

21世纪

高等院校电子信息类规划教材

*Juyuwang
Yu Chengyuwang*

局域网 与城域网

© 雷维礼 马立香 彭美娥 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高等院校电子信息类规划教材

局域网与城域网

雷维礼 马立香 彭美娥 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

局域网与城域网 / 雷维礼, 马立香, 彭美娥编著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.10
21 世纪高等院校电子信息类规划教材
ISBN 978-7-115-18592-1

I. 局… II. ①雷…②马…③彭… III. 局部网络—高等学校—教材 IV. TP393.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 115944 号

内 容 提 要

本书较为全面地介绍局域网与城域网技术。全书包括四部分内容: 背景与基础, 包括网络拓扑与传输介质; 网络体系结构, 包括从 OSI 体系结构到 802 网络模型; 以及对 LLC 的讨论; 物理网络规范, 包括局域网 802.3 与 802.11, 以及城域网 802.17 与 802.16; 网络交换技术, 包括网桥、交换式局域网与虚拟局域网。

本书力求全面地反映进入 21 世纪以来的局域网与城域网技术, 注重基本概念与系统架构, 根据最新标准介绍日新月异的技术, 重点讨论网络的协议技术。

本书可作为网络工程、通信工程及相关专业的高年级学生或研究生的专业课教材。对准备进一步加强网络通信领域专业基础的高校教师、科研人员和工程技术人员, 也有较高的参考价值。

21 世纪高等院校电子信息类规划教材

局域网与城域网

- ◆ 编 著 雷维礼 马立香 彭美娥
责任编辑 滑 玉
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 22.5
字数: 549 千字
印数: 1—3 000 册
- 2008 年 10 月第 1 版
2008 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18592-1/TN

定价: 36.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

前 言

本书主要围绕局域网与城域网领域的技术，以 IEEE 802 有关标准为主线，讨论网络体系结构与参考模型、IEEE 802.3/802.11/802.16/802.17 标准技术、网桥与交换式网络等方面内容。其中主要是系统结构与各层协议，并尽可能反映最新的标准化发展。

自从 20 世纪 80 年代局域网开始流行以来，其技术和应用领域已经有了重大发展，而进入 21 世纪以来的变化尤为深刻，基于局域网发展起来的局域网与城域网正在成为信息化发展的最重要的基础支撑。但是，全面涵盖这一领域的教材远不能反映进入 21 世纪以来在这一领域的深刻变化。

本书的编写意图是较为全面地讨论最新的局域网与城域网技术。

- **面向 21 世纪的网络：**进入 21 世纪以来，以 802 网络为代表的局域网与城域网技术已经全面转变为“基于分组”的网络；扬弃了以 LLC 为中心的体系结构而转向与 IP 天然匹配的 MAC 直接承载架构；链路级不再受限于共享介质而是可以提供链路级的 QoS 与安全性。系统级的全面改造使得 802 网络可以匹配 IP 技术，成为信息化发展的最重要的基础支撑。讨论分析这些进入新世纪的技术特征是本书的一个主要目标。

- **涵盖全面的网络：**当今的 802 网络技术已经走出了“局域”的区域限制，已经从局域网延伸到了城域网与接入网，并正在进军广域网领域；802 网络也开始跳出专用网络，正在发展成电信级的公用网络。跨出局域网的区限讨论问题，是本书的一个宗旨。

- **标准及其演进：**在网络通信领域，标准起着越来越重要的作用，甚至是决定性的作用。本书强化对技术标准及其演进的介绍，通过对标准演进的审视可以提高对技术兴替的认识。在研究学习的早期接触标准也有利于进一步的深入研究。

- **以架构为中心：**本书十分重视讨论网络的系统结构，以系统架构与参考模型为中心组织内容，可以使纷繁的协议与技术得以条理清晰、便于理解。在网络技术学习中，抓住系统结构这个中心方可“纲举目张”。

协议是网络之本：网络协议是网络的灵魂，是技术的核心。协议讨论是本书的重要内容。

基本原理：网络的关键技术众多，但有一些基本原理会在多处反复出现。不管是总体技术、协议技术还是底层的物理技术，都是如此。本书在讨论中注重基本原理的重复、对比与解释，力求加深基本原理的理解与灵活运用。

本书的内容可以分为以下 4 个部分。

第 1 部分——背景与基础。介绍局域网的产生与兴起，网络拓扑概要与传输介质。

第 2 部分——网络体系结构。从著名的 OSI 体系结构出发引入 802 体系结构。体系结构是统率网络的整体纲领，后继的 LLC 讨论可以认为是 OSI 体系结构的一个范例。

第 3 部分——各种“物理网络”标准。讨论内容包括有线网络（以太网与弹性分组环）和无线网络（无线局域网与无线城域网），这部分内容占了本书的最大篇幅。

第 4 部分——局域网与城域网中的交换技术。包括网桥、交换式局域网和虚拟局域网。这部分内容紧跟在以太网之后，便于后继章节使用交换网络与虚拟网络的概念。

本书由雷维礼主编，其中雷维礼编写第 1, 2, 3, 5, 8 章，马立香编写第 6, 7, 10 章，彭美娥编写第 4, 9 章。张科和吴凡校对了部分章节，彭美娥对全书进行了校对，雷维礼统一全书风格并完成最终定稿。

