接受方的架构。客户端向服务器请求服务，而服务器响应客户端的服务请求。也称为垂直分布或功能垂直分布系统 例如：HTTP 通信
点对点型	一种不严格区分服务提供方和服务接受方的架构。参与网络的计算机可能成为网络中的服务器，也可能成为网络中的客户端。也称为水平分布或功能水平分布系统 例如：Skype 通信

### ■ LAN 和 WAN

在公司或学校内构建的 LAN（Local Area Network，局域网）与通信服务供应商提供的 WAN（Wide Area Network，广域网）有很大的不同（表 1-3）。

在大部分情况下，LAN 可以使用以太网帧格式的以太网（Ethernet）协议标准进行通信，在网络中还能够使用支持该标准的交换机和路由器。而使用线缆连接的 LAN 时，用户的个人计算

机则可以通过以太网线（双绞线）连接交换机，然后由交换机连接路由器，最终在路由器处理跨越异构子网和发送至互联网的通信。

而 MAN（Metropolitan Area Network，城域网）和 WAN 是在地理位置相距较远的各点间建立起的计算机通信网络。比如，一个大型企业的总部与各个分部的连接就会使用 WAN。WAN 服务如表 1-4 所示，有很多种类。使用方可以根据连接组网的地点能否使用该服务、通信速度、可靠性、租用资费等情况进行选择。

可以将互联网理解为全世界范围内 WAN 的互联。家庭或者企业在连接互联网时，需要与供应商（ISP，互联网服务供应商）签订合同，通过供应商提供的接入点来完成连接。而接入点的连接则需要通过电信运营商<sup>①</sup>提供的承载服务来完成，承载服务包括光缆线路、ADSL、移动通信网、公共无线 LAN 等。

表 1-3 LAN/MAN/WAN

名称	英语全称	说明
LAN	Local Area Network	用于机构内部通信与信息传递。常使用以太网技术在公司或学校等局部的地理范围内构建网络。LAN 分为使用线缆的有线 LAN 和使用电波的无线 LAN。一般在 LAN 内部使用私有 IP 地址
MAN	Metropolitan Area Network	使用光缆在相距较远的校园园区或城市内建立通信的网络，比 LAN 的范围要广
WAN	Wide Area Network	范围比 LAN 和 MAN 都要广，用于跨地区或国家间远程通信。一般由电信运营商建设。在 WAN 中可以使用全局 IP 地址进行通信

表 1-4 WAN 服务的种类<sup>②</sup>

用途	WAN 服务	电信运营商
最后一公里接入	光纤	NTT 东日本、NTT 西日本、KDDI、软银、电力公司
	ADSL	NTT 东日本、NTT 西日本、KDDI、软银、电力公司
移动通信	WiMAX	UQ WiMAX
	3G	NTT DoCoMo、KDDI（au）、软银、E-mobile
	公共无线 LAN	NTT DoCoMo、KDDI（au）、软银、NTT 通信
VPN	广域以太网	NTT 东日本、NTT 西日本、NTT 通信
	IP-VPN	NTT 通信
	以太网 VPN	NTT 通信
专线	ATM	NTT 东日本、NTT 西日本
	数据专线	NTT 东日本、NTT 西日本

① 在中国，一般 ISP 和电信运营商是同一家公司，如中国电信、中国联通等。ISP 中较为著名的有歌华宽带、长城宽带等。——译者注

② 在中国，三大运营商（中国移动、中国联通、中国电信）提供表格中所述的业务。——译者注

## 01.01.02 OSI 参考模型复习

## ■ OSI 参考模型

在 20 世纪 70 年代,部分企业为了降低成本、提高生产效率而引入了当时最新开发出的以太网技术和 TCP 协议等。但当时使用的网络协议主要有 IBM 公司的 SNA、Apple 公司的 AppleTalk、Novell 公司的 NetWare、美国 DEC 公司的 DECnet 等。它们使用的网络硬件也因不同的生产厂商而大相径庭,因此出现了不同网络之间不能互联以及扩容困难的问题。

为了解决这一问题,使得任何厂商生产的网络硬件之间都能够互联互通,从 1977 年开始,ISO (国际标准化组织)与 CCITT (国际电报电话咨询委员会,现在的 ITU-T<sup>①</sup>)逐步展开了制定异种网络系统结构标准的工作,当时完成的标准化的协议簇称为 OSI (Open Systems Interconnection,开放系统互联)。到了 1983 年,两大标准组织在该问题上达成一致<sup>②</sup>,制定了称为 OSI 基本参考模型 (Basic Reference Model for Open Systems Interconnection,OSI 参考模型或 OSI 模型)的分层网络模型。该标准最终成文于 ISO 的 ISO7498 与 CCITT 的 X.200。

准确地说,OSI 参考模型是仅对应 OSI 协议簇的分层模型,TCP/IP 等其他协议簇也会多次提及该标准。如 L3 交换机中的 L3 表示该交换器处理到 OSI 参考第 3 层 (Layer 3) 为止。类似这样,将 OSI 模型的术语作为网络术语使用的例子非常普遍。

使用分层结构模型具有以下优点。

- ① 根据网络实际处理过程,按功能分类,从而便于理解和掌握。
- ② 能够定义标准接口,使不同厂商制造的硬件之间可以互联。
- ③ 工程师在设计与研发网络硬件时,可以把思维限定在一定范围内。
- ④ 当某层内部发生变化时,不会给其他层带来影响。

由于 OSI 参考模型是 ISO 制定的,因此所有的内容均用英语表述。该模型中的 7 层分别表示为 L1 (Layer 1= 物理层)、L2 (Layer 2= 数据链路层)…… (表 1-5)。

① 即国际电信联盟远程通信标准化组织,是制定通信网络标准的最高组织。——译者注

② 最初,两大标准化组织关注的领域不同,国际电报电话咨询委员会侧重传统电信网络的标准制定,ISO 则制定更高层面的网络互联互通标准。但后来随着网络技术的发展,在网络规范的部分二者界限越发模糊,出现了二者互融的情形,最终该模型以两大组织颁布不同的文件来确认而收尾。——译者注



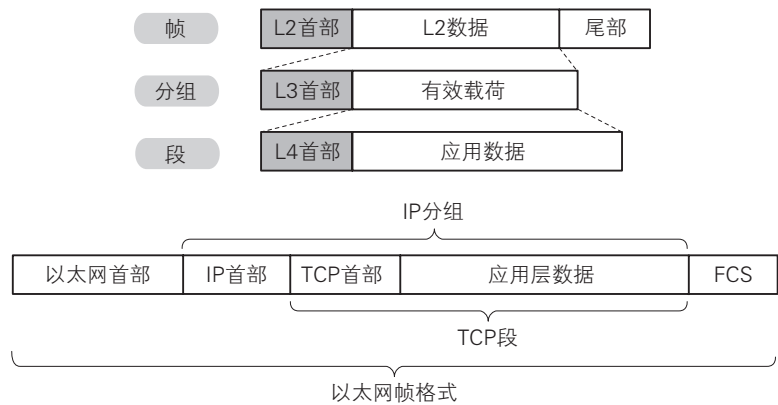
表 1-5 OSI 参考模型分层

各层简称	正式名称	说明
第 1 层 Layer 1 L1	物理层 ( Physical Layer )	与数据处理没有直接关系。该层定义了发起、维持和结束终端系统间物理连接的电气特性、机械特性、步骤、功能等规格。具体而言，该层定义电平大小、电平变化时机、物理数据传输速率、最长通信距离、连接器的物理形状等内容。该层传输的数据为 0 或 1，也称为比特序列( 比特流 )
第 2 层 Layer 2 L2	数据链路层 ( Data-link Layer )	保障数据在通信介质( 通信线缆等 )上传输。通过使用物理层地址( 如 MAC 地址 )来确认数据会发送至何处。该层传输的数据称为帧( Frame )
第 3 层 Layer 3 L3	网络层 ( Network Layer )	定义两个终端系统之间( 地理上距离很远，可能还有其间经过多个网络硬件的情况 )的连接和传输路径的选择( 路由 )
第 4 层 Layer 4 L4	传输层 ( Transport Layer )	隐藏通信实现的细节，向上层提供数据通信服务。为了实现高可靠性的通信，该层负责建立、维持、释放虚电路( Virtual Circuit )，检测并纠正通信故障，提供流量控制服务以防止通信对方数据溢出
第 5 层 Layer 5 L5	会话层 ( Session Layer )	规定了通信开始与结束时发送数据的形式等内容。在该层内建立逻辑上的通信链路。会话( Session )是指在两个通信系统之间进行逻辑通信从开始到结束的过程
第 6 层 Layer 6 L6	表示层 ( Presentation Layer )	定义传输数据所使用的压缩方式以及数据的表现形式等
第 7 层 Layer 7 L7	应用层 ( Application Layer )	定义电子邮件 SMTP、文件传输的 FTP、使用 Web 浏览器浏览网页的 HTTP 等用于特定目的的软件规格

