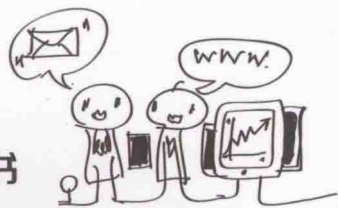


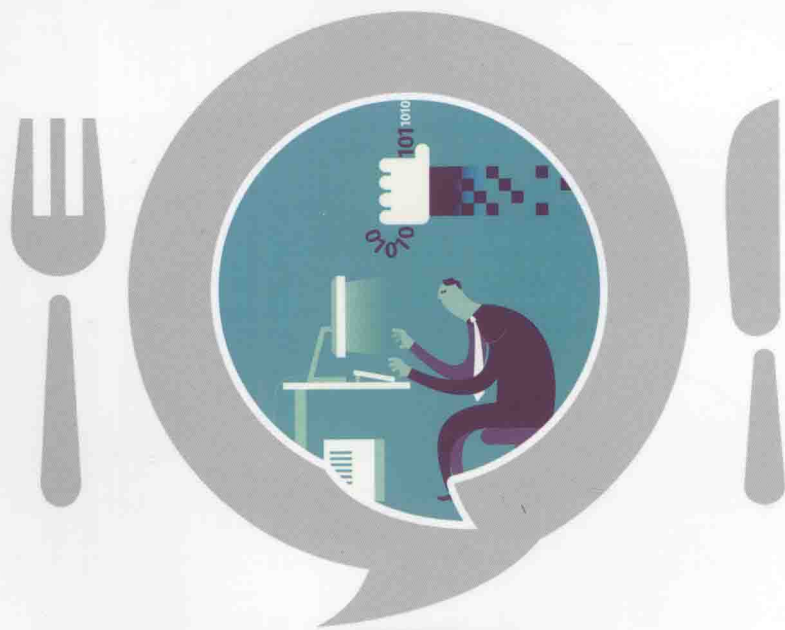
→ 网络工程师教育丛书



Internetworking and Internet

网络互连与互联网

◎ 刘化君 孔英会 等编著



 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

5

网络工程师教育丛书

网络互连与互联网

Internetworking and Internet

刘化君 孔英会 等编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是《网络工程师教育丛书》的第5册,在讨论网络互连概念的基础上介绍各种网络互连设备的工作原理以及采用这些设备进行网络互连、配置的技术,同时讨论网络管理、网络安全技术。全书分为7章:第一章介绍网络互连的基本概念;第二章介绍网络互连设备;第三章讨论如何利用网络设备构建网络;第四、五章介绍网络互连设备的配置,包括交换机的配置和路由器的配置;第六章讨论网络管理及SNMP协议的工作过程,并介绍最常用的网络管理方法;第七章讨论网络安全技术。为帮助读者更好地掌握基础理论知识和应对认证考试,各章均附有小结、练习题及测验题,并对典型题型给出解答提示。

本书是网络工程师教育培训和认证考试教材,同时可作为本科和高职院校相关课程的教材或参考书,也可供网络技术人员和管理人员以及网络爱好者阅读。

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

网络互连与互联网 / 刘化君等编著. —北京:电子工业出版社,2015.6

(网络工程师教育丛书)

ISBN 978-7-121-26228-9

I. ①网… II. ①刘… III. ①计算机网络—基本知识②互联网络—基本知识 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第120376号

责任编辑:张来盛(zhangls@phei.com.cn) 特约编辑:王沈平

印 刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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:787×980 1/16 印张:22.25 字数:512千字

版 次:2015年6月第1版

印 次:2015年6月第1次印刷

印 数:2500册 定价:49.80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。

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

服务热线:(010)88258888。

出版说明

随着信息技术发展的日新月异,网络已经融入社会生活的方方面面,深刻改变了人们的生产、生活方式。我国互联网技术已取得了显著发展成就,网络走入千家万户,网民数量居世界第一,我国已成为网络大国。然而,我国互联网在自主创新方面还相对落后,互联网发展瓶颈仍然较为突出,重要的是如何把我国从网络大国建设成为网络强国。要建设网络强国,就要有自主、过硬的技术,还要有自己的网络工程师人才;但我国现有的网络工程师人才,还远远不能满足经济社会发展、建设网络强国的基本需求。