本书曾以讲义的形式在电子科技大学多次讲授并不断修改更新。讲授过程中多位同学，包括刘宇涛、刘正华、田宇、胡鹏、周立、徐斌、柯敏、周雯、魏芳、姜余，都提出了勘误意见，王佩专门为本书绘制了 MAC 协议性能曲线，特此一并致谢。

本书疏漏和不当之处，诚恳希望各位读者不吝指正。

编者

2008 年 6 月于电子科技大学

wllei@uestc.edu.cn

lixiangma@uestc.edu.cn

mepeng@uestc.edu.cn

目 录

第1章 绪论1	2.3 香农信道容量定理.....24
1.1 引言.....1	2.4 双绞线.....26
1.2 局域网与城域网的发展.....2	2.4.1 双绞线的发展.....26
1.2.1 局域网的发展简史.....3	2.4.2 基本结构与系统构成.....26
1.2.2 局域网的技术变迁.....3	2.4.3 屏蔽双绞线与非屏蔽双 绞线.....27
1.2.3 当前的局域网.....4	2.4.4 双绞线的类别.....28
1.2.4 城域网的发展.....5	2.5 光纤.....29
1.3 局域网的基本结构.....6	2.5.1 光纤传输的基本概念.....29
1.3.1 园区级网络.....6	2.5.2 单模光纤与多模光纤.....30
1.3.2 数据中心网络.....7	2.5.3 光缆.....31
1.3.3 互联网中的局域网.....7	2.5.4 光纤传输系统.....31
1.3.4 局域网拓扑结构的演进.....8	2.6 无线介质.....32
1.4 局域网的定义.....9	2.7 结构化布线系统.....33
1.4.1 局域网的总体标准.....9	2.7.1 系统形成与发展.....33
1.4.2 局域网的定义.....9	2.7.2 布线系统标准.....33
1.5 局域网的标准化.....10	2.7.3 布线系统概要.....35
1.5.1 为什么要学习标准.....10	2.7.4 ISO 11801 标准.....37
1.5.2 局域网领域的标准化机构.....10	2.7.5 TIA 568 与 ISO 11801 的 比较.....39
1.5.3 IEEE 802 委员会.....12	小结.....39
1.5.4 IEEE 802 标准.....13	思考题.....40
1.5.5 IEEE 802 标准族.....14	第3章 协议体系结构41
1.6 全书内容概要.....15	3.1 引言.....41
小结.....16	3.2 OSI 协议体系结构.....42
思考题.....16	3.2.1 OSI 基本模型要点.....42
第2章 网络拓扑与传输介质17	3.2.2 七层模型.....43
2.1 网络拓扑.....18	3.2.3 服务与协议.....44
2.1.1 概述.....18	3.2.4 数据单元.....45
2.1.2 总线拓扑.....18	3.2.5 逐层封装.....45
2.1.3 星型拓扑.....19	3.3 802 协议体系结构.....45
2.1.4 环型拓扑.....20	3.3.1 802 协议族.....45
2.1.5 网状拓扑.....22	3.3.2 802 参考模型.....46
2.1.6 轮辐状拓扑.....22	3.3.3 802 实现模型.....47
2.1.7 层次性拓扑.....23	
2.2 传输介质概述.....24	

3.3.4 端系统与中继系统.....48	4.7.1 逻辑链路控制的传统应用... 78
3.4 逻辑链路控制子层概要.....49	4.7.2 逻辑链路控制正在淡出应用 中心地位.....79
3.5 介质访问控制子层概要.....50	小结.....79
3.5.1 概述.....50	思考题.....79
3.5.2 介质访问控制技术.....50	第5章 以太网80
3.5.3 介质访问控制地址.....51	5.1 概述.....80
3.5.4 关于介质访问控制地址的 讨论.....53	5.2 IEEE 802.3 标准.....81
3.6 物理层概要.....54	5.2.1 以太网的标准演进.....81
3.7 802 标准体系的演变.....54	5.2.2 802.3 的现行标准.....81
3.7.1 逻辑链路控制的中心地位...55	5.2.3 802.3 基本标准.....82
3.7.2 逻辑链路控制中心地位的 弊端.....55	5.2.4 802.3 的 PHY 增补标准.....82
3.7.3 802 系统体系的演进.....56	5.2.5 802.3 标准的其他增补.....84
小结.....57	5.3 载波侦听多路访问协议原理...84
思考题.....57	5.3.1 从 ALOHA 到 CSMA.....84
第4章 逻辑链路控制58	5.3.2 载波侦听多路访问协议中的 坚持策略.....86
4.1 引言.....58	5.3.3 冲突的检测与退避.....87
4.2 逻辑链路控制的标准化.....58	5.3.4 介质访问控制协议的性能...89
4.2.1 IEEE 802.2 标准.....59	5.4 介质访问控制的结构与服务...93
4.2.2 关于通信模式.....59	5.4.1 介质访问控制子层系统结构...93
4.2.3 高级数据链路控制规程标准 简介.....61	5.4.2 介质访问控制子层服务.....94
4.3 逻辑链路控制服务.....61	5.4.3 介质访问控制子层服务.....95
4.3.1 逻辑链路控制服务概述.....61	5.5 介质访问控制帧结构.....96
4.3.2 逻辑链路控制提供的服务...62	5.5.1 802.3 帧结构的演进.....96
4.3.3 逻辑链路控制使用的服务...68	5.5.2 以太网分组.....97
4.4 逻辑链路控制规程的类型与 等级.....69	5.5.3 介质访问控制帧.....98
4.4.1 逻辑链路控制规程类型.....69	5.5.4 介质访问控制帧.....100
4.4.2 逻辑链路控制规程等级.....69	5.5.5 帧结构演进与 IP 匹配.....101
4.5 LLC PDU 结构与规程元素.....71	5.6 802.3 的介质访问控制层.....101
4.5.1 LLC PDU 结构.....71	5.6.1 介质访问控制子层功能...102
4.5.2 逻辑链路控制规程元素.....73	5.6.2 带冲突检测载波侦听多路 访问的运行.....102
4.6 规程描述.....76	5.6.3 访问的一致性.....104
4.6.1 规程类型 1 描述.....76	5.6.4 冲突检测与冲突通告.....105
4.6.2 规程类型 2 描述.....77	5.6.5 随机退避与重发.....105
4.6.3 规程类型 3 描述.....78	5.6.6 系统参数值.....106
4.7 逻辑链路控制典型应用.....78	5.6.7 全双工模式.....107
	5.7 物理层系统结构.....109