表 1-6 OSI 参考模型对应的数据形式与网络协议范例

层级	数据形式	主要网路协议
物理层	比特流( 0 与 1 的序列 )	EIA/TIA-232 ( RS-232C )、V.35、V.24、IEEE 802.3、FDDI、NRZ 等
数据链路层	帧	IEEE 802.2、帧中继、ATM、PPP、HDLC 等
网络层	分组、数据报	IP、IPX、X.25 等
传输层	段、消息	TCP、UDP 等
会话层	应用数据	SSL 等
表现层	应用数据	ASCII 编码、EBCDIC 编码等
应用层	应用数据	HTTP、FTP、SMTP、SNMP 等

图 1-1 L2~L4 的数据形式



### ■ TCP/IP 层模型

TCP 分层模型是 1970 年 DARPA（美国国防先进研究项目局）设计的、在 RFC1122 中定义的网络分层模型，也可称为 TCP/IP 模型、互联网模型等，该模型在不同文献中的表述也有所不同（表 1-7、表 1-8）。

表 1-7 OSI 参考模型与 TCP/IP 分层模型的对应

OSI 各层名称	TCP/IP 各层名称
物理层	数据链路层（网络接口层、网络接入层） <sup>注1</sup>
数据链路层	
网络层	网络层
传输层	传输层
会话层	应用层
表示层	
应用层	

注 1：TCP/IP 分层模型的数据链路层同 OSI 参考模型的物理层地位相当，但并没有对硬件以及物理数据传输等进行标准化定义。

表 1-8 TCP/IP 分层模型与所对应的网络硬件

分层	地址	对应的网络硬件
数据链路层（网络接口层）	MAC 地址	L2 交换机、无线 LAN 接入点
网络层	IP 地址	路由器、L3 交换机
传输层	端口号（TCP 端口、UDP 端口）	L4 交换机、防火墙
应用层	根据应用程序的不同而不同	L7 交换机、防火墙、代理

# 01.02 LAN 和以太网

## 01.02.01 LAN 的标准

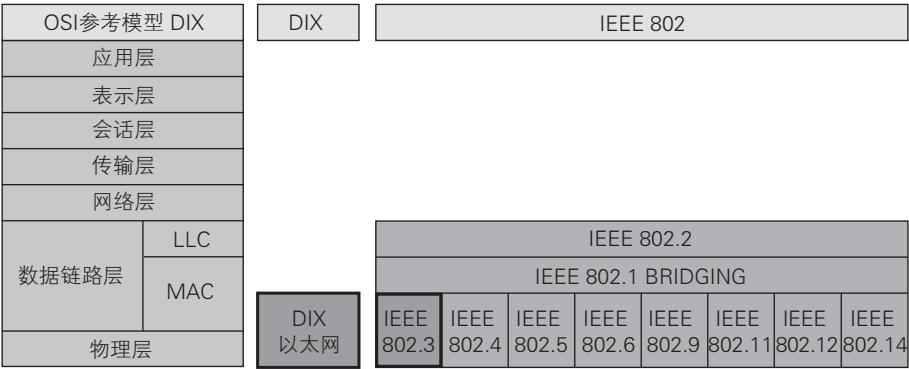
### ■ DIX 标准

以太网（CSMA/CD）以美国施乐公司（Xerox）帕罗奥多研究中心的罗伯特·梅特卡夫（Robert Metcalfe）博士所设计的功能为原型，由 IEEE 于 1973 年组织发布。当时的施乐公司正在开发将大楼内部数百台计算机进行联网的项目，为了将不同制造厂商生产的设备进行连接，美国 DEC 公司、Intel 公司、施乐公司共同完成了以太网的标准工作<sup>①</sup>。这份 10Mbit/s 的以太网标准的命名取自三家公司的首字母，被称为 DIX 以太网。这份标准作为标准化文件在 1980 年发布了第 1 版，之后又在 1982 年发布了第 2 版。现在人们常说的 DIX 以太网指的是第 2 版，因此本文中所提到的以太网帧格式也被称为 Ethernet II 成帧。

### ■ IEEE 802.3

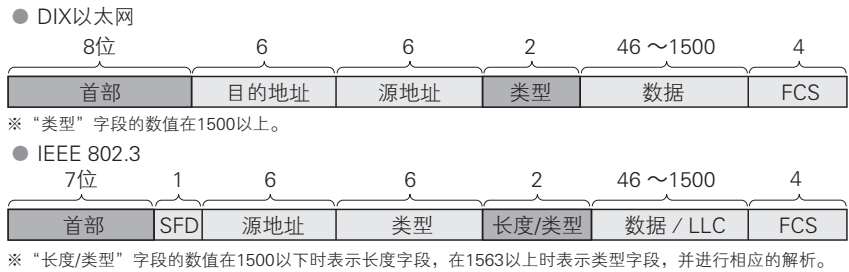
1980 年 2 月，IEEE 的 802 委员会（委员会的名称由会议召开的年份和月份组成）制定了 LAN 技术的国际标准。1983 年又以 DIX 以太网第 2 版为原型，制定了 IEEE 802.3（10BASE5）标准。IEEE 802.3 中的帧格式取消了 DIX 以太网标准中的以太网类型字段，取而代之的是使用表示数据域长度的字段（图 1-3）。

图 1-2 OSI 参考模型与 DIX 以太网以及 IEEE 802 的关系



<sup>①</sup> 这段历史很有意思。这次标准化工作中还有一家十分重要的公司的参与，即从施乐公司离职的罗伯特·梅特卡夫博士创建的 3COM 公司。——译者注

图 1-3 以太网帧格式



■ 以太网的标准

以太网原本仅指使用 CSMA/CD 传输媒介的控制方式，实际通信速率为 10Mbit/s 的标准（表 1-9 中的狭义以太网）。随着时间的推移，同样使用 CSMA/CD 技术以及以太网帧格式，但通信速率为 100Mbit/s 的快速以太网和速率为 1Gbit/s 的千兆以太网逐步登场。而且从快速以太网开始，还出现了采用了全双工通信方式，而不是 CSMA/CD 技术的以太网。

到千兆以太网，半双工通信中依然保留了 CSMA/CD 技术规范；到了万兆以太网，就彻底移除了 CSMA/CD 规范，所有通信方式均采用全双工方式。

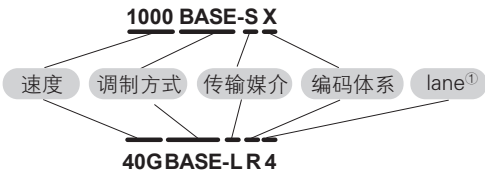
目前，以太网这一术语一般用来表示图 1-3 中使用以太网帧格式进行通信的网络（即表 1-9 中的广义以太网）。

表 1-9 以太网的分类

广义以太网	狭义以太网	DIX 以太网	10Mbit/s 以太网	使用 CSMA/CD
		IEEE 802.3		
		IEEE 802.3u	100Mbit/s 以太网	可以选择使用 CSMA/CD
		IEEE 802.3z	1Gbit/s 以太网	
		IEEE 802.3ae	10Gbit/s 以太网	不使用 CSMA/CD
		IEEE 802.3ba	40/100Gbit/s 以太网	

IEEE 802.3 标准根据使用的传输线缆和传输速度的不同，有 10BASE-T、10BASE-TX 等名称。命名规则如图 1-4 所示，规则更为详细的信息如表 1-10~1-14 所示。

