

清华大学信息科学技术学院教材
—— 学院公共基础课程系列

信息科学技术概论

Introduction to Information Science and Technology

- 李衍达
Li Yanda
- 李志坚
Li Zhijian
- 张钹
Zhang Bo
- 孙家广
Sun Jianguang
- 吴澄
Wu Cheng
- 冯正和
Feng Zhenghe
- 林闯
Lin Chuang
- 管晓宏
Guan Xiaohong



清华大学出版社

清华大学信息科学技术学院教材
—— 学院公共基础课程系列

信息科学技术概论

Introduction to Information Science and Technology

- 李衍达
Li Yanda
- 李志坚
Li Zhijian
- 张钹
Zhang Bo
- 孙家广
Sun Jiaguang
- 吴澄
Wu Cheng
- 冯正和
Feng Zhenghe
- 林闯
Lin Chuang
- 管晓宏
Guan Xiaohong

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本教材共包含 8 讲内容,体系上可以分为两个部分,一部分是学科发展的论述,另一部分是专业教育和介绍。全部 8 讲的内容分别为:由信息科学技术学院的原院长李衍达院士讲授的开篇《信息时代与学习在清华》,由李志坚院士讲授的论述微电子学发展的专篇《一代微电子,一代信息技术》,由张钹院士讲授的论述计算机应用发展的专篇《面向 21 世纪的计算机应用技术》,由孙家广院士讲授的论述软件工程的专篇《软件工程概论》,由吴澄院士讲授的论述工业化、自动化和现代化的专篇《人造物与自动化》,由电子工程系主任冯正和教授讲授的论述电子信息技术发展和介绍清华大学电子工程系的专篇《电子信息科学技术——挑战极限、跨越时空》,由计算机科学技术系主任林闯教授讲授的论述计算机科学技术发展和介绍清华大学计算机科学技术系的专篇《计算机科学技术的发展》,由自动化系主任管晓宏教授讲授的论述自动化科学技术发展与介绍清华大学自动化系的专篇《自动化科学与技术的发展》。

本书的读者对象为信息科学与技术领域的广大师生和科技人员,既可作为电子科学与技术、计算机科学与技术、自动化科学与技术等系科概论课程的教材和参考书,也可作为相关领域的广大科学工作者和工程技术人员自学的读物,同时,还可作为有志于该领域的广大考生及家长了解信息科学技术领域各个专业和学科的参考读物。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

信息科学技术概论/李衍达等编著.——北京:清华大学出版社,2005.11

(清华大学信息科学技术学院教材——学院公共基础课程系列)

ISBN 7-302-11684-9

I. 信… II. 李… III. 信息技术—教材 IV. G201

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 098648 号

出 版 者: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

客户服务: 010-62776969

责任编辑: 田志明

印 刷 者: 北京四季青印刷厂

装 订 者: 三河市化甲屯小学装订二厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印 张: 16.75 字 数: 350 千字

版 次: 2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11684-9/TP·7629

印 数: 1~3000

定 价: 25.00 元

出版说明

本套教材是针对清华大学信息科学技术学院所属电子工程系、计算机科学与技术系、自动化系、微电子研究所、软件学院的现行本科培养方案和研究生培养计划的课程设置而组织编写的。这些培养方案和培养计划是基于清华大学对研究型大学的定位和对研究型教学的强调,吸纳多年来在教学改革与实践中所取得的成果和形成的共识,历经多届试用和不断修订而形成的。贯穿于其中的“本科教育的通识性、培养模式的宽口径、教学方式的研究型、专业课程的前沿性”的相关思想将成为我们组编本套教材所力求体现的基本指导原则。

