



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 计算机系列教材

高级计算机网络

孔祥杰 姚琳 编著

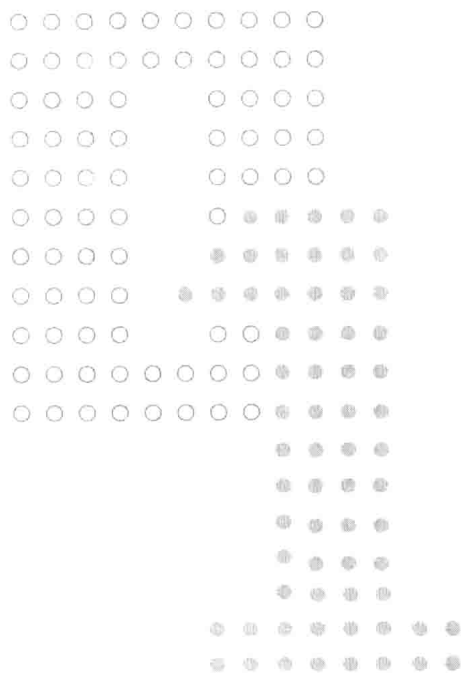


清华大学出版社

计算机系列教材

夏锋 孔祥杰 姚琳 编著

高级计算机网络



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了现代计算机网络的基础理论和关键技术,主要内容涵盖互联网、无线网络和物联网三大技术模块。基本反映了近年来计算机网络领域的前沿技术和研究成果,并尽可能地提供了详尽的参考文献。

本书内容新颖、图文并茂、结构合理,通俗易懂,既可作为计算机、软件工程、通信等专业的研究生教材,也可作为本科生提高型教材,同时还可供从事计算机网络相关领域的工程技术等人员使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

高级计算机网络/夏锋等编著.--北京:清华大学出版社,2014

计算机系列教材

ISBN 978-7-302-36555-6

I. ①高… II. ①夏… 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(2014)第112344号

责任编辑:白立军 顾冰

封面设计:常雪影

责任校对:时翠兰

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印刷者:北京富博印刷有限公司

装订者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19.25 字 数:447千字

版 次:2014年10月第1版 印 次:2014年10月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:34.50元

产品编号:052671-01

计算机网络技术日新月异,已成为推动社会生产力发展和社会信息化的重要基础。我国“十二五”规划明确将信息技术确定为七大战略性新兴产业之一。《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》关于发展“新一代信息技术产业”的主要内容重点强调:“加快建设宽带、泛在、融合、安全的信息网络基础设施,推动新一代移动通信、下一代互联网核心设备和智能终端的研发及产业化,加快推进三网融合,促进物联网、云计算的研发和示范应用。”计算机网络技术的重要性不言而喻。

基于上述背景和发展需求,编者结合多年从事计算机网络、高级计算机网络教学和科研经验编写了本书,试图全面系统地介绍计算机网络的理论和技术,反映近几年计算机网络领域的最新技术和研究成果。本书可以作为计算机、软件工程以及相关专业的的高年级本科生、硕士和博士研究生的教材和参考书,也可以为相关领域的从业者提供参考。

全书共分为 11 章,内容包括三大部分。

第一部分 互联网技术,由第 1~4 章组成。第 1 章对计算机网络进行概述,使读者了解计算机网络的发展、定义、组成、分类、功能、应用等基本知识,并对计算机网络体系结构和常用的网络设备进行讲述。第 2 章对互联网 MAC 协议进行详细介绍,重点涉及以太网、令牌环网、令牌总线网、FDDI、100VG-AnyLAN 网等不同类型的网络。第 3 章讲述互联网路由技术,首先讲述路由等基本概念;然后介绍典型路由算法,并对 IP 单播网络路由协议、IP 组播网络路由协议进行详细讲解;最后讲述路由可扩展性问题以及新一代路由技术。第 4 章讲述互联网拥塞控制,首先对拥塞控制的类型以及拥塞控制算法的评价方法进行介绍,然后分别介绍 TCP 拥塞控制和 IP 拥塞控制相关技术方法。