为适应网络工程技术人才教育、培养的需要,电子工业出版社组织本领域教授学者和工作在一线的网络专家、工程师,按照网络工程师所应具备的知识、能力要求,以及近年来网络工程师考试大纲的要求,共同编撰了这套《网络工程师教育丛书》。

《网络工程师教育丛书》全面规划了网络工程师应该掌握的技术,架构了一个比较完整的网络工程技术知识体系。丛书的编写立足于计算机网络技术的最新发展,以先进性、系统性和实用性为目标:

- ▶ 先进性——比较全面地展示近年来计算机网络技术领域的最新研究成果,做到知识内容的先进性。例如,对无线网络技术(包括 WiMAX、WiFi)、移动 IP、千兆以太网、万兆以太网、云计算以及物联网等进行较为详尽的介绍。
- ▶ 系统性——注重加强学科基础,努力拓宽知识面,各册内容之间密切联系、有机衔接、合理分配、重点突出,按照“网络基础→局域网→城域网与广域网→TCP/IP 基础→网络互连与互联网→网络设计与应用”的进阶式顺序分为 6 个课程,形成系统的知识结构体系。
- ▶ 实用性——注重工程能力的培养和知识的应用。遵循“理论知识够用,为工程技术服务”的原则,突出网络系统分析、设计、实现、管理、运行维护和安全方面的实用技术;书中配有大量网络工程案例、配置实例和实验示例,以提高读者的实践能力;每章还安排了有针对性的练习和近年网络工程师考试题,并对典型试题和练习给出解答提示,以帮助读者提高应试能力。

丛书内容涵盖计算机网络技术的各个方面,并具有平台中立性;编写时力求文字简洁,通俗易懂,图文并茂;在内容编排上既系统全面,又切合实际。

《网络工程师教育丛书》共 6 册,在知识设计上层次分明、由浅入深,读者可根据自己的需要选择相应的图书进行学习,然后逐步进阶:

- ▶ 第 1 册为网络基础,介绍计算机网络的基本概念,以及计算机之间如何通过网络实现信息的传送;
- ▶ 第 2 册围绕局域网讨论其原理和组网技术;
- ▶ 第 3 册介绍城域网与广域网的概念、技术、构件和协议;

- ▶ 第4册为TCP/IP基础，比较全面地介绍TCP/IP协议体系结构和主要的应用程序、构件和协议，以及访问互联网所需的路由技术；
- ▶ 第5册重点讨论网络互连设备以及采用这些设备进行网络互连、配置的方法，并涵盖网络管理和网络安全技术；
- ▶ 第6册介绍网络设计与应用。

本丛书是一套内容丰富，体系完整，教育和学习方法先进的网络技术教育培训教材，适合作为不同层次学历教育、职业教育和各类网络技术培训的教材或参考书，也可供正在网络管理、网络规划与设计、网络工程建设、网络系统维护等岗位工作的技术人员，或希望将来走上这些工作岗位的人员自学或参考使用。我们相信，本丛书的出版，对于弥补国内高质量、高水平网络技术培训教材的短缺与不足，对于培养国家建设所需的网络专业人才，将起到积极的作用。

当然，随着技术的进步和社会的发展，本丛书还将根据读者的需求适时更新、完善。在使用本丛书的过程中，读者如有什么建议和要求，请与本丛书的策划编辑联系、沟通。联系方式：zhangls@phei.com.cn 或者 zhagls@vip.163.com。

当今世界，网络无处不在。无论是政府机构、学校还是企业，都采用了信息网络技术进行管理。可以说，网络工程师代表着广泛的网络技术和应用，具有比一般职业更多的就业机会和更高更远的发展空间。