本套教材以本科教材为主并适量包括研究生教材。定位上,属于信息学科大类中各个基本方向的基本理论和前沿技术的一套高等院校教材。层次上,覆盖学院公共基础课程、专业技术基础课程、专业课程、研究生课程。领域上,涉及6个系列14个领域,即学院公共基础课程系列,信息与通信工程系列(含通信、信息处理等领域),微电子光电子系列(含微电子、光电子等领域),计算机科学与技术系列(含计算机科学、计算机网络与安全、计算机应用、软件工程、网格计算等领域),自动化系列(含控制理论与控制工程、模式识别与智能控制、检测与电子技术、系统工程、现代集成制造等领域),实验实践系列。类型上,以文字教材为主并适量包括多媒体教材,以主教材为主并适量包括习题集、教师手册等辅助教材,以基本理论和工程技术教材为主并适量包括实验和实践课程教材。列入这套教材中的著作,大多是清华大学信息科学技术学院所属系所院开设的课程中经过较长教学实践而形成的,既有多年教学经验和教学改革基础上新编著的教材,也有部分已出版教材的更新和修订版本。教材总体上将突出求新与求实的风格,力求反映所属领域的基本理

论和新进展,力求做到学科先进性和教学适用性的统一。

本套教材的主要读者对象为电子科学与技术、信息与通信工程、计算机科学与技术、控制科学与工程、系统科学、电气工程、机械工程、化学与技术工程、核能工程等相关理工专业的大学生和研究生,以及相应领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望,这套教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者与工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的和有价值的进修或自学读物。我们同时要感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并热忱欢迎提出批评和意见。

《清华大学信息科学技术学院教材》编委会

2003 年 10 月

前言

还在 20 世纪末的 1998 年前后,本着教学改革和课程革新的精神,面对学院所属的三系一所(电子工程系、计算机科学与技术系、自动化系、微电子所)的约 600 名本科生新生,清华大学信息科学与技术学院开设了“信息科学技术概论”课程。这门课程的规划和开设,突出了这样几个特点:一是课程的定位,明确属于跨系的“通识性”和“概论性”课程,以使本科生新生达到“扩大学术视野”和“提高学习境界”的目的。二是课程的内容,既涵盖信息科学技术领域所属的几个学科的发展,包括这些学科在形成发展中的重大事件、学科创新中的重要人物和新时期发展中的趋势特点,又涉及学院所属的三系一所的专业介绍和专业教育,包括专业的建立发展、相关位置和主要方向,以使大学生在入学之初就对信息科学技术学科以及将要学习的专业或相近专业有一个宏观的认识,在未来的学习和研究过程中能“既见树木又见森林”。三是课程的授课方式,采用专题性讲座形式,一讲一个主题,深入浅出而不陷于空泛,生动可听而不缺乏深度,做到有分析、有数据、有观点和有预测。课程的讲课人,既有工作于学院的部分院士,还有时任的学院院长和系主任,力求由最专长的学者讲授最专长的学科,体现清华大学所大力创导的“名师上讲台”的精神。

“信息科学技术概论”课程从推出至今已进行多届,一直受到听讲的广大同学的欢迎和肯定。并且,为适应本课程教学的需要,也为满足广大校外读者的需求,在原讲授的基础上已经和正在形成“信息科学技术概论”的两种教材。一是已经出版的基于现场录像所形成的 VCD 版音像教材(已由清华大学出版社出版发行),另一则是现在推出的这本基于现场讲授整理并经讲授者加工修订的图文版教材。这本图文版教材共

包含 8 讲内容,体系上可以区分为两个部分,一个部分是学科发展的论述,一个部分是专业教育和介绍。全部 8 讲的内容分别为:由信息科学技术学院的原院长李衍达院士讲授的开篇——《信息时代与学习在清华》,由李志坚院士讲授的论述微电子学发展的专篇——《一代微电子,一代信息技术》,由张钹院士讲授的论述计算机应用发展的专篇——《面向 21 世纪的计算机应用技术》,由孙家广院士讲授的论述软件工程的专篇——《软件工程概论》,由吴澄院士讲授的论述工业化、自动化和现代化的专篇——《人造物与自动化》,由电子工程系主任冯正和教授讲授的论述电子信息技术发展和介绍清华大学电子工程系的专篇——《电子信息科学技术——挑战极限、跨越时空》,由计算机科学技术系主任林闯教授讲授的论述计算机科学技术发展和介绍清华大学计算机科学技术系的专篇——《计算机科学技术的发展》,由自动化系主任管晓宏教授讲授的论述自动化科学技术发展与介绍清华大学自动化系的专篇——《自动化科学与技术的发展》。