图 1-4 标准的命名规则



① Lane 是在 40G/100G 以太网传输媒介中使用的并行传输通道。

表 1-10 IEEE 802.3 定义的链路速率

条目	传输速率
1	1Mbit/s
10	10Mbit/s
100	100Mbit/s
1000	1Gbit/s
10G	10Gbit/s
40G	40Gbit/s
100G	100Gbit/s

\* 速率表项 (传输速率使用 M (G) bit/s 为单位表示)

表 1-11 IEEE 802.3 定义的调制方式

条目	调制方式
BASE	Baseband (基带信号)。1 根线缆只传输 1 个信号
BROAD	Broadband (宽频信号)。1 根线缆能够传送多个信号

表 1-12 IEEE 802.3 定义的传输媒介

条目	传输媒介
5	最长为 500 米的粗同轴线缆
2	最长为 185 米的细同轴线缆
T	Twisted Pair (双绞线)
F	Fiber (光纤)
K	Copper Backplane (由铜线组成的背板)
B	Bi-directional (1 芯单模光缆)
S	Short Reach (100m) (2 芯多模光缆)
L	Long Reach (10km) (2 芯单模或多模光缆)
E	Extended Long Reach (40km) (2 芯单模光缆)
Z	Long Reach Simple Mode (70km) (2 芯单模光缆)
C	Co-axial (2 芯平衡式屏蔽同轴线缆)
P	PON (1 芯单模光缆, 单点到多点)

表 1-13 IEEE 802.3 定义的编码体系

条目	编码体系
X	在快速以太网时使用 4B/5B 作为分组码
	在千兆以太网时使用 8B/10B 作为分组码
R	使用 64B/66B 作为分组码

表 1-14 IEEE 802.3 定义的 lane

条目	编码体系
4 或者 10	在同轴线缆中表示使用 4 个或者 10 个 lane
N（任意数字）	在光纤中，lane 还可以表示波长数量。波长为“1”时，可以省略

01.02.02 以太网

■ 10Mbit/s 以太网

最初的 IEEE 802.3 标准被称为 10BASE5，传输速率为 10Mbit/s，使用粗同轴线缆作为网络传输媒介。1988 年，IEEE 802 委员会增加了 10BASE2（802.3a）标准，以更方便的细同轴线缆作为传输媒介。1990 年又制定了 10BASE-T（802.3i）标准，以成本更为低廉、制造也颇为简单的双绞线作为传输媒介。由于这一标准实施便捷，很快便普及开来。在该标准下，以太网拓扑结构也从之前使用同轴线缆的总线型网络，向使用集线器交换机的新型网络过渡。

1993 年，委员会制定了使用光纤作为传输媒介的 10BASE-F（802.3j）标准。在这之前，以太网的建网规模最大也不过覆盖方圆数百米，但是通过 10BASE-F 标准，最长传输距离延长至 2km。

表 1-15 总结了速率为 10Mbit/s 的以太网的发展历史，表 1-16 总结了主要 10Mbit/s 以太网的标准。

表 1-15 10Mbit/s 以太网的历史

标准	制定年份	内容
Alto Aloha Network	1972 年	参考了施乐公司开发的 Alto 计算机、打印机等设备进行网络互联的方案。传输速率使用了 Alto 的系统时钟，能够达到 2.94Mbit/s
以太网	1973 年	用于 Alto 以外的计算机网络互联。以设想的用来传播电磁波的物质以太（Ether） <sup>①</sup> 来命名
Experimental Ethernet	1976 年	发表于 NCC（National Computer Conference）
DIX 以太网 Ver.1.0	1980 年	由美国 DEC 公司、Intel 公司、施乐公司三家公司制定的标准，采用粗同轴线缆传输。传输速率为 10Mbit/s
DIX 以太网 Ver.2.0	1982 年	也称为 Ethernet II。如今专指 DIX 以太网标准
IEEE 802.3（10BASE5）	1983 年	由 IEEE 802 工程委员会制定的标准（与 DIX 以太网 Ver2.0 几乎完全一致）
IEEE 802.3a（10BASE2）	1988 年	使用细同轴线缆作为传输媒介的标准
IEEE 802.3i（10BASE-T）	1990 年	使用双绞线作为传输媒介的标准
IEEE 802.3j（10BASE-F）	1993 年	使用光缆作为传输媒介的标准

① 该物质最终被证明不存在。——译者注

表 1-16 主要的 10Mbit/s 以太网的标准

条目	制定年代	IEEE 标准	传输速率	编码	传输媒介	最大传输距离
10BASE5	1983 年	IEEE 802.3	10Mbit/s	曼彻斯特	粗同轴电缆 ( Thick Cable 也叫做 Yellow Cable )	500m
10BASE2	1988 年	IEEE 802.3a	10Mbit/s	曼彻斯特	细同轴电缆 ( Thin Cable )	185m
10BASE-T	1990 年	IEEE 802.3i	10Mbit/s	曼彻斯特	双绞线 ( UTP )	100m
10BASE-F	1993 年	IEEE 802.3j	10Mbit/s	曼彻斯特	光缆 ( MMF )	2km

■ 快速以太网

1995 年，传输速率达到 100Mbit/s 的快速以太网 ( Fast Ethernet ) 完成了标准化进程，以 100BASE-T 的身份加入了以太网家族。在快速以太网进入市场后，支持全双工通信的交换集线器取代了效率低下的半双工通信的收发集线器，逐步成为主流。

在快速以太网标准中使用 5 类 UTP 线缆的 100BASE-TX 应用最为普遍，目前，几乎所有个人计算机所携带的网卡都应用了这一标准。

为了和之前的 10BASE-T 兼容，IEEE 802.3u 标准还定义了相应的自适应技术标准。自适应技术按照表 1-19 的顺序通过 UTP 线缆两端的硬件获取信息，这些信息包括该网络是使用 10BASE-T 还是 100BASE-T，全双工还是半双工通信等，以此决定最适合该网络的通信速率来连接通信。

表 1-17 介绍了快速以太网的历史，表 1-18 总结了主要的快速以太网的标准。

表 1-17 快速以太网的历史

标准	制定年份	内容
IEEE 802.3u ( 100BASE-T )	1995 年	传输速率为 100Mbit/s 的快速以太网与自适应技术的标准化
IEEE 802.3y ( 100BASE-T2 )	1998 年	使用 3 类 UTP 双绞线的快速以太网标准

表 1-18 主要的快速以太网的标准

条目	制定年代	IEEE 标准	传输速率	编码	传输媒介	最大传输速率
100BASE-T <sup>注 1</sup>	1995 年	IEEE 802.3u	100Mbit/s		UTP	100m
100BASE-TX			100Mbit/s	4B5B/MLT-3	UTP ( 2 对 5 类 )	100m
100BASE-T4			100Mbit/s ( 仅半双工 )	8B6T/PAM-3	UTP ( 4 对 3 类 )	100m
100BASE-FX	1995 年	IEEE 802.3u	100Mbit/s	4B/5B NRZI	光缆 ( MMF )	400m ( 半双工 ) 、 2Km ( 全双工 )
100BASE-T2	1998 年	IEEE 802.3y	100Mbit/s	PAM5x5	UTP ( 2 对 3 类 )	100m

注 1：100BASE-T 是 100BASE-TX、100BASE-T4、100BASE-T2 的统称。目前 100BASE-T4、100BASE-T2 几乎不再使用，主要使用的是 100BASE-TX。

表 1-19 快速以太网的自适应优先顺序<sup>注 1</sup>

优先级	以太网通信模式
7	100BASE-T2 (全双工)
6	100BASE-TX (全双工)
5	100BASE-T2 (半双工)
4	100BASE-T4 (半双工)
3	100BASE-TX (半双工)
2	10BASE-T (全双工)
1	10BASE-T (半双工)

注 1: 采用连接的两个设备中最高优先级的通信模式。

■ 千兆以太网

千兆以太网的最初标准制定于 1998 年。其中，使用光纤作为传输媒介的 1000BASE-SX 和 1000BASE-LX 标准，与使用双绞线的 1000BASE-T 有很大的区别（表 1-21、表 1-22）。

最新的个人计算机已经安装了支持 10/100/1000BASE-T 千兆以太网的网卡。这种 10/100/1000BASE-T 网卡是指能够自适应 10BASE-T、100BASE-TX 以及 1000BASE-T 这 3 种传输速率，并且能够自动检测出是半双工还是全双工的网络接口设备。