“互联网+”时代如今已来临，或许明天，在互联网大潮的“弄潮儿”当中，就有你！

电子工业出版社

前 言

互联网比局域网（LAN）要复杂得多，它包括所有的网络，从为了提高效率而分段的办公局域网，到遍布全世界的因特网（Internet）。本地互联网连接两个或更多的地理上相邻的局域网，例如一幢办公大楼里的所有局域网；广域网连接着地理上距离较远的网络，它们可能位于两个不同的城市；企业级的互联网可能连接着多个位于不同的地区或国家的局域网和广域网。

上述这些网络虽然有很多不同之处，但其基本工作原理是完全一致的。本课程将介绍这些原理，并探讨怎样将有限的几种设备组合在一起，构成许许多多不同的互联网络。

本课程内容的安排强调在“授人以鱼”的前提下“授人以渔”，对每个知识点的介绍争取做到深入浅出，从系统、科学的原理和机制出发，通过丰富多彩的图表配以具体的步骤实现，以方便读者在构建网络时进行对照学习，提高学习效率。本课程的先修课程是《网络基础》、《TCP/IP 基础》。当然，如果已经学习了《局域网》、《城域网与广域网》等，对学习本课程会有更好的帮助。

本书是《网络工程师教育丛书》的第5册，将比较系统、全面地介绍网络互连和互联网的概念、技术，网络互连设备及其配置，网络管理，以及网络安全等知识。通过本书的学习能够掌握计算机网络互连技术。全书分为7章，内容包括：

第一章首先介绍网络互连的基本概念，讨论常用的网络互连技术，包括面向连接的网络互连和面向无连接网络互连服务模型，以及IP网络的组成。同时讨论路由器在网络中如何定位，以及路由器如何协同为数据包寻径。

第二章围绕OSI参考模型，介绍执行OSI各层功能的网络互连设备，包括在第1层、第2层和第3层工作的网络互连设备，以及每种设备最重要的特性，并说明它们是如何解决当今网络中一些最基本的性能问题（或带来新的问题）的。

第三章讨论如何选用网络互连设备构建网络问题，并研究网络互连设备在网络中协同工作的情况，同时介绍一般的网络问题所广泛使用的解决方法；但并不提供各种具体问题的现成解决方案，因为每个网络都有相对于经常变化的复杂问题的不同解决方案。

第四、五两章讨论网络互连设备的配置，以常见的交换机、路由器等设备为重点，比较详细地介绍其配置过程，包括功能强大的虚拟局域网（VLAN）的配置、网络服务的配置等。但迄今为止，所有的专有解决方案都只能提供部分的整体解决方案。

对于一个复杂的互联网来说，自动化管理是非常重要的，第六章讨论网络管理，重点介绍简单网络管理协议（SNMP），探讨SNMP如何通过使用少量的复杂元素来控制许多简单的元素，从而提供功能强大、实用的网络管理系统。

第七章在介绍网络安全基本概念的基础上,讨论网络安全策略、防火墙技术、访问控制列表、网络地址转换(NAT)与应用、虚拟专用网(VPN)等网络安全防护技术。

为帮助读者掌握基础理论知识,针对某些典型问题进行了解析,同时每章还附有小结、练习题及测验题。这些内容具有很强的实用性、指导性。

本书内容适合计算机网络和通信领域的教学、科研和工程设计应用参考,适用范围较广,既可作为网络工程师教育培训教材,也可作为为计算机、电子信息、通信工程、信息技术、自动化等专业教材或教学参考书,同时可供从事网络工程的科技人员、网络管理人员、网络爱好者阅读和参考使用。

本书由刘化君、孔英会、刘枫、解玉洁、钱骁、吴旭东、王秦和冯向鹤编著。在编写过程中得到了许多同志的支持和帮助,他们提出了许多编撰建议,在此一并表示衷心感谢!