本书的读者对象为信息科学与技术领域的广大师生和科技人员,既可作为电子科学与技术、计算机科学与技术、自动化科学与技术等系科概论课程的教材和参考书,也可作为相关领域的广大科学工作者和工程技术人员自学的读物,同时,还可作为有志于该领域的广大考生及家长了解信息科学技术领域各个专业和学科的参考读物。

本教材的编写是一个尝试。不论是论述的内容和观点,还是有关的事实和提法,都不可避免地会存在差错和不妥之处。对此,恳请广大专家和读者不吝指正。

郑大钟 教授

2005 年 3 月于清华园

目 录

Contents

第 1 讲 信息时代与学习在清华/李衍达	1
1.1 信息时代	1
1.2 学在清华	12
附录 1 信息论的奠基人——香农	15
第 2 讲 一代微电子,一代信息技术/李志坚	17
2.1 微电子学简介	17
2.2 微电子技术的发展	28
2.3 21 世纪的信息电子学——纳电子学	36
2.4 微纳电子专业简介(清华大学微电子所)	46
2.5 结束语	48
附录 2 摩尔简介	48
第 3 讲 面向 21 世纪的计算机应用技术/张钹	51
3.1 信息时代的计算机应用技术	51
3.1.1 信息时代的含义	51
3.1.2 计算机和图灵机模型	52
3.2 20 世纪计算机应用技术回顾	56
3.2.1 信息技术的迅猛发展	56
3.2.2 有关计算机的两个关键问题	58
3.2.3 20 世纪计算机应用技术的突破	59
3.2.4 计算机的应用	62
3.2.5 计算机难以解决的问题	64

3.3	21 世纪计算机应用技术展望	67
3.3.1	计算机应用的变化	67
3.3.2	网络时代的特点	68
3.4	我们面临的机遇与挑战	75
3.4.1	“百年沧桑”给我们的启示	75
3.4.2	网络对我们的深远影响	76
3.4.3	中华民族的复兴	77
3.4.4	未来的发展根本在于人才	79
附录 3	图灵简介	80
第 4 讲	软件工程概论/孙家广	82
4.1	软件工程的七个角色	82
4.2	软件工程中经常讨论的问题	84
4.3	软件工程的知识体系(the software engineering body of knowledge, SWEBOK)(from ACM,IEEE)	93
4.4	软件工程知识体系的框架	95
4.5	软件生存期简介(ISO/IEC 12207)	97
4.6	软件工程主体知识结构——知识领域综述	102
4.7	软件再工程(software re-engineering)	112
4.8	软件工程的发展趋势(the future of S. E.)	112
附录 4	冯·诺依曼简介	113
第 5 讲	人造物与自动化/吴澄	116
5.1	工业化、自动化、信息化、现代化	116
5.2	形形色色的人造物与自动化	121
5.3	产品(人造物)竞争的新特点	125
5.4	信息化、自动化与产品(人造物)的竞争力	129
5.5	以信息化带动工业化	133
附录 5	诺伯特·维纳简介	139
第 6 讲	电子信息科学技术——挑战极限、跨越时空/冯正和	142
6.1	清华大学电子工程系的历史	142
6.2	电子与信息科学的现在和未来	160
6.3	电子工程系的学科与教学	191

附录 6 晶体管之父——威廉·肖克利	199
第 7 讲 计算机科学与技术的发展/林闯	204
7.1 计算机科学与技术的发展历史	204
7.2 计算机科学与技术未来的发展趋势	214
7.3 清华大学计算机系的情况	218
7.4 结束语	222
附录 7 布尔简介	222
第 8 讲 自动化科学与技术的发展/管晓宏	225
8.1 自动化的基本概念与举例	225
8.2 自动化科学技术的地位和作用	227
8.3 自动化科学技术的历史沿革	229
8.4 自动化科学技术的研究范畴与展望	235
8.5 自动化学科的分类与自动化系简介	249
本讲参考文献	251
附录 8 钱学森简介	251