千兆以太网标准是最后一个使用 CSMA/CD 技术方式进行通信的标准。由于 CSMA/CD 所使用的半双工通信效率低下，后续的标准便均以全双工方式予以替代。

千兆以太网还拥有如表 1-20 所列出的可选功能。

表 1-20 千兆以太网的可选功能

功能名称	内容
载波扩展	在千兆以太网中，被称为 512bit 时间的 CSMA/CD 冲突检测时间仅有极短的 512 纳秒，这会导致硬件在侦测出冲突之前就已将数据全部发出，从而引起网络事故。因此在千兆以太网标准中将最小帧的长度扩展到了 512bit，当发送不足 512bit 的数据时，自动将其扩展到 512bit，超出原数据的填充 (padding) 部分称为载波扩展 (Carrier Extension)
帧突发	用于防范在发送大量小数据帧时带来的传输速率低下的问题。首先对第 1 个数据帧进行载波扩展，而随后的数据帧无需扩展，仅将短帧连续发送。最大能够一次性发送 8192bit 大小的数据帧
巨型帧	将以太网最大的数据帧长度从 1518bit 扩展到 8 000~15 000bit，从而提高传输效率 <sup>①</sup> 。但巨型帧在 IEEE 802.3 系列中没有明确详细的标准，这使得各个通信设备制造厂商的产品实现也各不相同，需要在使用之前确认接收方设备是否能够解析该类巨型帧

① 但由于向后兼容等各种问题的存在，目前，巨型帧并未得到普及。——译者注



表 1-21 千兆以太网的历史

标准	制定年份	内容
IEEE 802.3z (1000BASE-X)	1998 年	定义了使用光纤作为传输媒介、速率为 1Gbit/s 的千兆以太网标准
IEEE 802.3ab (1000BASE-T)	1999 年	定义了使用双绞线作为传输媒介、速率为 1Gbit/s 的千兆以太网标准

表 1-22 主要的以太网标准

表项	制定年份	IEEE 标准	传输速率	编码	传输媒介	最大传输距离
1000BASE-SX	1998 年	IEEE 802.3z	1Gbit/s	8B10B/NRZ	MMF（波长 850nm）	500m
1000BASE-LX					MMF（波长 1300nm）	550m
					SMF（波长 1310nm）	5km <sup>注2</sup>
					SMF（波长 1550nm）	70~100km
1000BASE-CX					150Ω 平衡屏蔽双绞线	25m
1000BASE-T	1999 年	IEEE 802.3ab	1Gbit/s	8B1Q4/4D-PAM5	UTP（4 对超 5 类）	100m
1000BASE-TX <sup>注1</sup>	2001 年	TIA/EIA-854	1Gbit/s	8B1Q4/4D-PAM5	UTP（4 对 6 类）	100m
1000BASE-BX	2004 年	IEEE 802.3ah	1Gbit/s	8B10B/NRZ	SMF（下行 1490nm， 上行 1310nm）	10km

注 1: 目前, 1000BASE-TX 已经不再使用。

注 2: 同时也存在被称为 1000BASE-LX/LH 或 1000BASE-LH 的产品 (由厂商独自扩展, 并非 IEEE 标准)。该产品使用了 2 芯光纤, 使得最大传输距离远远大于 1000BASE-LX 的输出, 能够延伸至 10~40km。

表 1-23 千兆以太网的自适应优先顺序<sup>注 1</sup>

优先级	以太网通信模式
9	1000BASE-T (全双工)
8	1000BASE-T (半双工)
7	100BASE-T2 (全双工)
6	100BASE-TX (全双工)
5	100BASE-T2 (半双工)
4	100BASE-T4 (半双工)
3	100BASE-TX (半双工)
2	10BASE-T (全双工)
1	10BASE-T (半双工)

注 1: 指采用连接的两个设备所支持的最高优先级通信模式。

■ 万兆以太网

2002 年，IEEE 802 委员会制定了最大传输速率为 10Gbit/s 的万兆以太网标准 IEEE 802.3ae。当时的 IEEE 802.3ae 标准中采用光纤为传输媒介，最大传输速率为 10Gbit/s。随后 2006 年又制定了使用双绞线的 IEEE 802.3an 万兆以太网标准。

万兆以太网由于传输速度非常快，因此在该标准中很难继续使用冲突检测机制，在半双工通信时也不再使用原先的 CSMA/CD 方式了。所以也就不再通过集线器，而是使用交换机建立全双工通信链路。

万兆以太网不再仅仅局限在 LAN 中使用，MAN 以及 WAN 也逐步开始使用该技术。数据链路层的 MAC 子层也和以往的以太网相同，帧的长度是从 64bit 到 1518bit，没有任何变化。

万兆以太网的物理层中定义了两部分内容，其中一部分是与之前以太网兼容的 LAN PHY 的内容，另一部分则是在作为通信基础设施供应商的骨干网使用的 SONET/SDH 标准中，与 OC-192 兼容的 WAN PHY 的内容（表 1-25）。

表 1-24 万兆以太网的历史

标准	制定年份	内容
IEEE 802.3ae ( 10GBASE-X )	2002 年	传输速率为 10Gbit/s 的 10Gigabit Ethernet 的标准
IEEE 802.3an ( 10GBASE-X )	2006 年	使用双绞线作为传输媒介的 10Gbit/s 以太网标准

表 1-25 主要的万兆以太网标准

表项	制定年份	IEEE 标准	传送速率	编码方式	传输媒介	最大传输距离
10GBASE-SR	2002 年	IEEE 802.3ae	10Gbit/s	64B/66B	MMF ( LAN PHY ) 850nm	300m
10GBASE-LR	2002 年	IEEE 802.3ae	10Gbit/s	64B/66B	SMF ( LAN PHY ) 1310nm	10km
10GBASE-ER	2002 年	IEEE 802.3ae	10Gbit/s	64B/66B	SMF ( LAN PHY ) 1550nm	40km
10GBASE-SW	2002 年	IEEE 802.3ae	10Gbit/s	64B/66B WIS <sup>注 1</sup>	MMF ( WAN PHY )	300m
10GBASE-LW	2002 年	IEEE 802.3ae	10Gbit/s	64B/66B WIS	SMF ( WAN PHY )	10km
10GBASE-EW	2002 年	IEEE 802.3ae	10Gbit/s	64B/66B WIS	SMF ( WAN PHY )	40km
10BASE-T	2006 年	IEEE 802.3an	10Gbit/s	LDPC <sup>注 2</sup>	UTP/STP ( 6 类 )	100m

注 1: WIS，广域网接口子层 ( WAN Interface Sublayer ) 的英文首字母缩写。  
注 2: LDPC，低密度奇偶校验码 ( Low-Density Parity-Check ) 的英文首字母缩写。

■ 40G/100G 以太网<sup>①</sup>

2010 年 6 月，40Gbit/s 和 100Gbit/s 的以太网标准化工作完成。同万兆以太网一样，该标准中仅支持全双工通信，对以太网帧的格式没有做任何改变。

① 400G 的以太网标准工作已于 2013 年 4 月正式启动。——译者注

表 1-26 40G/100G 以太网历史

标准	制定年份	内容
IEEE 802.3ba	2010 年	制定了传输速率为 40Gbit/s 与 100Gbit/s 的新一代以太网标准

表 1-27 主要的 40G/100G 以太网标准

表项	制定年份	IEEE 标准	传送速率	编码方式	传输媒介	最大传输距离
40GBASE-KR4	2010 年	IEEE 802.3ba	40Gbit/s	64B/66B	背板 ( back plane )	1m
40GBASE-CR4	2010 年	IEEE 802.3ba	40Gbit/s	64B/66B	同轴线缆	10m
40GBASE-SR4	2010 年	IEEE 802.3ba	40Gbit/s	64B/66B	MMF	100m
40GBASE-LR4	2010 年	IEEE 802.3ba	40Gbit/s	64B/66B	SMF	10km
100GBASE-CR10	2010 年	IEEE 802.3ba	100Gbit/s	64B/66B	同轴线缆	10m
100GBASE-SR10	2010 年	IEEE 802.3ba	100Gbit/s	64B/66B	MMF	100m
100GBASE-LR4	2010 年	IEEE 802.3ba	100Gbit/s	64B/66B	SMF	10km
100GBASE-ER4	2010 年	IEEE 802.3ba	100Gbit/s	64B/66B	SMF	40km