由于计算机网络技术发展很快,囿于编著者理论水平和实践经验,书中可能存在不妥之处,恳请广大读者不吝赐教,批评斧正。

编著者

2015年3月18日

目 录

第一章 网络互连	(1)
概述	(2)
第一节 网络互连的概念	(2)
网络互连的常用术语	(3)
网络互连的必要性	(4)
网络互连提出的问题	(4)
网络互连的基本要求	(5)
网络互连的优点	(5)
实例分析：企业互联网络	(5)
练习	(6)
第二节 网络互连的类型及层次	(7)
网络互连的类型	(7)
网络互连的层次	(7)
练习	(9)
第三节 网络互连的服务模型	(9)
OSI 网络层内部结构	(9)
面向连接的网络互连	(10)
无连接的网络互连	(12)
练习	(12)
第四节 IP 网络	(13)
TCP/IP 网络互连	(13)
子网规划与建立	(15)
IP 网络路由	(18)
Internet 组成结构	(23)
练习	(24)
本章小结	(25)
第二章 网络互连设备	(27)
概述	(28)
第一节 中继器与集线器	(28)
中继器	(29)
集线器	(30)

练习	(36)
第二节 网桥	(36)
利用网桥互连异种局域网	(37)
网桥的桥接方式	(37)
练习	(42)
第三节 交换机	(43)
交换机的基本组成	(43)
交换机的工作原理	(45)
第3层交换机	(47)
多协议标签交换	(51)
高层交换技术	(52)
练习	(52)
第四节 路由器	(53)
路由器的基本组成	(53)
路由器的工作原理	(56)
练习	(59)
第五节 网关	(60)
网关的组成与主要功能	(60)
网关和远程访问	(62)
练习	(62)
本章小结	(63)
第三章 使用网络互连设备构建网络	(67)
概述	(68)
第一节 对网络互连设备的需求	(68)
局域网分段	(69)
局域网增长需要考虑的因素	(70)
广域网增长需要考虑的因素	(70)
Internet 连接需要考虑的因素	(71)
练习	(71)
第二节 各种设备功能比较	(71)
集线器	(72)
网桥	(73)
交换机	(74)
路由器	(75)
网关	(77)

练习	(77)
第三节 选择集线器	(78)
集线器的选配	(78)
集线器的特性	(79)
练习	(81)
第四节 选择网桥	(81)
网桥的选配	(82)
本地网桥和广域网桥	(84)
网桥的特性	(85)
练习	(88)
第五节 选择交换机	(88)
交换机的选配	(89)
交换机转发模式	(89)
选择主干交换机时应考虑的因素	(89)
练习	(90)
第六节 选择路由器	(91)
路由器的选配	(91)
路由器的特性	(95)
练习	(98)
第七节 集线器、交换机和路由器的综合使用	(99)
路由器与交换机的比较	(99)
部门工作组	(103)
对广播流量的考虑	(104)
主干	(106)
实例分析	(108)
练习	(109)
本章小结	(110)
第四章 交换机的配置	(113)
概述	(114)
第一节 交换机的配置方法	(114)
基于 Console 端口的本地配置	(115)
基于 Telnet 的远程配置	(119)
基于 Web 浏览器的配置	(121)
交换机的加电启动	(123)
练习	(123)

第二节	交换机的基本配置	(124)
	交换机的配置模式	(124)
	基于命令行的基本配置	(128)
	show 命令的基本使用	(128)
	练习	(129)
第三节	交换机的端口配置	(130)
	以太网交换机的端口配置	(130)
	第 3 层交换机的端口配置	(137)
	练习	(141)
第四节	交换机的 VLAN 配置	(142)
	在同一个交换机上创建 VLAN	(143)
	创建跨越交换机的 VLAN	(145)
	配置 VTP 和 Trunk	(148)
	练习	(159)
第五节	交换机的路由配置	(160)
	第 3 层交换机路由配置	(161)
	交换机生成树协议的配置	(162)
	交换机配置文件的备份与恢复	(164)
	练习	(167)
	本章小结	(168)
第五章	路由器的配置	(175)
	概述	(176)
第一节	路由器接口及硬件连接	(176)
	路由器的接口与端口	(176)
	路由器的硬件连接	(178)
	练习	(180)
第二节	路由器的基本配置	(180)
	路由器的配置方式	(181)
	路由器的配置模式	(182)
	IOS 管理命令	(183)
	搭建路由器配置环境	(186)
	路由器的启动过程	(187)
	利用命令行端口进行配置	(189)
	路由器常规配置	(192)
	练习	(199)