第二部分 无线网络技术,由第 5~8 章组成。第 5 章介绍无线个域网,重点讲解 ZigBee、蓝牙、IEEE 802.15.3 协议这三种无线个域网技术。第 6 章讲述无线局域网,主要讲述无线局域网的相关技术标准,对 IEEE 802.11 标准的一些细节进行解析。第 7 章讲述无线城域网,首先介绍 IEEE 802.16 标准,然后详细介绍 WiMax 关键技术、特点、联盟与发展等。第 8 章讲述无线广域网,重点介绍 GSM、GPRS、EDGE、CDMA、UMTS 和 4G 等多种无线广域网技术。

第三部分 物联网技术,由第 9~11 章组成。第 9 章介绍物联网,涉及物联网的相关概念、体系结构、关键技术、典型应用等。第 10 章讲述无线传感器网络,包括无线传感器网络的发展现状、通信体系结构、系统设计中的影响因素、典型应用等。第 11 章讲述车载自组织网络,首先介绍其特点及相关挑战等,然后详细介绍相关通信协议和关键技术,最

后介绍如何对车载自组织网进行模拟。

本书的参考学时数为 32 学时。在课程学时较少的情况下,可针对具体情况选取部分知识进行学习。本书每章后均有小结和思考题,可使读者更好地回顾每章知识;并尽可能提供了较详尽的参考文献,作为进一步阅读学习的参考。

本书在编写过程中得到了许多专业教师和研究生的支持与帮助,在此表示感谢。特别需要说明的是,大连理工大学软件学院 2010 级的一些研究生完成了本书部分章节的初稿,移动与社会计算实验室的多位研究生参与了书稿的修改工作,没有他们的辛勤劳动,本书就无法成稿,但由于人数较多,无法一一列出。在此对这些学生所做的工作表示特别的感谢。

本书内容参考了很多现有论著材料和网络资源,再次对这些资料的原著者表示感谢。编者的工作得到了国家自然科学基金(60903153、61174174、61203165)、大连理工大学教育教学改革基金(JC201333)、大连理工大学研究生院教改基金(JP201006)、系统控制与信息处理教育部重点实验室开放基金(SCIP2012001)等项目资助,在此向相关部门表示感谢。

由于编写水平有限,书中难免存在错漏和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2014 年 6 月于大连理工大学

F O R E W O R D

第 1 章 计算机网络基础	/1
1.1 计算机网络的产生和发展	/1
1.1.1 计算机网络的产生	/1
1.1.2 计算机网络的发展	/2
1.2 计算机网络的定义	/6
1.3 计算机网络的组成	/7
1.3.1 物理组成	/7
1.3.2 功能组成	/7
1.3.3 现代网络结构的特点	/9
1.4 计算机网络的分类	/10
1.4.1 按网络规模分类	/10
1.4.2 按网络拓扑结构分类	/10
1.4.3 按传输介质分类	/12
1.4.4 按数据传输方式分类	/13
1.4.5 按数据交换方式分类	/14
1.4.6 按网络组件的关系分类	/14
1.4.7 按用途分类	/15
1.4.8 其他分类	/15
1.5 计算机网络的功能和应用	/16
1.5.1 计算机网络的功能	/16
1.5.2 计算机网络的应用	/17
1.6 计算机网络体系结构	/18
1.6.1 协议	/18
1.6.2 计算机网络体系结构的形成	/19
1.6.3 ISO/OSI 参考模型	/20
1.6.4 TCP/IP 参考模型	/23
1.6.5 ISO/OSI 与 TCP/IP 参考模型 的比较	/25
1.7 常用的网络设备	/25
1.7.1 物理层设备	/25
1.7.2 数据链路层设备	/26
1.7.3 网络层设备	/33