5.7.1 物理层架构的变迁	109	6.6.1 协议产生的背景	168
5.7.2 物理层参考模型	111	6.6.2 生成树协议概要	169
5.7.3 物理层服务原语	114	6.6.3 协议的运行	172
5.8 PHY 规范	115	6.6.4 网桥协议数据单元 BPDU	175
5.8.1 十兆位以太网	115	6.6.5 生成树协议的性能评估	176
5.8.2 百兆位以太网	120	6.7 快速生成树协议	176
5.8.3 千兆位以太网	129	6.7.1 快速生成树协议对生成树 协议的改进	177
5.8.4 万兆位以太网	136	6.7.2 快速生成树协议与生成树 协议的比较	179
5.8.5 接口速率自动协商	147	6.8 交换机与交换式局域网	180
5.8.6 以太接入网	150	6.8.1 以太网交换机	180
5.8.7 几个附加议题	152	6.8.2 交换式以太网	182
5.8.8 物理层小结	153	6.8.3 链路聚合协议	183
小结	154	小结	184
思考题	155	思考题	184
第 6 章 网桥与交换式局域网	156	第 7 章 虚拟局域网	186
6.1 引言	156	7.1 引言	186
6.2 网桥与交换机概述	156	7.2 虚拟局域网基础知识	186
6.2.1 术语“LAN”与“桥接式 LAN”	156	7.2.1 虚拟局域网产生的背景	186
6.2.2 网桥标准及其发展	157	7.2.2 虚拟局域网的基本概念	187
6.2.3 网桥的主要功能	157	7.2.3 虚拟局域网的相关术语	189
6.2.4 网桥的工作特点	159	7.2.4 虚拟局域网网桥协议结构	192
6.2.5 网桥与交换机	159	7.3 虚拟局域网网桥的运行原理	193
6.3 网桥的体系结构	160	7.3.1 运行要素	193
6.3.1 基本协议模型	160	7.3.2 学习过程	193
6.3.2 网桥的系统结构	160	7.3.3 转发过程	193
6.4 网桥的运行原理	162	7.3.4 帧处理小结	194
6.4.1 运行基本要素	162	7.4 虚拟局域网协议格式	196
6.4.2 帧接收过程	162	7.4.1 虚拟局域网协议概述	196
6.4.3 学习过程	163	7.4.2 以太网加标帧格式	197
6.4.4 转发过程	163	7.5 虚拟局域网的配置	198
6.4.5 帧发送过程	164	7.6 虚拟局域网之间的通信	199
6.4.6 帧处理小结	164	7.7 虚拟局域网和以太网技术在城 域网中的扩展	201
6.5 MAC 地址过滤库	165	7.7.1 IEEE 802.1ad 技术	201
6.5.1 过滤库基本概念	165	7.7.2 IEEE 802.1ah 技术	206
6.5.2 动态过滤库	165	小结	211
6.5.3 静态过滤库	167	思考题	211
6.5.4 过滤库小结	168		
6.6 生成树协议	168		