第三节 常见路由协议配置	(201)
静态路由的配置	(202)
RIP 协议的配置	(209)
OSPF 协议的配置	(212)
练习	(213)
第四节 广域网路由配置	(216)
PPP 的配置	(216)
HDLC 协议的配置	(219)
X.25 协议的配置	(221)
帧中继的配置	(223)
练习	(226)
第五节 在路由器上配置网络服务	(227)
在路由器上配置 DHCP	(227)
在路由器上配置策略路由	(229)
在路由器上配置 NAT	(233)
本章小结	(236)
第六章 网络管理	(241)
概述	(242)
第一节 网络管理概述	(242)
网络管理系统结构	(243)
网络管理功能	(246)
练习	(247)
第二节 网络管理协议	(247)
典型网络管理协议简介	(248)
简单网络管理协议 (SNMP)	(251)
练习	(258)
第三节 网络管理平台及工具	(260)
网络管理平台	(261)
网络监视和管理工具	(264)
基于 Web 的网络管理	(265)
练习	(266)
本章小结	(267)
第七章 网络安全	(271)
概述	(272)
第一节 网络安全概述	(272)

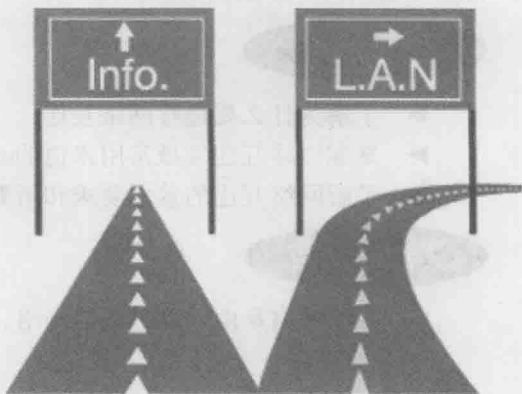
103	网络所面临的安全威胁	(273)
104	网络安全的定义和属性	(274)
105	网络安全防护技术	(276)
106	网络通信访问安全模型	(278)
107	网络安全标准	(279)
108	练习	(281)
	第二节 网络安全策略	(282)
109	网络加密策略	(283)
110	认证与鉴别	(284)
111	密钥管理与分配	(287)
112	练习	(287)
	第三节 防火墙技术	(290)
113	防火墙概述	(290)
114	防火墙类型	(292)
115	防火墙的应用配置	(294)
116	练习	(296)
	第四节 访问控制列表	(297)
117	标准 IP 访问控制列表的配置	(297)
118	扩展 IP 访问控制列表的配置	(299)
119	练习	(300)
	第五节 网络地址转换与应用	(302)
120	网络地址转换概述	(302)
121	NAT 配置命令及步骤	(303)
122	练习	(307)
	第六节 虚拟专用网	(308)
123	VPN 技术原理	(308)
124	VPN 的应用类型	(311)
125	VPN 的实现	(313)
126	IPSec VPN 应用实例	(314)
127	练习	(318)
	本章小结	(319)
	附录 A 课程测验	(325)
	附录 B 术语表	(331)
	参考文献	(344)