1.7.4 高层设备 /34

本章小结 /34

思考题 /34

参考文献 /35

第2章 互联网 MAC 协议 /36

2.1 概述 /36

2.2 局域网体系结构 /36

2.3 逻辑链路控制协议 /38

2.4 介质访问控制协议 /41

2.4.1 以太网 MAC 协议 /42

2.4.2 令牌环网 MAC 协议 /45

2.4.3 令牌总线网 MAC 协议 /49

2.4.4 FDDI 网 MAC 协议 /54

2.4.5 100VG-AnyLAN 网 MAC 协议 /57

本章小结 /59

思考题 /59

参考文献 /59

第3章 互联网路由技术 /60

3.1 概述 /60

3.1.1 路由相关概念 /60

3.1.2 路由表 /61

3.1.3 路由器 /62

3.2 路由算法及协议 /66

3.2.1 典型路由算法 /66

3.2.2 路由协议 /68

3.3 IP 单播网络路由协议 /71

3.3.1 内部网关路由协议 /71

3.3.2 外部网关路由协议 /76

3.4 IP 组播路由协议 /79

3.4.1 组播简介 /79

- 3.4.2 组播转发机制 /81
- 3.4.3 IP 组播路由协议分类 /81
- 3.5 互联网路由可扩展性 /83
 - 3.5.1 影响互联网路由可扩展性的因素 /83
 - 3.5.2 可扩展性解决方案 /84
- 3.6 新一代路由器及路由技术展望 /89
 - 3.6.1 路由器发展趋势 /89
 - 3.6.2 新兴路由技术 /91
- 本章小结 /95
- 思考题 /95
- 参考文献 /95

第 4 章 互联网拥塞控制 /97

- 4.1 概述 /97
 - 4.1.1 Internet 网络模型 /97
 - 4.1.2 互联网拥塞 /98
 - 4.1.3 拥塞控制 /99
- 4.2 网络拥塞控制的类型 /100
 - 4.2.1 控制论角度 /100
 - 4.2.2 实施控制的位置 /101
 - 4.2.3 实施控制的类型 /103
 - 4.2.4 反馈信息的类型 /104
- 4.3 拥塞控制算法的评价 /105
 - 4.3.1 资源分配的效率 /105
 - 4.3.2 资源分配的公平性 /106
 - 4.3.3 TCP 层的公平性 /107
 - 4.3.4 IP 层的公平性 /108
 - 4.3.5 特定网络的公平性 /108
 - 4.3.6 其他评价指标 /109
- 4.4 TCP 拥塞控制 /109
 - 4.4.1 基于分组丢弃反馈 /110
 - 4.4.2 基于路径延时反馈 /113

4.5	IP 拥塞控制	/115
4.5.1	IP 拥塞控制产生原因	/115
4.5.2	IP 拥塞控制算法	/115
	本章小结	/118
	思考题	/119
	参考文献	/119

第 5 章 无线个域网 /120

5.1	概述	/120
5.1.1	无线个域网简介	/120
5.1.2	无线个域网标准	/121
5.1.3	无线个域网技术	/121
5.2	ZigBee	/122
5.2.1	技术特点	/122
5.2.2	研究现状	/123
5.2.3	协议结构及关键技术	/124
5.2.4	优缺点	/135
5.2.5	主要应用	/136
5.3	蓝牙	/138
5.3.1	技术特点	/139
5.3.2	蓝牙系统的组成	/141
5.3.3	协议体系	/141
5.3.4	优缺点	/144
5.3.5	发展趋势	/145
5.4	IEEE 802.15.3 协议	/146
5.4.1	MAC 层	/146
5.4.2	物理层	/147
5.4.3	技术特点	/148
5.4.4	802.15.3 与超宽带	/150
5.5	其他无线个域网技术	/151
5.5.1	红外	/151
5.5.2	HomeRF	/153

5.5.3 其他	/154
本章小结	/155
思考题	/155
参考文献	/156
第6章 无线局域网	/158
6.1 概述	/158
6.1.1 无线局域网的技术特点	/158
6.1.2 无线局域网的优点	/159
6.1.3 无线局域网的主要功能	/160
6.2 相关技术标准	/161
6.2.1 IEEE 802 委员会下设分支机构	/161
6.2.2 IEEE 802.11 协议发展史	/162
6.3 IEEE 802.11 部分细节解析	/167
6.3.1 协议层次	/167
6.3.2 主要组件	/167
6.3.3 网络类型	/168
6.3.4 服务内容	/169
6.4 IEEE 802.11 MAC 协议	/171
6.4.1 简介	/171
6.4.2 分布式网络访问控制方式	/172
6.4.3 中心网络访问控制方式	/176
6.4.4 MAC 帧格式	/177
6.4.5 MAC 子层的管理	/179
本章小结	/181
思考题	/181
参考文献	/181
第7章 无线城域网	/183
7.1 IEEE 802.16 标准	/183
7.1.1 简介	/183
7.1.2 发展历程	/184