第8章 无线局域网	213	8.6.5 随机后退	248
8.1 引言	213	8.6.6 多片连发传输	249
8.1.1 无线接入的兴起	213	8.6.7 DCF 访问过程	251
8.1.2 无线接入特定应用	214	8.6.8 CSMA/CA 小结	256
8.1.3 无线局域网的发展	214	8.7 物理层	257
8.2 IEEE 802.11 标准	215	8.7.1 概述	257
8.2.1 802.11 标准的发展	215	8.7.2 参考模型	259
8.2.2 802.11 基本标准	216	8.7.3 服务与服务原语	262
8.2.3 802.11 增补标准	217	8.7.4 802.11 PHY	264
8.2.4 802.11 新标准	218	8.7.5 802.11a PHY	266
8.2.5 关于 Wi-Fi	218	8.7.6 802.11b PHY	269
8.3 网络系统结构	219	8.7.7 802.11g PHY	270
8.3.1 基本网络结构	219	8.7.8 802.11n PHY	271
8.3.2 无线介质对系统的影响	220	8.7.9 小结	272
8.3.3 服务区与服务组	221	8.8 安全性	273
8.3.4 网络系统构成	222	8.8.1 安全需求	273
8.3.5 分发系统	223	8.8.2 安全标准	274
8.3.6 802.11 参考模型	224	8.8.3 安全技术	274
8.4 服务	226	8.8.4 安全应用	277
8.4.1 概述	226	小结	281
8.4.2 服务分类	226	思考题	281
8.4.3 信息分发服务	227	第9章 城域网与弹性分组环	282
8.4.4 关联服务	229	9.1 引言	282
8.4.5 接入控制和机密服务	229	9.2 环网技术简介	283
8.4.6 其他服务	230	9.2.1 环型网络基础	283
8.4.7 服务之间的关系	230	9.2.2 令牌环	283
8.5 介质访问控制层	230	9.2.3 光纤分布式数据接口	283
8.5.1 介质访问控制服务基本 概念	231	9.2.4 分布式队列双总线	284
8.5.2 介质访问控制服务定义	231	9.2.5 同步数字体系环路	284
8.5.3 介质访问控制服务原语	231	9.3 弹性分组环的发展与标 准化	285
8.5.4 介质访问控制结构	232	9.3.1 背景	285
8.5.5 介质访问控制帧格式	233	9.3.2 RPR 的技术演进	285
8.5.6 典型过程	237	9.3.3 IEEE 802.17 标准	286
8.6 带冲突避免的 CSMA 协议	241	9.4 系统概述	286
8.6.1 概述	242	9.4.1 网络系统结构	286
8.6.2 时隙与帧间间隔	243	9.4.2 主干环结构	287
8.6.3 载波侦听	245	9.4.3 节点结构	287
8.6.4 ACK 与 RTS/CTS	246	9.4.4 节点的数据操作	288

9.4.5 系统业务.....	289	第 10 章 无线城域网	317
9.4.6 系统特点.....	290	10.1 引言.....	317
9.4.7 参考模型.....	291	10.2 早期无线城域网技术.....	317
9.5 技术概要.....	293	10.2.1 本地多点分配业务技术... 317	
9.5.1 空间复用.....	293	10.2.2 应用现状.....	319
9.5.2 带宽分配.....	293	10.3 无线城域网标准 IEEE 802.16... 320	
9.5.3 拓扑自动发现与即插即用...294		10.3.1 标准及其演进.....	320
9.5.4 自动保护.....	294	10.3.2 系统结构.....	322
9.5.5 公平机制.....	295	10.3.3 系统业务.....	324
9.6 介质访问控制子层.....	296	10.3.4 技术特点.....	325
9.6.1 介质访问控制子层结构.....	296	10.3.5 参考模型.....	325
9.6.2 带宽分配机制.....	298	10.4 MAC 层技术.....	326
9.6.3 介质访问控制数据通路.....	298	10.4.1 MAC 层概述.....	326
9.6.4 数据接收与发送操作.....	303	10.4.2 业务会聚子层.....	328
9.6.5 介质访问控制帧格式.....	307	10.4.3 MAC 公共子层.....	330
9.7 物理层.....	311	10.4.4 安全子层.....	340
9.7.1 物理层结构.....	311	10.5 物理层技术.....	340
9.7.2 分组型物理层接口.....	312	10.5.1 概述.....	340
9.7.3 SDH 物理层接口.....	313	10.5.2 物理层技术要点.....	341
9.8 RPR 网桥.....	313	10.5.3 2GHz~11GHz 频段的增强 技术.....	342
9.8.1 系统结构.....	314	小结.....	345
9.8.2 与基本网桥的差异.....	315	思考题.....	345
9.8.3 对生成树协议的支持.....	315	附录 中英文缩略语对照表	346
小结.....	316	参考资料	350
思考题.....	316		

第 1 章 绪 论

一种网络，计算机的“局域”网络，正在全球范围发展。面对互联网铺天盖地的大潮，无论是大型企业、大学还是政府，都宣称要在自己的大楼内、园区内、城市内建设高性能的“局域”网络，都宣称将依托自己高性能的“局域”网络构建信息化基础设施，构建数字化楼宇、数字化校园，甚至数字化城市。

这一事实引起我们思考两个问题：究竟什么是“局域”网络；局域网络为什么会成为互联网时代信息化基础设施的重要构成。

作为本书的开始，本章将主要讨论：

- 几个重要的入门级概念（包括术语 LAN/MAN/WAN、局域网络的需求与应用）；
- 局域网与城域网的发展简史；
- 局域网络的基本结构；
- 局域网络标准与标准的制定；
- 局域网与城域网的定义，以及定义反映出的网络特点。