第一章

网络互连

- 1 网络互连的概念
- 2 网络互连的类型及层次
- 3 网络互连的服务模型
- 4 IP 网络



概 述

随着计算机技术、网络技术和通信技术的飞速发展,以及计算机网络的广泛应用,单一的网络环境已经不能满足信息化社会对网络的需求,人们需要一个将多个计算机网络互连在一起的互联网环境,以实现更广泛的资源共享和信息交流。互联网的成功和快速发展,证明了计算机网络互连起来的重要意义。因此,越来越多的局域网之间、局域网与城域网之间、局域网与广域网之间、广域网之间要求互相连接。

由于各种实际网络使用的组网技术可能不同,要实现网络之间的通信需要解决一些新的问题。例如,各种网络可能有不同的寻址方案、不同的分组长度、不同的超时控制、不同的差错恢复方法、不同的路由技术和不同的用户访问控制策略等。另外,各种网络提供的服务也可能不同,有的面向连接,有的则面向无连接。网络互连技术就是要在不改变原来网络体系结构的前提下,把一些同构或异构网络互连成统一的通信系统,实现更大范围的资源共享。

由多个网络互相连接组成的更大网络称为互联网,组成互联网的各个网络叫作子网,用于连接子网的设备叫作中间系统。中间系统的作用主要是协调各个子网,使得跨网络的通信得以实现。中间系统可以是一个单独的设备,也可以是一个网络。

本章在介绍网络互连基本概念的基础上,重点讨论常用的网络互连技术,如面向连接的网络互连服务模型和面向无连接网络互连服务模型;最后介绍 IP 网络的组成。

第一节 网络互连的概念

当人们不再满足于单个网络中的资源共享时,就提出了网络互连的要求。所谓网络互连是指将分布在不同地理位置的同构或异构网络,利用网络互连设备、相应的技术措施和协议连接起来,构成更大规模的互连网络。网络互连的目的是将多个网络互相连接,以实现在更大范围内的信息交换、资源共享和协同工作。

学习目标

- ▶ 了解为什么要进行网络互连;
- ▶ 掌握网络互连领域常用术语的含义;
- ▶ 了解网络互连的基本要求和所要解决的问题。

关键知识点

- ▶ 互连网络是由网络组成的网络。

网络互连的常用术语

在计算机网络中,经常用到“网络互连”和“网络互联”两个名词,这两个名词的含义是有区别的。

“网络互连”一词是指网络在物理上的连接,两个网络之间至少有一条在物理上连接的线路,它为两个网络的数据交换提供了物质基础和可能性;但不能保证两个网络一定能够进行数据交换,这要取决于两个网络的通信协议是不是相互兼容。因此,从概念上讲,网络互连(Interconnection)是指用线路和互连设备连接、采用各种不同低层(网络层以下)协议的网络,强调的是物理连接。

“网络互联”一词是指网络在物理和逻辑上(尤其是逻辑上)的连接。因此,网络互联(internetworking)是指利用应用程序网关实现采用不同高层(传输层以上)协议的网络之间的连接,强调的是逻辑连接。显然,这在网络层的多数情况下就很难严格区分了,但用“网络互连”的偏多。

“互通”(Intercommunication)是指两个网络之间可以交换数据。

“互操作”(Interoperability)是指网络中不同计算机系统之间具有透明访问对方资源的能力。

将计算机网络互连起来构成一个大网,即互联网(internet)。在互联网上的所有用户通过遵循相同的协议实现互连互通。所以,互联网是多个独立网络的集合。互联网一般是指将异构网络相互连接而形成的网络,如局域网和广域网连接、两个局域网相互连接或多个局域网通过广域网连接所形成的网络系统。组成互联网的单个网络常被称为子网(Subnet),连接到子网的设备称为端结点(或端系统),连接不同子网的设备称为中间结点(或中间系统)。互联网的常见形式是将多个局域网通过广域网连接起来形成的网络。