7.1.3	体系结构	/185
7.2	WiMAX 关键技术	/188
7.2.1	物理层	/188
7.2.2	MAC 层	/191
7.3	WiMAX 特点	/193
7.3.1	WiMAX 优缺点	/193
7.3.2	WiMAX 与 WiFi 的比较	/194
7.3.3	WiMAX 与其他技术的比较	/195
7.4	WiMAX 联盟	/196
7.5	WiMAX 的发展与应用	/197
	本章小结	/198
	思考题	/198
	参考文献	/199

第 8 章 无线广域网 /201

8.1	概述	/201
8.1.1	无线广域网的定义	/201
8.1.2	无线广域网的几种主流标准	/202
8.1.3	无线广域网的应用	/204
8.2	GSM	/204
8.2.1	GSM 简介	/204
8.2.2	GSM 技术特点	/205
8.2.3	GSM 优缺点	/205
8.3	GPRS	/206
8.3.1	GPRS 简介	/206
8.3.2	GPRS 技术特点	/206
8.3.3	GPRS 优缺点	/207
8.4	EDGE	/208
8.4.1	EDGE 关键技术标准	/208
8.4.2	EDGE 优势及不足	/210
8.5	CDMA	/212
8.5.1	CDMA 简介	/212

- 8.5.2 CDMA 关键技术 /212
- 8.5.3 CDMA 特点和技术优势 /215
- 8.6 UMTS /215
 - 8.6.1 UMTS 简介 /215
 - 8.6.2 UMTS 的网络结构 /216
 - 8.6.3 UMTS 优势及不足 /218
- 8.7 4G /218
 - 8.7.1 4G 简介 /218
 - 8.7.2 4G 系统网络结构及其关键技术 /219
 - 8.7.3 4G 优势及不足 /220
- 本章小结 /221
- 思考题 /222
- 参考文献 /222

第9章 物联网 /223

- 9.1 概述 /223
 - 9.1.1 物联网定义及特征 /223
 - 9.1.2 物联网组成要素 /224
 - 9.1.3 物联网发展历程 /224
 - 9.1.4 物联网应用 /225
- 9.2 体系结构 /228
 - 9.2.1 感知层 /228
 - 9.2.2 接入层 /230
 - 9.2.3 互联网层 /231
 - 9.2.4 服务管理层 /231
 - 9.2.5 应用层 /233
- 9.3 关键技术 /233
 - 9.3.1 RFID /233
 - 9.3.2 云计算 /235
- 9.4 物联网在移动服务上的应用 /238
 - 9.4.1 MRFID 服务架构与分类 /238
 - 9.4.2 孤立服务方式 /239

9.4.3	终端到终端服务方式	/239
9.4.4	性能指标	/241
9.5	亟待解决的问题	/241
	本章小结	/241
	思考题	/242
	参考文献	/242

第 10 章 无线传感器网络 /243

10.1	概述	/243
10.1.1	无线传感器网络的发展	/243
10.1.2	无线传感器网络的主要特点	/244
10.1.3	无线传感器网络研究现状	/245
10.2	通信体系结构	/247
10.2.1	应用层	/248
10.2.2	传输层	/249
10.2.3	网络层	/249
10.2.4	数据链路层	/253
10.2.5	物理层	/256
10.3	系统设计中的影响因素	/256
10.3.1	容错性	/256
10.3.2	兼容性	/257
10.3.3	生产成本	/257
10.3.4	硬件限制	/258
10.3.5	拓扑控制	/260
10.3.6	传输介质	/262
10.3.7	能耗	/263
10.4	典型应用	/264
10.4.1	军事应用	/264
10.4.2	环境监视	/265
10.4.3	医疗救护	/265
10.4.4	家居安全	/266
10.4.5	其他用途	/266