## 01.03 以太网标准的数据处理

### 01.03.01 以太网上的数据

以太网上传输的数据在数据链路层以 MAC 帧（以太网帧格式）的形式存在，最终会被转换为传输媒介 UTP 线缆上的电气信号。电气信号转换的过程中会根据不同的标准采用不同的编码方式（表 1-28）。

表 1-28 使用 UTP 的 LAN 标准数据式样

标准	区编码	线性编码	1 对传输信号率 ( Mbaud ) <sup>注 1</sup>	传送 UTP 对数
10BASE-T	曼彻斯特	MLT-3	20	1
100BASE-TX	4B5B		125	1
100BASE-T	4D-PAM5	PAM5	125	4

注 1: Mbaud 是 106baud (波特)。1 个 baud 表示一秒内信号的变化次数。在 1 个脉冲传输 1bit 信号时，1baud=1bit/s；当 1 个脉冲传输 2bit 信号时，1baud=2bit/s。

另外，以太网采用小端（little endian，也称为 Canonical）顺序方式来传输比特流，也就是说对于 1 个字节（8bit）的数据，会从最低位（LSB，Least Significant Bit）开始传送。小端顺序如表

1-29 所示，将每 8bit 数据中的 0 与 1 顺序颠倒进行传送。FDDI 以及令牌环等网络，则采用大端（big endian）顺序进行传输数据。

在网上进行传输的二进制数据所使用的字节排列顺序也称为网络字节序。TCP/IP 协议中包括首部在内均使用大端顺序即从最高位（MSB，Most Significant Bit）开始传送数据。

表 1-29 小端与大端的比较

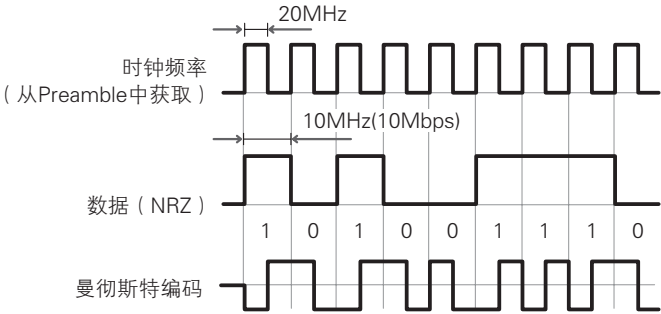
标准	比特顺序	IP 地址 192.168.1.254（采用二进制表示为 11000000 10101000 00000001 11111110）的比特序列
以太网	小端	00000011 00010101 10000000 01111111
FDDI、令牌环	大端	11000000 10101000 00000001 11111110

01.03.02 10BASE-T

在 10BASE-T 中使用曼彻斯特编码（或称曼彻斯特码）的方式让转换的电气信号在双绞线上传输。从 Preamble 字段<sup>①</sup>中得到 20MHz 的时钟频率与 10Mbit/s 的 NRZ<sup>②</sup>数据进行逻辑异或运算，得到在 20MHz 下采用 -V、0、+V 三个电平数值发送信号（V 表示电压）。该运算过程如图 1-5 所示，“0”表示“10”，“1”表示“01”。通过曼彻斯特编码后，直流信号部分将不复存在，从而抑制了信号衰减带来的干扰。

另外，在以太网帧格式之间会定期发送 Link Test Pulse 信号。

图 1-5 10BASE-T 曼彻斯特编码

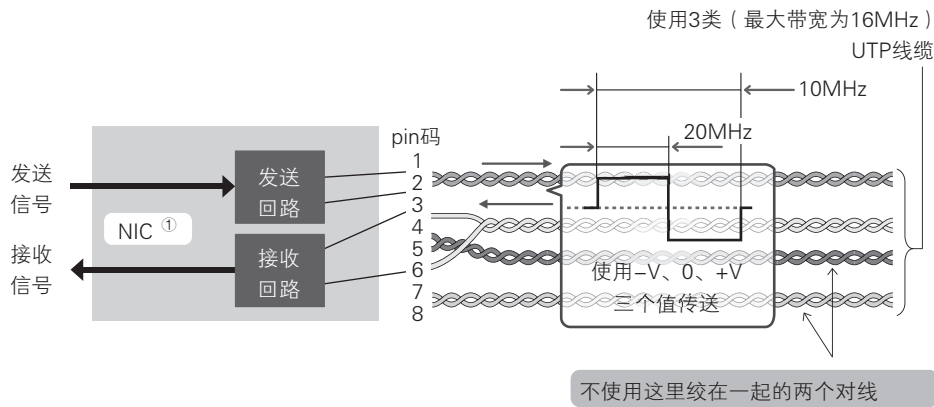


在 10BASE-T 中，使用 4 对双绞线中的 1 对（1 号与 2 号）信号线作为 10Mbit/s 信号的发送源，1 对（3 号与 6 号）信号线用于 10Mbit/s 信号的接收，剩余两组空闲不用。

① Preamble 字段是以太网帧的首个字段，在 Pre 字段中 0 与 1 交替使用。DIX 以太网标准采用 8 位数据，IEEE 802.3 采用 7 位数据表示。参考图 1-3。

② NRZ 表示 Non-Return-to-Zero，即不归零码，是一种不依赖使用 1 表示高电平、0 表示低电平的时序编码。

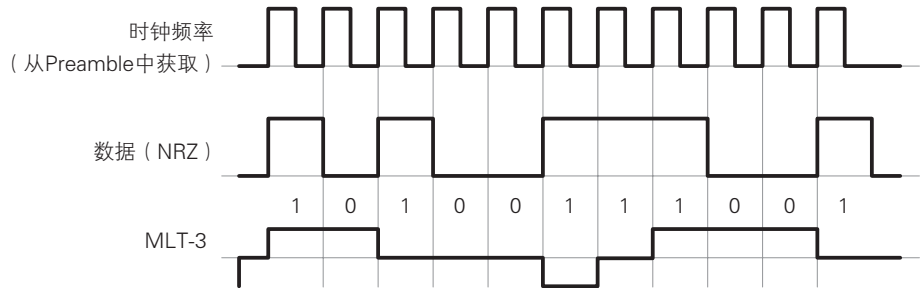
图 1-6 10BASE-T 的数据发送



### 01.03.03 100BASE-TX

在 100BASE-TX 的标准中不再使用曼彻斯特编码，而是使用了一种叫做 MLT-3 (Multi-Level Transition) 的编码方式。该编码方式使用 -V、0、+V 三个数值，当下一个数据为 0 时，保持信号电平不变；当下一个数据为 1 时，信号电平跳转。这样使信号电压变化平稳，能够减少信号传递中的谐波数量。

图 1-7 100BASE-TX 的 MLT-3 编码



在使用 MLT-3 编码时，数据如果连续为 0，信号电平将不会发生任何变化，这将导致接收方无法检测出每一个时钟频率。为了避免这一问题，标准中采取了将 4bit 数据转换为 5bit 的方法 (表 1-30)。这样一来，既能保证在发送的 5bit 数据中有两个以上的“1”，也能够在数据连续为“0”时，找得到同步的位置。另外，还能加入特殊的控制码。

① 指网络控制器，具体内容请参考第 2 章。

表 1-30 4B5B 转换表

名称	4bit	5bit	说明
0	0000	11110	十六进制的“0”
1	0001	01001	十六进制的“1”
2	0010	10100	十六进制的“2”
3	0011	10101	十六进制的“3”
4	0100	01010	十六进制的“4”
5	0101	01011	十六进制的“5”
6	0110	01110	十六进制的“6”
7	0111	01111	十六进制的“7”
8	1000	10010	十六进制的“8”
9	1001	10011	十六进制的“9”
A	1010	10110	十六进制的“A”
B	1011	10111	十六进制的“B”