目前,比较频繁使用的一个术语 internet,是 internetwork 的简略形式。一般而言,一个 internet 就是互连起来的网络集合。而当“i”大写之后,即使用 Internet 时,则特指当今世界上最大的互联网——Internet(因特网)。因特网由分布在世界各地的成千上万的互连起来的网络组成,已经具有了特定的文化含义。事实上,可以把因特网看作广域互联网(Wide Area Internetwork, WAI)。因特网也指支持同一网络协议即 TCP/IP 的网络集合。因此,也可以说因特网是基于特定网络标准 TCP/IP(描述各个网络的计算机相互之间如何通信)的计算机网络的集合。因特网允许单个自治的网络作为一个大的子网。需要注意的是,通常意义上的互联网与因特网是不同的。互联网是网络互连技术发展与应用的产品,是一种覆盖世界范围的大型国际网。

既然提到 Internet,就不得不介绍 Internet 带来的两个产物:内联网(Intranet)和外联网(Extranet)。内联网是限制在一个公司或机构内部实现传统 Internet 应用的内部网络。公司或机构内联网的典型应用是 Web 服务和电子邮件。当然还有许多其他的应用。因此,从严格意义上讲,内联网是指公司或机构的内部网络,也是互联网。而外联网连接是用来表示内部互联网

与客户或公司外部网络之间的互连（非 Internet 连接）的。它包括租用专线连接或者一些其他类型的网络连接，也包括一些使用安全协议穿过 Internet 隧道的应用。总之，内联网是实现传统因特网应用的机构内部网络；外联网是一些非本机构网络的网络连接；互联网代表了互连起来的网络的集合；而因特网是一个世界范围的网络，可以通过因特网服务提供商（ISP）访问。通常，互联网和因特网这两个名词又可不加区别地使用。

网络互连的必要性

ISO 提出的 OSI 参考模型（OSI-RM），其目的是为了解决世界范围内网络的标准化问题，使一个遵守 OSI 标准的系统可以与位于世界任何地方且遵守同一标准的其他任何系统互相通信。

- ▶ 网络互连是局域网发展的必然趋势——局域网虽然为一个单位或一个地区所有，但广泛应用的结果必然要求跨部门、跨地区甚至跨国界的网络发展，以便进行无纸贸易、电子邮件的传送、数据信息查询等。因此，局域网技术发展的结果必然导致网络互连。
- ▶ 异构网络的互连是客观存在的需要——由于在 OSI 出现以前已存在大量非 OSI 网络体系结构，而且并非所有厂商都愿意很快将它们的产品转变成符合 OSI 标准要求。这样，异构网络将继续共存下去。相同网络互连比较容易，而异构网络的互连要复杂得多。如果连接在异构网络的用户需要进行相互通信，就需要将这些不兼容的网络通过称为路由器的设备连接起来，由路由器完成相应的转换功能。因此，通常所讨论的网络互连技术实质上多是指异构网络的互连技术。
- ▶ 各种类型的通信子网将长期共存——目前，世界上有许多网络，其物理结构、协议和所采用的标准各不相同。采用不同通信手段的网络类型很多，如采用总线、采用分组交换、采用卫星通信的，以及采用无线电、红外线和激光等不同技术的数据传输网络。随着硬件技术的不断发展，今后也可能还会出现新的通信网络类型，甚至在某些情况下，仍然会采用非 OSI 系统来支持网络应用的运行。所以，这就需要将各种类型相同和不相同的网络连接起来，才能满足人们各种各样的应用需要。

网络互连提出的问题

正如计算机系统（或其他设备）能够互相连接起来一样，计算机网络当然也可以互连起来。然而，计算机网络可能是同一种类型的，也可能是不同类型的。因此，实际网络系统的互连必然会涉及异构性问题。所谓异构性是指网络、通信协议、计算机硬件和操作系统的差异性。这种差异性主要表现在以下方面：

- ▶ 网络的类型不同，如广域网、城域网和局域网；
- ▶ 网络所使用的数据链路层的协议不同，如 Ethernet、Token Ring 和 X.25 等；
- ▶ 计算机系统的类型不同，如微型机、小型机和大型机；
- ▶ 计算机使用的操作系统不同，如 Windows、OS/2、UNIX 和 Linux 等。