本章小结 /266

思考题 /267

参考文献 /267

第 11 章 车载网络 /269

11.1 概述 /269

11.1.1 车载网络技术特点 /269

11.1.2 车载网络面临的挑战 /270

11.1.3 车载网络有待解决的问题 /271

11.2 通信协议 /271

11.2.1 链路层协议 /271

11.2.2 网络层路由协议 /275

11.2.3 广播协议 /279

11.3 关键技术 /281

11.3.1 IP 地址自动配置 /281

11.3.2 车辆位置确认与跟踪 /283

11.3.3 移动管理 /285

11.4 车载网络模拟 /288

11.4.1 模拟方法 /289

11.4.2 移动模型的构建 /290

本章小结 /291

思考题 /292

参考文献 /292

第 1 章 计算机网络基础

在过去的 300 年中,每一个世纪都有一种技术占据主导地位。18 世纪伴随着工业革命而来的是机械时代;19 世纪是蒸汽机时代;20 世纪随着信息技术的发展和普及,人类社会迎来了信息时代。

进入 21 世纪,人类进入了信息化时代,从日常生活、学习以及工作到人们的思维和行为,无不打上了信息时代的烙印。借助无处不在的网络,人们之间的沟通变得更方便、更快捷。人们可以在网上交友、冲浪、浏览、购物、休闲、娱乐,可以享受即时通信,可以接受远程教育,而网上银行、网上购物、网上图书馆给人们的生活、学习和工作带来的便利更是不言而喻。

在如今的信息化社会中,计算机已从单一使用发展到集群使用。越来越多的应用领域需要计算机在一定的地理范围内联合起来进行协同工作,从而促进了计算机和数据通信这两种技术的紧密结合,形成了计算机网络这门学科。本章介绍计算机网络的相关知识。

1.1 计算机网络的产生和发展

世界上第一台电子计算机的诞生在当时是很大的创举,但是任何人都没有预测到几十年后的今天,计算机在社会各个领域的应用和影响是如此广泛和深远。当 1969 年 12 月世界上第一个分组交换网络 ARPANET 出现时,也不会有人预测到在时隔四十多年后的今天,计算机网络会在现代信息社会中扮演如此重要的角色。ARPANET 网络已从最初的 4 个节点发展为横跨全世界大多数国家和地区,跨接了上亿台计算机的国际互联网——因特网(Internet)。Internet 是当今世界上最大的计算机网络,目前还在发展之中。计算机网络的产生和发展,实质上是计算机技术和通信技术相结合并不断发展的过程。

1.1.1 计算机网络的产生

计算机网络是通信技术和计算机技术相结合的产物,它是信息社会最重要的基础设施,并将构筑成人类社会的信息高速公路。

通信技术的发展经历了一个漫长的过程,在人类生活和两次世界大战中都发挥了极其重要的作用。利用电技术进行通信已有一百多年的历史,其中具有里程碑意义的事件有:

- 1835 年:莫尔斯发明了电报。
- 1839 年:英国建立了 13 英里的铁路电报系统。

- 1844年：发明 Morse 电码，建立了从华盛顿到巴尔的摩的电报线路。
- 1874年：实现将 7 路信号合在一根物理线路上传送。
- 1876年：贝尔发明电话。
- 1906年：发明电子管。
- 1913年：发明电子管中继器，实现长途电话。
- 1918年：发明载波系统，实现多路复用。
- 1921年：发明电传。
- 20 世纪 40 年代：使用同轴电缆传输信号。
- 1946年：开始使用微波无线电通信。
- 20 世纪 60 年代：使用卫星通信。
- 20 世纪 70 年代：使用光纤通信。

1946 年诞生了世界上第一台电子数字计算机，从而开创了向信息社会迈进的新纪元。20 世纪 50 年代，美国利用计算机技术建立了半自动化地面防空系统 (Semi-Automatic Ground Environment, SAGE)，它将雷达信息和其他信号经远程通信线路送至计算机进行处理，第一次利用计算机网络实现了远程集中控制，这就是计算机网络的雏形。

1969 年，美国国防部高级研究计划署建立了世界上第一个分组交换网——ARPANET，即国际互联网的前身。这是一个只有 4 个节点的采用存储转发方式的分组交换网。1972 年在首届国际计算机通信会议上首次公开展示了 ARPANET 的远程分组交换技术。1976 年，美国 Xerox 公司开发了以太网。