1

信息时代与学习在清华

李衍达

1.1 信息时代

1. 我们面临信息时代

我们现在面临的是信息时代。大家知道很少有一个名称可以冠在“时代”前面,可是现在竟然出现一个“信息时代”,我们不禁要问,为什么信息技术对我们的时代有这么大的影响呢?

首先,我们需要了解什么是信息。简略地说,信息是事物运动状态和特征的反映。我们知道社会有三要素:材料、能源和信息。材料和能源的重要性我们都是有体会的,比如停电后,我们就会发现生活一下子变得非常不方便。可是对于信息的重要性,许多人还没有充分体会到。这个世界上如果只有物质和能量而没有信息,是不能构成人类社会的,并且社会越发展,它对信息的依赖性就越大。那么信息和物质、能量究竟有什么区别呢?

其实,信息与物质和能量相比,它具有一些很独特的性质。例如,使用某种物质,这种物质就会损耗,使用某种能源,这种能源就会变得越来越少,所以我们经常会担心煤炭够不够用,石油够不够用,可是信息就不是这样,使用信息不但不会有损耗,而且信息可以大量复制。

有这样一个故事:一个人手里有苹果,另外一个手里有梨,互相交换一下,结果每个人手里还是一个东西,只不过是苹果换成梨;如果每个人手里各有一份信息,交换一下,结果每个人手里有两份信息,所以信息跟物质和能量是不一样的。

信息还有一个很奇怪的特征,信息虽然反映事物的特征,但是它可以在时空上离开它所反映的事物而独立存在,甚至可以传播。

正是由于信息这个特征,过去的事情一旦用信息的形式记录下

来,我们就可以看到过去事物的形象、声音、特征等,因此美国的一些博物馆,过去都是传统的实物博物馆,现在开始出现了采用信息技术的新的数字博物馆。

由于信息是事物运动和特征的代表,所以信息在某种意义上更能表现事物的内在变化。随着事物的不断变化和发展,信息也在不断地增长,永远没有尽头,这就是信息的内在含义。所有的事物都有信息,所以信息还具有普遍性,各行各业都离不开信息。

- 信息使用不会有损耗;
- 信息可以大量复制;
- 信息可以脱离所反映的事物被保存、传播;
- 信息可以不断增长;
- 所有事物都有信息。

正是由于信息具有以上这些特征,人类的文明、社会的发展,甚至人类大脑的进化,都和信息交流有着非常密切的关系。

社会发展中的几个重要阶段都与信息技术的发展有密切联系。

例如,人类社会出现了印刷术,有了书本,人类社会就往前跨进了一大步。为什么这么说呢?因为印刷术主要是一种信息技术,它使得信息可以通过书本的形式很快地传播。另外人类语言的出现对人类发展也是非常关键的,因为语言主要是交换信息用的。再如近代,电话、电视都是推动整个社会往前发展的非常重要的力量,它们也都是交换信息用的。所以通过这些可以知道,文明和社会的发展与信息的发展是同步的。

在20世纪40年代,美国有个科学家叫维纳,他是控制论的创始人。控制论讲的是生物和机器设备里面具有的控制原理。维纳提出一个很根本的思想:系统的性能是由控制作用来决定的,一个系统性能好不好取决于它的控制;控制的作用主要是对信息的控制,所以信息对于控制来说是个核心问题。反过来,从维纳的这句话可以理解到,一个系统的性能取决于系统内部的信息交换与处理情况。这里的系统是一个很广泛的概念,社会是一个系统,机器设备也是系统,包括人体也是系统。所以,我们可以知道,这些系统的性能取决于信息的反馈和信息的处理。