名称	4bit	5bit	说明
C	1100	11010	十六进制的“C”
D	1101	11011	十六进制的“D”
E	1110	11100	十六进制的“E”
F	1111	11101	十六进制的“F”
Q	无	00000	Quiet（信号减弱）
I	无	11111	Idle（无信号时发送）
J	无	11000	Start（1）（分组开始）
K	无	10001	Start（2）（分组开始）
T	无	01101	End（分组结束）
R	无	00111	Rest（重置）
S	无	11001	Set（设置）
H	无	00100	Halt（中端）

由于将原来 4bit 的数据以 5bit 的方式发送，就使得发送速率为 100Mbit/s 的数据实际需要发送速率为 125Mbit/s 的电平信号。4B5B 编码在速率为 100Mbit/s 的 FDDI 中也会使用，但光纤传播使用光的明暗来发送数据，因此不再使用需要用 3 个数值传输信号的 MLT-3，而是使用只需两个值的 NRZI<sup>①</sup> 进行编码。在 NRZI 中一个周期可以发送 2bit 的数据，因此只需要原来比特率的二分之一周期，即可发送 1bit 的数据。所以 125Mbit/s 的电平信号只需 62.5MHz 带宽即可。当使用 MLT-3 时，一个周期内可以发送 4bit 的数据，即只要使用原来比特率二分之一的带宽 31.25MHz，就能完成数据的发送。这样的话，尽管 5 类 UTP 线缆最多可以只使用 100MHz 的电平信号，但是通过使用 MLT-3 并采用了 4B5B 编码转换后，也就没有什么问题了。

为了实现 100BASE-TX 自适应功能，在两台机器网卡之间进行物理连线后，相互连接的设备会发送一个名为 Fast Link Pulse 的脉冲信号，通过该脉冲信号检测出双方的通信速率和各自支持的通信模式与，并根据该信息自动选择合适的运行模式。

<sup>①</sup> NRZI 是 Non-Return-to-Zero Inverted 编码的缩写。如图 1-8 所示，当下一个电平信号为 1 时进行信号反转，为 0 时则保持不变。

图 1-8 NRZI 编码

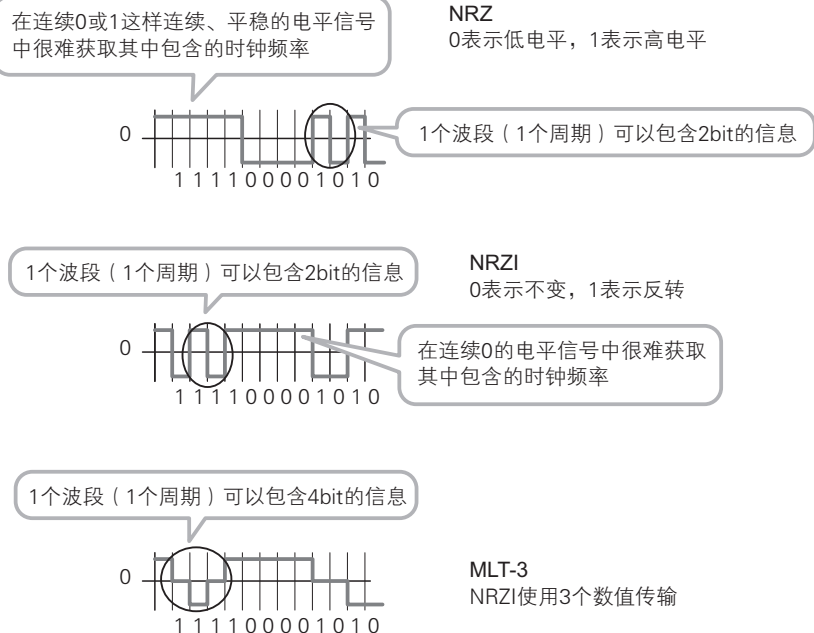
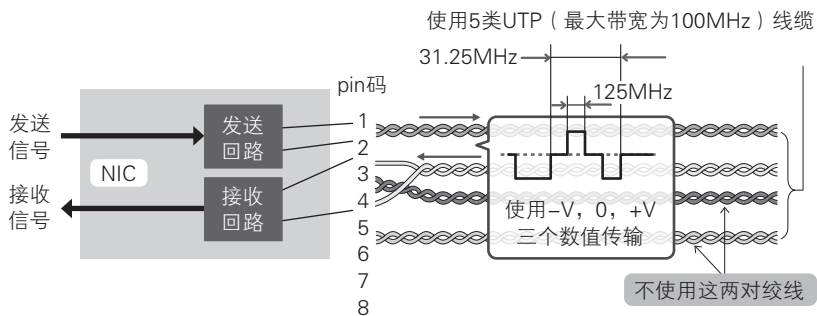


图 1-9 100BASE-TX 的数据传输

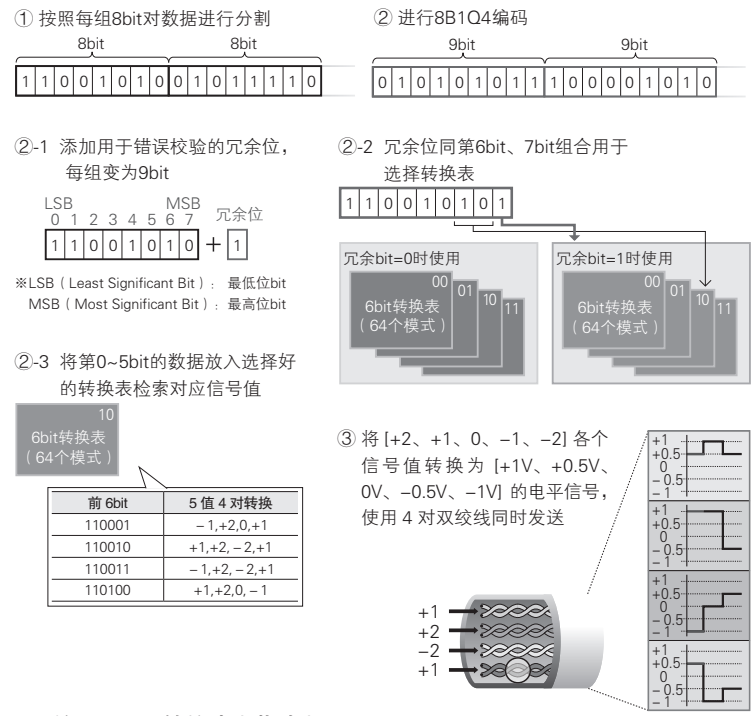


## 01.03.04 1000BASE-T/1000BASE-TX

在 1000BASE-T 中使用了 8B1Q4（8 binary to 1 quinary 4，将 8 个 2 值数据转换成 5 值 4 组数据）的编码方式与 4D-PAM5（4-dimensional, 5-level Pulse Amplitude Modulation，将从 8B1Q4 数据编码接收到的 4 维五进制符号用五个电压级别传送出去）的调制方式传输数据（如图 1-10 表示）。8B1Q4 按照每组 8bit 对传输数据进行分割，每组再加上 1bit 的冗余位作为错误校验，一共为 9bit 数据。在 9bit 的数据中，根据冗余 bit 和前两个 bit 数据选择转换表，再根据转换表得到

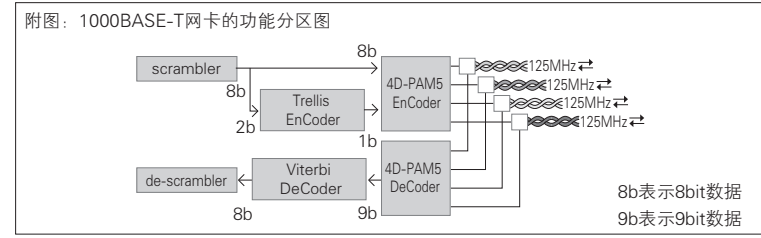
余下 6bit 所对应的 4 个信号值。信号值可以是 -2、-1、0、+1、+2 这 5 个值中的任意一个。例如，10010111 这个 8bit 的数据，按照 8B1Q4 转换为 +1、-2、0、-1 这 4 个信号值后，就可以同时在双绞线上进行传输。将这一系列的数据调制发送就被称为 4D-PAM5 方式，因为要使用 1Gbit/s 速率发送数据，所以每个脉冲的间隔为 125MHz（1 个脉冲时间为 8 纳秒）。两个脉冲为 1 次谐波，因此可以使用带宽在 62.5MHz 之上的 UTP 线缆来完成信号的传输。