1.1 引 言

当前广泛使用的术语“局域网”显然早已不是局限于局域范围了，其覆盖范围已经延伸到大型的园区甚至大型的都市。因此，我们首先讨论术语“局域网”的由来与当前的含义，讨论为什么会经常作为一个紧密关联的话题而并列局域网与城域网，起源于小范围覆盖的局域网络技术为什么会延伸到大范围覆盖的园区甚至城市。

本书中首先需要明确的 3 个最基本的术语是：

- 局域网（Local Area Network, LAN）；
- 城域网（Metropolitan Area Network, MAN）；
- 广域网（Wide Area Network, WAN）。

顾名思义，这三个术语的基本含义的区别是覆盖范围。LAN 覆盖局部区域，MAN 覆盖都市区域，WAN 覆盖多个城市的广大区域。

历史上的局域网远不像今天这样引人注目。20 世纪 70 年代出现的局域网，只能连接几台几十台 PC，覆盖一个最多几个办公室，共享硬盘、打印机等“昂贵外设”，谁也预料不到今日一个“局域网络”可以覆盖一个大楼甚至一个大型的园区，可以连接成千上万台计算机。

而且，高性能的局域网络是互联网的最重要的基础构件，全球范围内有数以百万甚至千万的局域网络通过互联网连成了一片。

与术语“局域网”不一样的是，当初并没有术语“城域网”也没有专门的城域网类型，与“局域网”并列的不是“城域网”而是“广域网”。当年认为，采用局域网技术的网络通常只能覆盖几个房间，需要覆盖多个大楼的2~3千米范围已经是十分困难了。城域网范围几十千米的传输，一来是需求量并不多，二来是合适的技术选择也只能是采用广域网技术实现，因此，在城域网范围内互连少量的局域网当然应该是由电信运营商使用广域网技术予以实现。

今天，局域网通过城域网互连的需求已经大量涌现，新一代的城域网技术具有很高的性能和相当低的成本，这种城域网采用了与局域网相同的技术思路并由相同的标准化机构管理。城域网已经崛起并且与局域网并列于同一系统结构之中。

因此，局域网与城域网并列成为了本书的主题。

本书中经常使用局域网这一术语，但在不同的场合其含义可能并不完全相同。为叙述简单，本书常常用局域网（LAN）泛指局域网与城域网（LAN&MAN），例如第3章“局域网的协议体系结构”是讨论局域网与城域网共同的体系结构；有时则只是指局域网，例如“以太网技术已经从局域网延伸到城域网”；有时专指某一类甚至专指具体的局域网，例如“网桥的功能是互连多个局域网”。通常，读者通过上下文的理解是可以正确判断的。

近年来，局域网得到了高速的发展，高速发展的动力源于网络应用需求的快速扩大。应用激发了需求，需求深化了应用，需求与应用相互促进并牵动了网络的发展。

网络上的应用十分丰富不胜枚举，但其基本特征是资源共享。资源共享可以分为3大类型：

- 设备共享；
- 信息共享；
- 应用共享。

在局域网发展初期，设备共享是重要的网络应用之一。早期局域网的主要应用就是文件服务器与打印服务器。局域网上配置文件服务器可以让网络用户共享十分昂贵的硬盘，因而用户站只需要配置软盘驱动器甚至是无盘工作站。网络上的打印服务器让网络用户可以共享价值高昂的高速打印机。今天，硬件价格的急剧下降已经使设备共享远不如当年那样令人激动，但是网络上的设备共享仍然找到了新的应用天地。例如，网络共享存储已经开始为免除随身携带存储设备提供了便利，而且正在发展为一种十分良好的数据容灾备份措施。

信息共享当年是现在仍然是网络上的最重要应用，在大量高性能局域网通过互联网在全球连成一片的今日尤其如此。重要的信息共享包括点对点交换信息的电子邮件、点对多点发布信息的网页浏览，等等。高性能的局域网已经成为从互联网快速获取大量信息的最佳平台。

应用共享是网络应用发展中的后来者，其发展虽然相对较晚但势头十分迅猛。电子商务、电子政务、远程学习和远程医疗中都有大量的应用共享。特别值得指出的是工作领域中的工作流软件与娱乐领域中的网络游戏，都是近年来风头正健的应用共享典型例子。

1.2 局域网与城域网的发展

本小节通过局域网的技术发展史分析局域网的技术变迁，列举局域网当前的总体性技术

要点,最后讨论城域网的引入。

1.2.1 局域网的发展简史

纵观40年来局域网的发展历史,可以将局域网的发展分为几个阶段:20世纪70年代的大量技术涌现,80年代的众多标准制定,90年代的技术汇聚,以及进入21世纪以来的全面技术更新。

20世纪70年代是局域网技术的发展启动期。60年代末期计算机网络领域开始了全面的探索性研究:基础性的计算机网络理论,着重于路由的广域网理论,介质/拓扑/MAC协议三者紧密关联的局域网理论,都开始取得大批令人激动的丰硕成果。进入70年代,基于这些成果的产品大量涌现,其中最为著名的是以太网、令牌总线和令牌环。