维纳提出了一个观点,说人脑和计算机作用类似,在哪一点类似呢?在处理信息方面是类似的。因此,信息不仅具有很大的普遍性和基础性,而且决定了各种系统的性能,包括人脑工作的性能,这个意义就非常重要。因此,科技的发展与信息交流和信息处理是密切相关的。为什么这么说呢?因为科技和智力相关,而智力又是跟信息相关。

社会的发展是从低级到高级。社会起始的发展依赖于矿产、资源,依赖于材料,其后社会进一步发展进入了工业化,它需要动力,所以能源、能量的影响越来越大。可是随着社会再往前发展,跨过工业化阶段以后,它越来越依赖于科技,从而社会对信息的依赖性逐渐增加。在这个社会的发展过程中,农业、矿产、电力等都是社会的基础设施。社会发展了,支持这个社会运转的基础也就发生了变化。

如图 1.1 所示,在农业社会,基础设施是水利网或灌溉网,到了工业社会,基础设施是铁路网、公路网和电力网。到了信息时代,基础设施是什么呢?是信息网。

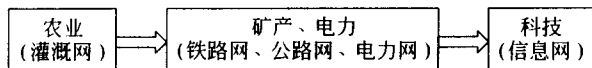


图 1.1 各个社会作为基础设施的“网”的更迭

2. 信息科技的内容与信息技术革命

虽然人类很早就知道利用信息,但是信息对社会的巨大影响是由过去 50 年发生的信息技术革命产生的。什么是信息科技?简单地说,它由信息的获取,信息的传输,信息的处理和信息的应用这四部分所组成。

传感器和检测技术是信息的获取;通信就是信息的传输,是信息科技的重要内容;微电子用在信息处理中,是信息处理一个很重要的基础;光电子和光通信也是为了传递信息用的,是信息领域很重要的内容;计算机用来处理信息,自动化是信息的应用。所以上面所列的传感器、通信、光电子、微电子、计算机和自动化等都属于信息的领域,它们分别服务于信息的获取、传输、处理和应用。

信息技术在过去四五十年里产生了很大的革命,这个革命今后仍然会产生影响。归纳一下,大概有以下几个很重要的革命:

第一个革命就是微电子技术的出现。它的核心就是通常所说的 chip(芯片)。我们知道,世界上第一台计算机大概有几个房间那么大,当时的人都把计算机看作科学家用的设备。但是后来出现了微电子技术,把所有器件都在一个硅片上集成起来。微电子技术发展得非常快,后来出现了摩尔定律。摩尔统计了微电子技术发展的情况后发现,每 18 个月,芯片的面积缩小一半,处理器的性能和复杂度会增加一倍。

以这样的速度发展下去,取得了了不起的成就。例如,原来几个房间大的计算机现在变成了可以握在手心里的东西,价格大大下降,一个晶体管的价格由原来的几元钱变成了现在的 0.000 01 分钱以下,而且运算速度还在不断提高,所以现在计算机已经大大普及。这个革命还在继续,有人预测可以继续到 2012 年。如果往量子方向发展还可以继续,这 18 个月翻一番的速度真是一种革命性的变化。

第二个革命是数字革命。这是什么意思呢?实质上是把所有的信息都用数码表示。现在计算机所能认识的是 0 和 1,可是大家知道,客观事物里很多都是连续的东西,很少有事物不是 0 就是 1。

开关是数字的,要么打开要么关上。相片、声音和图像等都是连续的。

但是后来科学家发现,连续的信息经过采样可以变成非连续的离散的信息,而且证明离散的信息在一定条件下完全可以代表连续的信息,这就是著名的采样定理。经过采样以后,所有连续量都可以用离散量来表示。其后,又发现文字可以编码,也可以用数字来表示,因