图 1-10 1000BASE-T 的编码



实际的 8B1Q4 转换表 ( 节选 )

前 6bit	剩余的 3bit			
	000	010	100	110
000000	0,0,0,0	0,0,+1,+1	0,+1,+1,0	0,+1,0,+1
000001	-2,0,0,0	-2,0,+1,+1	-2,+1,+1,0	-2,+1,0,+1
000010	0,-2,0,0	0,-2,+1,+1	0,-1,+1,0	0,-1,0,+1
000011	-2,-2,0,0	-2,-2,+1,+1	-2,-1,+1,0	-2,-1,0,+1





01.03.05 1000BASE-SX/LX

1000BASE-SX 与 1000BASE-LX 采用了 8B10B 的编码方式。

8B10B 编码方式将发送数据按每组 8bit 进行分割，并将每组 8bit 的数据重新转换成 10bit 进行传输。这么一来，不仅可以发送额外数据信息，而且无论是什么样的数据，最多也只会出现 5 个连续的“0”或者“1”。因此在节省带宽的 20% 的前提下，也可以将数据与时钟频率同时通信。

图 1-11 1000BASE-SX/LX 的编码

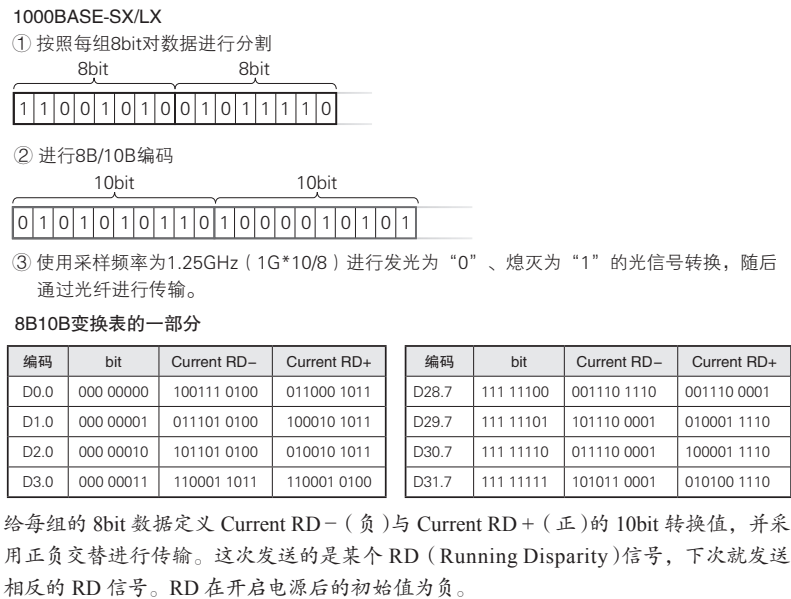
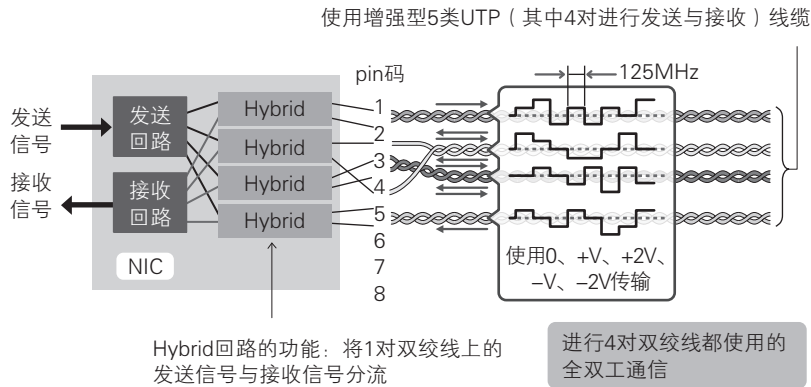
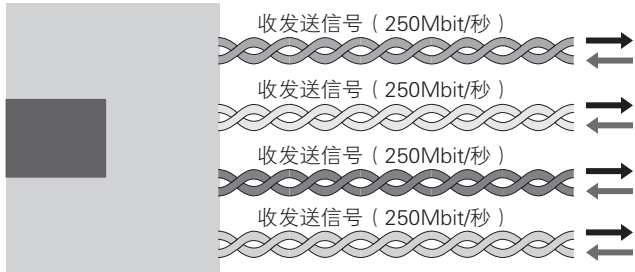


图 1-12 1000BASE-T 的数据传输



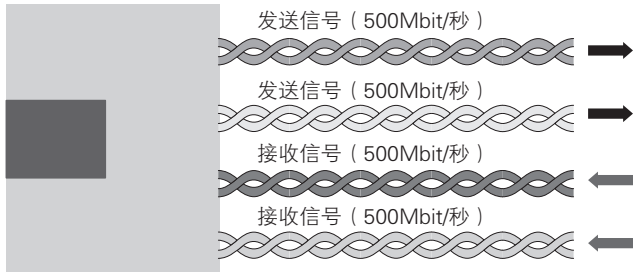
在传输速率为 1000Mbit/ 秒的 1000BASE-T 中，1 对信号线能够以 250Mbit/ 秒的速率同时发送和接收信号，并且可以 4 对信号线同时进行全双工通信。

图 1-13 1000BASE-T 的发送接收方式



在传输速率为 1000Mbit/ 秒的 1000BASE-TX 中，1 对信号线能够以 500Mbit/ 秒的速率进行数据通信，4 对信号线中，两对发送信号，两对接收信号。1000BASE-TX 旨在降低 1000BASE-T 的实现成本，又以 EIA/TIA-854 的形式进行了标准化，但是与 1000BASE-T 的普及相比，1000BASE-TX 对应的设备很少，目前几乎已经停用。因此需要注意的一点是，1000BASE-TX 与 1000BASE-T 无法兼容。

图 1-14 1000BASE-TX 的发送接收方式



## 01.04 网络设备的构成要素

### 01.04.01 通用服务器与专用设备

网络硬件大致分为通用服务器和专用设备两大类。

表 1-31 网络硬件的种类

通用服务器	运行 Windows、Windows Server、Linux、Unix 等操作系统的通用服务器及该服务器上安装的网络服务
专用设备	由用于特定目的的操作系统、软件、硬件组成的专用设备

表 1-32 比较通用服务器与专用设备

专用设备的优点	通用服务器的缺点
<ul style="list-style-type: none"><li>• 价格便宜</li><li>• 性能高</li><li>• 设置简单，版本升级容易</li><li>• 便于使用和管理</li><li>• 安全漏洞较少</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 与专用硬件相比，性价比低</li><li>• 需要习惯其设置及管理</li><li>• 根据操作系统的不同，可能会出现没有对应软件的情况</li><li>• 操作系统不同，系统漏洞也较多</li></ul>
通用服务器的优点	专用设备的缺点
<ul style="list-style-type: none"><li>• 如果有编程知识，就能够自定义功能</li><li>• 使用免费的操作系统可以降低成本</li><li>• 很容易得到系统漏洞以及 BUG 的信息</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 功能扩展有所限制</li><li>• 无法自定义</li><li>• 修复安全漏洞以及 BUG 的方法根据厂商的不同而不同</li></ul>

01.04.02 分门别类的网络设备

网络设备的分类如表 1-33 所示。

表 1-33 网络设备的分类

网络设备种类	参考章节
路由器	第 3 章
L2 交换机	第 2 章
高层路由器	第 4 章
无限 LAN 的 AP、无线 LAN 控制器	第 6 章
网络安全设备	第 5 章
• 防火墙	第 5 章
• UTM	第 5 章 02 节
• 新一代防火墙	第 5 章 04 节
• 代理器件	第 5 章 04 节
• URL 过滤器件	第 5 章 04 节
• 防病毒网关	第 5 章 04 节
负载均衡器	第 4 章 01 节
服务器设备	
• Web 服务器设备	
• 文件服务器设备	
• DHCP、DNS 服务器设备	

设备 (appliance) 是电气化产品的意思。

网络设备和个人计算机的部件构成非常相似。要说与个人计算机最大的不同,那就是网络设备没有对应的键盘、显示器等输入输出装置。但是网络设备可以通过串口、网口等和个人计算机设备相连,从而完成配置管理等操作。