计算机网络是半导体技术、计算机技术、数据通信技术和网络技术相互渗透、相互促进的结果。数据通信的任务是利用通信介质传输信息。

通信网为计算机网络提供了便利而广泛的信息传输通道，而计算机和计算机网络技术的发展也促进了通信技术的发展。

1.1.2 计算机网络的发展

随着计算机技术和通信技术的不断发展，计算机网络也经历了从简单到复杂、从单机到多机的发展过程，其大致过程可分为以下 4 个阶段。

1. 面向终端的计算机通信网络

在 20 世纪 50 年代和 60 年代，计算机的数量比较少并且价格昂贵，这些计算机都安装在少量的计算中心，并且使用也比较落后。于是有人提出了在用户所在地安装终端，通过远程线路将终端接入计算中心的计算机上，使用户不必到计算中心就可使用计算机的方案。这样就诞生了第一代计算机网络，称为面向终端的计算机网络，其结构如图 1-1 所示。按照今天的标准，这种网络只能称为联机系统。

1952 年，美国按照这种模式构建了 SAGE，它把远距离的雷达和其他测控设备的信号通过通信线路传送到一台旋风计算机进行处理和控制，首次实现了计算机技术与通信

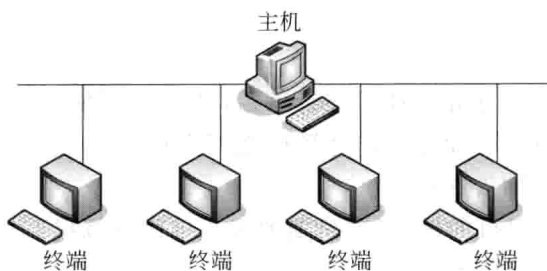


图 1-1 简单的面向终端的计算机通信网络

技术的结合。

但是这种模式存在着两个严重的问题：一是线路利用率低。长途线路成本很高，并且每个终端都使用专用的长途线路，利用率低，使用成本高。二是主机负担重。早期的计算机处理能力较弱，其设计目的是完成计算工作，其擅长的工作也是进行计算。现在加上通信，使得计算机把主要的时间花在不擅长的通信过程管理上，没有足够的时间进行计算，降低了计算机的效能。

针对这两个问题提出了相应的改进措施。对第一个问题，在用户端增加集中器，使得多个用户共享一条通信线路。对第二个问题，在计算机端增加一个通信控制处理机（或称为前端处理机），专门负责管理通信过程，如图 1-2 所示。这样不但将计算机承担的通信控制交由通信控制处理机完成，减轻了主机负担，而且降低了通信线路的成本。

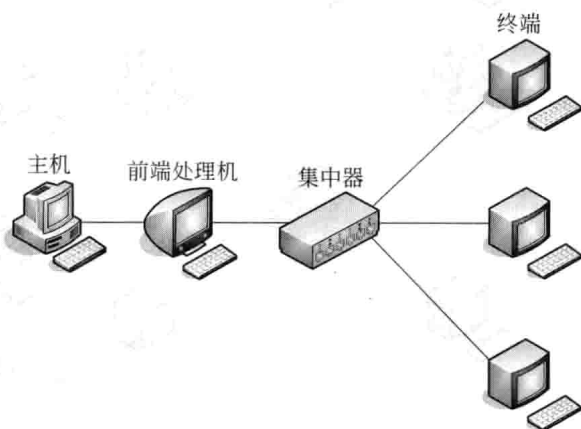


图 1-2 面向终端的复杂计算机通信网络

在 20 世纪 60 年代初，美国按照这种结构建造了一个飞机订票系统 SABRE，这一系统通过电话线将位于纽约的一台 IBM 计算机和超过 65 个城市的 2000 多台终端连接在一起，处理飞机座位库存和乘客记录，大大方便了售票工作和乘客。

面向终端的计算机通信网络是一种主从式结构，计算机处于主控地位，承担着数据处理和通信控制工作，而各终端一般只具备输入输出功能，处于从属地位。这种网络与现在所说的计算机网络的概念不同，可以说只是现代计算机网络的雏形。