此,我们可以看到的各种各样的事物特征都可以用数码表示。这带来了两个重要变化。

第一个重要变化是,数字化引起的数字革命,使得计算机在数字技术中得以应用,加上计算机越来越便宜,使得计算机的应用范围大大推广。因为各种事物的信息都可以用计算机来处理,各行各业都可以应用计算机。另一方面,计算机的普及,又反过来推动了数字革命。数字化以后,可以对数字进行大量复杂的处理,例如滤波、分析、识别和加密等,这些都是计算机所擅长的。所以信息经过数字化以后,不仅可以引入计算机来进行处理,而且使得处理特性大大增加。我们可以发现很多事物都开始数字化了,出现了数字广播、数字电视等。数字化是现代社会的一个浪潮。大家慢慢会体会到为什么数字化有这么大的影响。

第三个革命是光通信革命。可能很多人没有意识到,但其实它也是非常重要,原来电话线采用电缆,后来科学家发现可以用光纤,所以就出现了光纤通信。

光纤像玻璃丝一样,不是金属,成本不很高,在某种意义上比铜线还要便宜一些。而且光缆与电缆相比,一对电缆能打1路电话,但一对光纤可以打1200万路电话,甚至更多。因此尽管光纤刚刚出来价格可能比电缆高一些,但光纤的实际成本并不高,随着光纤的普遍使用,通信费用将会大大降低。当然现在光纤通信还没有达到1200万路的水平,这是由于设备的使用有一个提高的过程。

因为光纤频带非常宽,随着技术的提高,光纤的利用水平将越来越好,因此就出现了另外一个定律,就是光通信的带宽9个月翻一番,这比摩尔定律的18个月还要短。随着带宽的增加,通信成本将进一步降低,这对整个社会和人们的生活都将产生很大影响。

现在我们回过头来看看,微电子产品这么便宜,数字技术又使得它们得以广泛应用,互相之间的通信方式又发生了这么大的变化,所以信息技术就能够普及。一个技术只有普及以后才能产生影响,如果一个技术很昂贵,只有少数人能用,那它对社会不能产生很大影响。信息技术具有通用性和基础性,这上述三大革命又促成了它的普及性。因此可以想像,信息技术的普及将对社会产生多么大的冲击和影响。

需要说明的是,信息技术革命才刚刚开始,还在进行,而我们对它的认识和它的潜力远远都没有达到尽头,这就为我们以后提供了一个非常大的空间。信息技术对社会的作用正在逐渐地为大家所认识,我们正是处于这么一个时代。

3. 一些例子

为了对信息技术的发展有一些感性的认识,下面举几个例子。

(1) System on Chip(SoC)。顾名思义,SoC就是把整个系统都放到一个芯片里面去,而在此以前,我们做的是单个芯片(IC)。

例如,微机电系统(MEMS)中不仅仅有微电子,还有机械,它把微电子和机械系统集成在一起了。再如微光机电系统(MOEMS)把光也放进去了,把光、机、电都放在一个片子上。

这就是现在发展的一个趋势。图1.2~图1.8是这方面的一些例子。

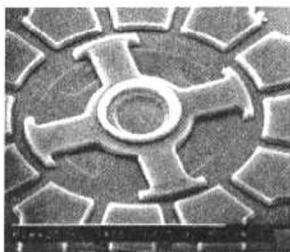


图 1.2 MEMS 举例(1): 1990 年研制的硅静电马达: 转子直径 100 毫米, 1400 转/分, 集成了光电接收电路, 因而可用作析光器、光开关

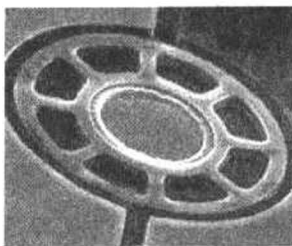


图 1.3 MEMS 举例(2): 硅晃动马达: 转子直径 120 微米, 0~1000 转/分 连续可调

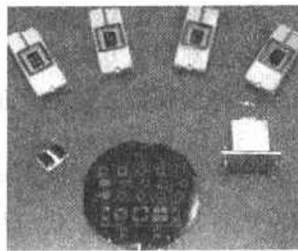
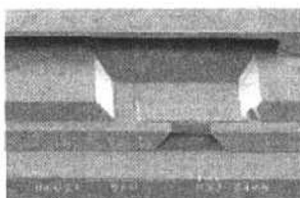
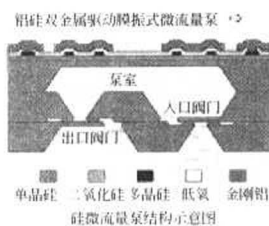