与所有通信系统一样,标准化是网络产品发展的关键环节,标准的制定是市场竞争的制高点。20世纪80年代可以说是局域网标准制定的激烈竞争期,百花齐放的技术与产品都非常积极地推进标准化进程,多个国际性的标准化机构也都参与了LAN/MAN标准的制定,在LAN/MAN领域多个开放性的业界标准中,IEEE 802标准是最具影响力的一个。IEEE 802制定了一系列LAN/MAN标准,IEEE 802.3~IEEE 802.14(标准的编号是连续的,仅缺编号802.13)定义了多种LAN/MAN的具体技术规范,这些标准中既包括得到广泛应用的802.3标准,也包括几乎从来没有得到应用的802.6标准。众多的标准是发展兴旺的一个标志,但是并不是所有的标准都能经受时间的考验。

在技术竞争中,一些技术发展了,一些技术消亡了,这就是近百年来技术推动通信网络发展的历史。20世纪80年代发展起来的众多标准,经过90年代的技术考验,市场的大浪淘汰了一切不适应的产品,使技术又汇聚到了少数的优胜者上。802.3~802.14标准中,绝大部分已经被淘汰或几乎被淘汰,保留下来并得到进一步发展的仅仅有802.3与802.11。当然,在技术领域争夺制高点的标准制定并没有停止,IEEE 802委员会又发布了802.15~802.17等新标准,还成立了新的工作组802.18~802.22开始新的标准制定工作。

进入21世纪以来,LAN/MAN的技术发展并没有停止,而是进一步地全面加速。网络速度急剧提高,有线网络传输速率已经达到10Gbit/s,而无线网络也正在发展数百兆比特每秒;无线通信技术在LAN/MAN领域开始了全面应用,出现了无线个域网、无线局域网、无线城域网、无线区域网,通信可以覆盖从数米到数十千米的广阔范围。特别重要的是,802网络的一些核心概念和核心技术正在得到全面的更新。LAN/MAN的技术不再仅仅适用于企业级的专用网络,而且可以适应运营商级的公众网络的需要。

1.2.2 局域网的技术变迁

20世纪70~80年代曾经是多种局域网技术缤纷呈现的时期,80年代~90年代的大浪淘沙,使得现今的局域网络优化到了少数几种类型。

20世纪70年代最为著名的局域网技术是以太网、令牌总线与令牌环。这三种技术在80年代分别被标准化为IEEE 802.3/802.4/802.5。除此之外还有著名的光纤分布式数据接口(Fiber Distributed Data Interface, FDDI)网络,负责FDDI标准的是ANSI X3T9.5(注意:不是IEEE

802), FDDI 标准中的一部分是由 ANSI (美国国家标准协会) 和 ISO 9314 系列制定的。

早期的局域网技术的一个重要特点是传输介质、网络拓扑、介质访问控制 (Medium Access Control, MAC) 协议三者紧密关联。以太网的标准是 IEEE 802.3, 使用 50Ω 的基带同轴电缆, 网络拓扑为总线型, MAC 协议是带冲突避免的 CSMA 协议 (CSMA/CD), 网络传输速率是 10Mbit/s。令牌总线的标准是 IEEE 802.4, 使用 75Ω 的宽带同轴电缆 (也就是有线电视系统使用的同轴缆), 网络的物理拓扑为总线型而逻辑拓扑为环型, 使用一种采用令牌传递机制的复杂的用 Ada 语言描述的 MAC 协议, 网络传输速率可以是 1Mbit/s, 5Mbit/s 或 10Mbit/s。令牌环的标准是 IEEE 802.5, 使用 4 类双绞线 (UTP 或 STP), 网络拓扑为环型, MAC 协议就是著名的令牌环协议, 网络传输速率是 4Mbit/s 和 16Mbit/s。FDDI 的标准是 ISO 9314 和 ANSI X3T9.5 系列, 使用的传输介质是多模光纤, 网络拓扑为环型, MAC 协议与令牌环的协议相仿, 网络传输速率为 100Mbit/s, 传输距离可以长达数千米。

当年, 对 MAC 协议和网络性能的分析大多指出: 802.3 是一种协议简单同时也是性能不高的网络标准, 因此适用于廉价的低端网络; 802.4 协议虽然复杂但是实时性能很好, 适用于工业环境中的自动化网络; 令牌环可靠性高、支持优先级, 是一种高性能的局域网; FDDI 的基本特点与令牌环相似而速率更高、距离更远, 不仅适用于园区级的主干网而且可以扩展用于城域网。

还有一些在局域网的发展过程中曾经是十分引人注目的标准。在网络提速到 100Mbit/s 的进程中曾经出现过一种命名为 AnyLan (可以适应任何网络) 的 100-VG 网络 (速率为 100Mbit/s 的十分好的网络), 这种采用基于需求优先级机制的网络协议相当精致, 这种 100-VG 技术被标准化为 IEEE 802.12。城域网的迫切需求还产生了采用分布式队列双总线 (Distributed Queue Dual Bus, DQDB) 协议的专门用于城域网的技术并被标准化为 IEEE 802.6。