### 01.04.03 CPU

CPU (Central Processing Unit, 中央处理器) 是构成 PC 等计算机的主要部件,它通过读取内存中的程序来控制软件的执行,并对数据进行运算。解析程序指令也称为解码 (decode),解析指令完毕后,就可以从内存中读取数据或者通过外围设备完成输入输出了。

根据一条指令能够处理的最大数据量,可以分为 16bit CPU、32bit CPU 和 64bit CPU,数值越大说明 CPU 的性能越高。CPU 使用赫兹 (Hz) 来表示时钟频率,即在 1 秒内能够执行多少条指令。比如说 3GHz 就表示在 1 秒钟内 CPU 可以执行  $3 \times 10^9$  次运算。当同一时钟周期内处理的数据量相同时,时钟频率越高,CPU 性能越好。

将两个处理器核心封装在一块集成电路上称为双核处理器,类似地,也有将 4 个核心封装在一块 CPU 中的。CPU 的核数越多,性能也越高。这类系统称为多核系统,能在 1 个 CPU 上同时执行多个线程 (处理)。在能够高速进行第 7 层处理、加密解密处理网络设备中,也可以搭载多个这种类型的 CPU,通过增加整个系统核的数量来提高处理能力。

拥有多块 CPU 的计算机或硬件称为多处理系统。在生产 CPU 的公司中,较为著名的是 Intel 公司和 AMD 公司。

将所有构成 CPU 的半导体部件集中在一块芯片上的处理器称为 MPU (Micro-Processing Unit, 微处理器),也有人用 MPU 来表示 CPU。

### 01.04.04 存储设备

在计算机内用来存储数据或程序的装置是存储设备 (storage unit)。该类设备分成高速且高价的主存储器与低速且低价的辅助存储器 (外部存储器) 两类。主存储器分成可读写的 RAM 以及只读的 ROM,二者均使用半导体元件实现。

辅助存储器有硬盘和闪存等。

在网络硬件中,桌面类型的交换机或路由器往往使用闪存来启动程序 (应用程序),随后从硬盘 (即闪存) 上读取必要的数。在程序中处理的数据又存储至比硬盘速度更快的读写主存中。为了使主存储器进行对应的数据运算,还需要将数据传送至 CPU 处。

这时,即使采用了 DRAM 高速主存,其对数据的读写速度 (访问速度) 也远远落后于 CPU,

而受到存储器性能牵连的 CPU 也无法发挥出原本的速度。因此就需要用速度更快但容量更小的 Cache 存储,这种存储将需要 CPU 频繁处理的数据以更快的速度传送至 CPU,从而大大提高了程序的处理速度。

01.04.05 存储器

存储器根据用途分为了不同的种类。RAM 或 ROM 一般作为主存储设备,用来存放需要执行或处理的程序及数据。NVRAM 和闪存则作为辅助存储设备存放操作系统或配置文件(表 1-34)。

表 1-34 存储器的种类

存储器的种类	说明
RAM ( Random Access Memory )	随机存取存储器。在计算机内部用于保存处理运行中的设置和路由表所需要的信息。当关闭电源或重新启动后,将清空所有数据。一般使用动态随机存储器 ( DRAM )和同步动态随机存储器 ( SDRAM )实现
ROM ( Read Only Memory )	只读存储器。关闭电源时保存的数据不会丢失。一般用来存放 Bootstrap <sup>注1</sup> 、POST <sup>注2</sup> 、ROM 监控、RXBOOT 等启动和维护网络硬件的程序
NVRAM ( Non volatile RAM )	由于拥有非易失性,即使关闭电源或重新启动时数据也不会丢失 <sup>①</sup> ,因此一般用于保存设置文件
闪存	具有电可擦可编程特性的只读存储器,用来保存操作系统以及设置文件

注 1: Boot 是指计算机在接通电源后进入可操作状态之前自动执行的一系列处理,这些处理程序统称为 Boot (Bootstrap) Code。  
注 2: Power On Self Test 的缩写,是指电源接通后,计算机进行自我诊断的过程。在 Boot 之前检查 ROM 内的 BootCode,检查闪存中保存的操作系统,还有检查外围接口以及 ASIC 访问等。当 POST 执行失败时,硬件的 LED 灯会闪烁给出错误提示。这说明部件或数据可能损坏,需要更换新的硬件。

表 1-35 RAM 的种类

名称	说明
DRAM ( Dynamic RAM )	动态随机存储器。一种通过电容中是否有电荷来表示二进制的 0 和 1,并以此为原理进行数据保存的 RAM。电容保存的电荷经过一定时间后会自动放电,保存的信息就会丢失。因此需要定期刷新存储单元,通过再次写入使其保持原来的内容。由于必须要进行刷新,因此被称为“动态的 (dynamic) RAM”。与 SRAM 相比,电路较为简单,集成度高,价格也较为低廉
SDRAM ( Synchronous DRAM )	同步动态随机存储器。使用外部总线接口,在一定周期内同步时钟信号来运行的改进版 DRAM。按 133~533MHz 的外部总线时钟频率进行同步运行。目前使用的 DRAM 几乎都是 SDRAM
SRAM ( Static RAM )	静态随机存储器。SRAM 使用了由三极管构成的触发器电路,能够无需刷新操作就保存数据。由于不需要刷新操作,因此被称为静态 (static) RAM。虽然速度很快,但由于电路很复杂,集成困难,所以价格昂贵

闪存中包含了 EEPROM、Compact Flash 和 USB 存储等(表 1-36)。

① 该存储器一般教材鲜有涉及,它有 ROM 的断电不丢数据的特性,也有普通 RAM 随机寻址访问的特性。——译者注

表 1-36 闪存的种类

	说明	图片
Flash EEPROM (电可擦写可编程)	EEPROM 是无需电源就能保存写入数据的非易失性存储器之一, 可以通过输入电压删除或更改数据。Flash EEPROM 是 EEPROM 的改进版, 提供了更高速的访问速度和更大的存储容量。EEPROM 以 1 个字节为单位更改数据, 而 Flash EEPROM 则是以数据块为单位删除或更改数据	
Compact Flash Card (CF 卡)	由 Sandisk 公司开发的存储卡, 在该存储卡内部使用了 Flash EEPROM 存储芯片, 一般采用 ANSI 标准的 ATA 闪存作为对外接口。 由于内部还兼容部分 PC Card 标准, 因此可以使用 PC Card 适配器将 CF 卡的 50pin 接口转化为 PC Card 的 68pin, 这样就可以插入 PC Card 插槽使用	 TypeI 42.8×36.4×3.3mm TypeII 42.8×36.4×5mm 到 2012 年为止, 市面上可买到容量为 128MB~128GB 的产品
USB 存储器 (Universal Serial Bus 存储器)	将 USB 接头直接封装在存储产品上的存储器。只要硬件或操作系统支持 USB Mass Storage Class 标准, 在连接 USB 接口标准的辅助存储设备时, 就可以无需安装驱动程序, 随插随用。在该产品内部也放置了 Flash EEPROM 存储芯片	 到 2012 年为止, 市场主流的产品为 4GB~32GB, 256GB 的产品也可以买到。

01.04.06 HDD/SSD

在个人计算机中, 硬盘也经常作为辅助存储设备来使用, 一般被称为 HDD (Hard Disk Drive, 硬盘驱动器) (图 1-15)。硬盘通过驱使多块涂满磁性介质的金属 (或者玻璃) 盘片 (platter) 高速旋转、移动磁头, 从而进行数据的读写。硬盘接口一般分为 ATA 系列和 SCSI 系列两种。

目前主流的硬盘尺寸为 3.5 英寸、2.5 英寸和 1.8 英寸, 英寸数表示盘片的大小。

在网络设备中, 多个不同版本的操作系统、与系统和流量相关的日志信息、扫描内容时使用的签名信息 (数据库)、流量缓存等一般被保存在安装于网络设备内部的 HDD/SSD 中。

一般而言, 个人计算机或服务器硬件若发生了 HDD 故障, 可以将 HDD 单独取下替换, 但是在网络设备中很可能需要替换整个硬件。由于 HDD 中常常存放了 IP 地址等保密数据, 因此在替换硬件时, 可以委托厂商删除数据, 并要求厂商开具硬盘已破坏的证明书。