图 1.4 MEMS 举例(3): 加速度计: 0~100x 重力加速度, 可用于汽车安全气囊等



硅微流量泵截面 SEM 照片 (入口阀门一侧)

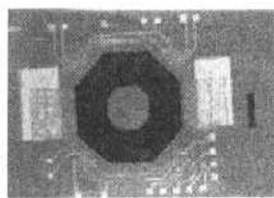


图 1.5

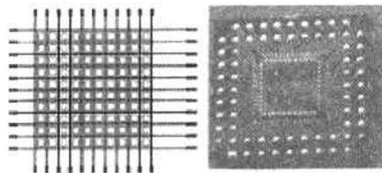


图 1.6 MEMS 举例(5): 电磁生物芯片: 含微电磁阵列, 可单点选通, 用做 DNA 探针, 在磁场下与 DNA 分子杂交

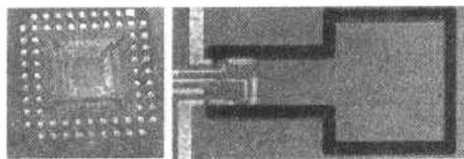


图 1.7 MEMS 举例(6): 压阻生物芯片: 悬臂梁结构, 自由端变形产生压阻信号来探测 DNA 特性

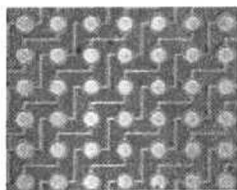


图 1.8 MEMS 举例(7): 细胞介电分离芯片: 电极阵列, 利用介电极化, 在电场下运动的电泳原理分离细胞

(2) 新一代无线通信：无线互联网

大家都知道互联网,下一步将要发展的是无线互联网。有人预测,无线互联网在下一个十年内将达到数万亿的产值。新一代的无线通信正在研究之中。

(3) 新一代光通信

新一代的光通信系统所提供的带宽比现用的带宽高 1000 倍以上,所以新一代的光通信系统将是我们的下一代应用的重要的通信骨干网。

目前我们已经将密集波分复用的系统在清华大学校园里和北京海淀区中关村地带,组成了一个环路,图 1.9 便是北京海淀区中关村地带一个密集波分复用的实验性的光通信网,目前正在试验运转,这些试验就是为下一代互联网做准备的。图 1.10 是清华大学校内,东西主楼之间利用下一代光通信系统组成的所谓“东环—西环”光通信网。