然而, 市场推动的技术和产品的发展却完全出人意料。时过境迁, 当年广受关注与期望的一些技术和标准已是明日黄花风光不再, 而并不被看好的技术和标准却展现了发展的辉煌。例如, 曾经被十分看好的 IEEE 802.4~802.14 标准都已经几乎完全退出局域网的市场。当年并不被看好的以太网 (IEEE 802.3) 和一度进展缓慢的无线局域网 (IEEE 802.11) 得到了高速发展。

IEEE 802.3 定义的以太网当年被认为是一种价格廉价但网络性能很低的过渡性技术。然而在不经意间, 丑小鸭突然变成了美丽天鹅, 802.3 网络的性能发展令人眩目, 在有线网络的应用中几乎是一统天下, 以至于出现了“以太网无处不在” (Ethernet Everywhere) 的响亮口号。IEEE 802.11 标准定义的无线局域网曾经是在长期发展中进展缓慢, 现在已是柳暗花明, 性能得到了全面的提升, 应用的展开也是如火如荼。无线网络正在全面发展, 新发展的 IEEE 802.15/802.16/802.20/802.22 标准, 使灵活便捷的无线接入技术从局域网领域延伸, 开始全面覆盖个域网、城域网和区域网领域。

1.2.3 当前的局域网

从 20 世纪 80 年代 IEEE 802 标准开始制定以来, 局域网的发展日新月异, 在涉及特定局域网的技术领域与涉及全局的局域网技术领域都取得了影响深刻的发展。

特定局域网的技术发展十分引人注目, 主要集中在以太网与无线局域网两个领域。

以太网的技术标准虽然仍然是 802.3, 但已经在原始版本中增添了数十个修正文本。网络的速率已经全面提升到 10Gbit/s。传输介质集中到了双绞线与光纤(包括多模光纤与单模光纤), 双绞线的传输距离稳定地保持在 100m, 光纤的传输距离已经延长到数十千米。在交换技术的支撑下, 网络的拓扑架构已经全然不是总线型而是基于网状网结构的多级拓扑结构。MAC 协议虽然仍然是 CSMA/CD 然而已与当初的简单协议全然不同, 具有了支持优先级与多虚拟网络的能力。以太网不仅适用于小型的办公室、实验室, 而且已经适用于大型的园区级网络并正在进入城域主干网。

IEEE 802.11 在无线局域网的主导地位已经确立。网络传输速率已经达到 54Mbit/s, 并正在完成新一代的传输速率高达 300Mbit/s, 甚至可达 600Mbit/s 的高速标准。无线局域网不再仅仅是个别性的辅助接入手段而是正在发展控制大规模部署的标准。无线局域网的发展还带动了无线城域网等多种高性能无线接入技术的发展。

涉及全局性的技术发展虽然并不十分引人注目, 然而确是产生了更为深刻的影响。

交换技术进入局域网与局域网交换机的出现引起了局域网络领域的技术巨变。局域网不再是一种“共享介质”网络, 网络的吞吐能力有了成千上万倍的增强, 局域网的计算机接入能力也从成百台增加到数十万台, 网络的覆盖范围从几个办公室延伸到了数十个大楼, 一个物理网络可以被划分为上千个虚拟网络。802 网络也正在从一个用户的专用网络发展成运营商的公众网络。

1.2.4 城域网的发展

城域网的需求很早就已产生, 而当前的需求发展正在加速。早期需求主要是针对一个大型用户的专用网络, 通过城域网互连分布在城市中的多个分散的局域网。当前的需求已经发展成为运营商建设一个覆盖城域范围的公众网络, 为多个用户提供城域范围内多个局域网络的安全、高效、低成本的互连。

城域网经历了长期而曲折的发展历程。早期的 IEEE 802.6 标准采用 DQDB 技术定义了一种城域主干网规范, 由于种种原因 802.6 标准并未得到实际应用。

在相当长的时间中, 局域网城域互连的需求落到了成熟而应用广泛的同步数字体系(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)技术上。SDH 是一种可靠性十分高的光纤通信技术, 是当前电信运营商网络的主流技术。运营商用 SDH 环迅速地承担了城域网的需求, 但是由于 SDH 采用的静态时分复用通信机制与局域网络的基于分组的通信机制无法实现良好的匹配; 这种城域网虽然可靠性高传输质量好, 然而承载效率不高, 运行成本也相当高。

IEEE 802 委员会认为, 采用与局域网同样的基于分组的通信机制建立城域网技术规范是一条合理的技术路线。为此, 802 委员会认为不能只是关注局域网而应当扩大关注领域到局域网与城域网, 并声明 802 委员会是 LAN/MAN 委员会, 802 网络不只包含了局域网也开始包含城域网。

近年来制定的 IEEE 802.17 标准采用了 RPR(弹性分组环)技术。RPR 是一种高速有线网络技术, 适用于构建覆盖城域的主干网络, 具有与 SDH 相当的高可靠性。

负责 802 网络总体技术的 802.1 工作组也开始了新一代城域网的全面技术研究。已经发布的 IEEE 802.1ad(Q in Q)标准和正在制定中的 IEEE 802.1ah(MAC in MAC)标准, 为使