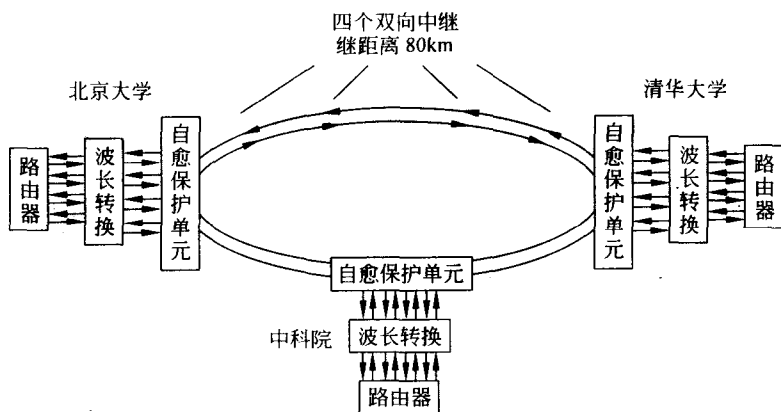


图 1.9 新一代光通信：NSFCnet WDM 光网络

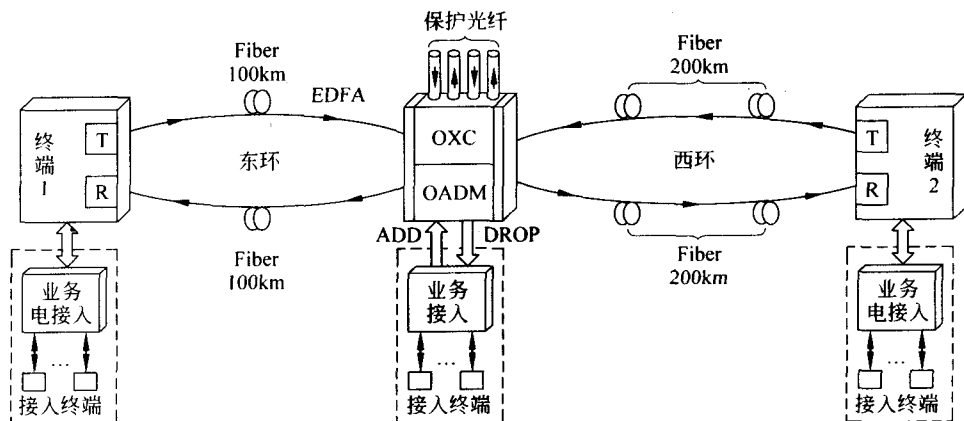


图 1.10 新一代光通信：高速宽带 DWDM 光纤网络

下一代光通信系统的交叉互联是用光来做的,也就是向全光网络方向发展,这样速度就会大大增加。所以新一代的全光网络不仅要解决光纤的连接,还要交换都是用光进行的。图 1.11 是光交叉连接功能示意图。

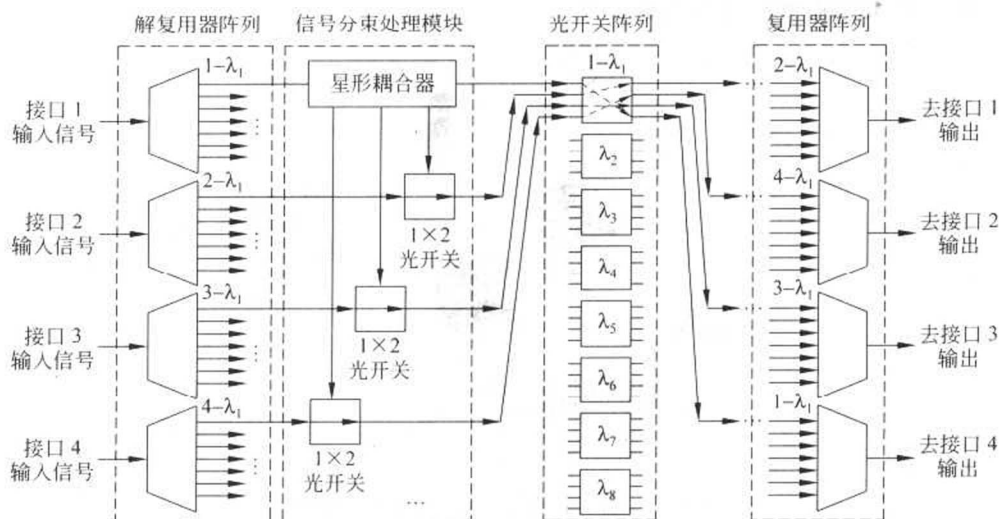


图 1.11 新一代光通信:光交叉互联 OXC 节点

(4) 新一代无线通信

① 新一代无线通信:从第二代到第三代

我们正在研究第三代的无线通信,也就是 3G。第三代无线通信同第二代有什么不同呢?主要是传输速率不一样。现在我们用的都是第二代手机,我们可以看到一些静止的图像,可以传递一些低速数据,可以发短信打电话,但要看一些运动图像就不行了。所以下一代的无线通信也是研究的一个重要方向。图 1.12 是第二代无线通信与第三代的比较。



图 1.12 新一代无线通信:从第二代到第三代