用基于分组的技术构建电信级城域网，为高性能、高可靠、低成本的互连各种局域网络，定义了与 802 网络统一的系统结构。

新一代的城域网正在兴起。

1.3 局域网的基本结构

发展初期的局域网结构相当简单。网络的拓扑结构主要是总线型、星型、环型。网络的主要应用场合是小范围的办公室网络或实验室网络。

在几十年的发展历史中，局域网的结构已经从简单的单一结构发展成多种类型的基本结构，使用这些基本结构可以组成结构相当复杂的高性能网络。

局域网的结构可以按不同的观点进行分类。本节概要介绍一些主要的类型。

1.3.1 园区级网络

园区级网络可以覆盖一个包含多个楼宇的园区，根据网络的规模与覆盖区域的大小可以将园区级网络分为办公室网络、楼宇网络、园区网络 3 种类型，这是最常见、最直观的一种分类方式。

1. 办公室网络

办公室网络是一种简单的局域网，又称为工作组网络。这种网络覆盖一个房间或临近的几个房间，使用一台交换机，可以接入几十台计算机，接入速率通常是 100Mbit/s。这种小型局域网可用于少量办公室、实验室联网，也可用于网络教室。

办公室网络具有性能高、成本低、安装维护方便等特点，是当前最为常见的局域网。由于小型局域网特别是小型以太网的突出优点，这种结构已成为近年来兴起的家庭网络的基本结构。

2. 楼宇网络

比办公室网络覆盖规模大一些的是覆盖一幢大楼的楼宇网络。楼宇网络在一幢大楼内使用多台交换机，可以接入上百台计算机。由于一幢大楼内通常是大型企业的一个部门或是大学的一个学院，所以这种网络也被称为部门级网络，或称为（校园网的）二级网络。

这种网络的结构已经相当复杂。网络可以分为核心层与接入层两个层次，核心层也称为主干网（backbone）。楼宇网络的主干网通常比较简单，由一台核心交换机通过大楼内的垂直敷设的主干光缆连接多台配置于各个楼层的接入交换机构成，主干链路速率通常为 1 000Mbit/s。

3. 园区网络

园区网络比楼宇网络更大，可以覆盖包含多个建筑物的一个园区。由于这种结构最初流

行于大学的校园，所以也被称为校园网（campus network），现在这种结构已经广泛用于大型的企业网络与政府网络。大量的校园网与企业网都是园区网络。

园区网络的结构则更为复杂，大体上也是分为核心层（主干层）与接入层两个层次。园区内的各个建筑物之间预先敷设有室外光缆，通过这些室外光缆互连若干台主干交换机（园区的中心交换机和各楼宇的分中心交换机）构成园区主干网。分中心交换机连接各个楼宇的接入交换机构成用户接入网。

园区网络的覆盖直径可以长达数千米，如果是多园区结构（例如校园网中的总校与分校）甚至可以长达几十千米。主干交换机可以多达十台以上，接入交换机可以多达数百台，接入的计算机更是可以多达上万台。

1.3.2 数据中心网络

还有另外一种类型的网络与上面提及的网络有显著的区别，这就是数据中心网络。这种网络并没有一般的 PC 上网，其接入的设备主要是各种后台服务设备。由于这些设备都位于普通用户“看不见”的后台，所以也称为后端网络（backend network）。

随着网络特别是互连网络成为存储中心（集中存放了海量信息）与应用中心（大量的服务器中运行了许多复杂应用），出现了互联网数据中心（Internet Data Center, IDC），或者简称为数据中心。数据中心放置了各种服务器，例如 Web 服务器、应用服务器、数据库服务器，放置了高性能的存储设备与存储区域网（SAN），放置了多种网络监控系统与监控设备，例如网管工作站（NMS）、网络服务水平（SLA）监视设备、网络安全设备等。IDC 提供一个 7×24 不间断运行的电信级机房环境，通过一个高性能的数据中心网络将上述设备互连起来。

数据中心网络是一个高吞吐率高可靠性的局域网，直接连接在园区网络的中心交换机或互联网的核心网络上。主干链路速率可能高达 10Gbit/s，设备接入链路速率也能达到 1 000Mbit/s，为网络上的所有设备的高质量服务提供基础网络环境。

1.3.3 互联网中的局域网

上面我们已经多次提到互联网。虽然互联网的结构相当复杂，但是互联网的本质结构，可以从逻辑上和物理上予以描述。互联网是一个 IP 网络，而 IP 网络是一个建立在物理网络之上的逻辑网络，因此，互联网在逻辑上是一个使用 IP 互连多个 IP 子网的覆盖全球的逻辑网络。当前，承载 IP 的物理网络特别是高性能的物理网络，通常都是各种形式的高性能局域网，因此，互联网在物理上就是一个使用大量的高性能局域网互连形成的覆盖全球的广域网。互联网中所有的网络节点（通称 POP，或服务提供点）、所有的数据中心、所有的大型用户（例如校园网和企业网），都是一些相当复杂的高性能局域网。

正是互联网在全球的普及需要大量高性能的子网，这种需求极大地促进了局域网的发展，已是一个广为人知的事实。

一个不为人们广为注目然而可能是影响更为深刻的事实是：作为互联网技术核心的 IP 网络与 IP，不仅深刻影响了广域网的技术发展，同样也深刻影响了局域网技术的发展。由于 IP