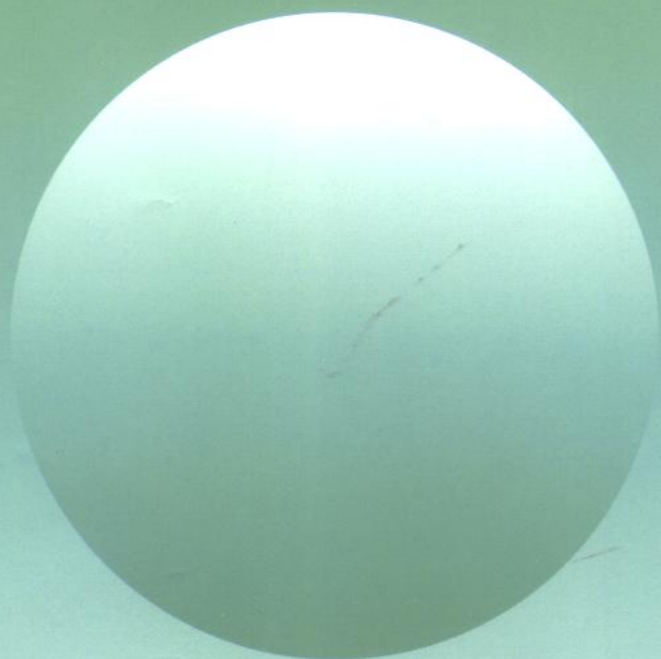


● 研 究 生 用 书 ●

TECHNOLOGICAL THEORY
OF INFORMATION
STORAGE

华中理工大学出版社



张江陵 金海



信息存储技术原理

■ 清华大学出版社 ■

TSINGHUA UNIVERSITY PRESS
100084 BEIJING, CHINA
http://www.tup.tsinghua.edu.cn
010-62770175



黄江峰 主编

信息存储技术原理



00101262

00101262

TP333

27

信息存储技术原理

张江陵 金海

华中理工大学出版社



C0503882

图书在版编目(CIP)数据

信息存储技术原理/张江陵 金 海
武汉:华中理工大学出版社, 2000年6月
ISBN 7-5609-2233-3

I. 信…

II. ①张… ②金…

III. 存储器-信息存储

IV. TP333

信息存储技术原理

张江陵 金 海

责任编辑:周 筠
责任校对:郭有林

封面设计:刘 卉
责任监印:张正林

出版发行:华中理工大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经销:新华书店湖北发行所

录排:华中理工大学出版社照排室

印刷:华中理工大学出版社印刷厂

开本:850×1168 1/32

印张:8.625 插页:2

字数:196 000

版次:2000年6月第1版

印次:2000年6月第1次印刷

印数:1—1 000

ISBN 7-5609-2233-3/TP·386

定价:12.80 元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

这是一本关于信息存储技术原理的综合性著作,它以高密度、大容量直接存储器的重要内容给读者提供基础的和深入的专门知识。

本书主要内容包括:磁记录原理;光记录原理;道地址编码;位置误差信号生成;读/写通道;记录编码;纠错编码和数据压缩。

在本技术范围内,这本书是我国近年来仅有的出版物,它可供研究生学习信息存储技术原理课程使用,也可供从事研究和开发的科技人员参考。

Abstract

This book is a Comprehensive Writings on the technological theory of information storage. It gives the reader a fundamental, in-depth understanding of all the essential features of the writing and reading of information for both high density magnetic disk and optical disc.

The main topics include in this book are the magnetic recording theory, optical recording theory, positioning error signal, read/write Channel, recording code, error-correction code, and data Compression.

This book, which is unique in its scope in our Country, will be valuable for graduate students taking courses in information storage. It will be also of value to research-and-development scientists and technologists in the area of information storage.

写在“研究生用书”出版 10 周年

在今天,面对科技的迅速发展,知识经济的已见端倪,国际竞争也日趋激烈,显然,国家之间的竞争是国家综合实力的竞争,国家综合实力的竞争关键是经济实力的竞争,而经济实力的竞争关键又在于科技(特别是高科技)的竞争,科技(特别是高科技)的竞争归根结底是人才(特别是高层次人才)的竞争,而人才(特别是高层次人才)的竞争基础又在于教育。“百年大计,教育为本;国家兴亡,人才为基。”十六个字、四句话,确是极其深刻的论断。目前,国际形势清楚表明:我们国家的强大与民族的繁荣,主要立足于自己,以“自力更生”为主;把希望寄托于他人,只是一种不切实际的幻想。这里,我们决不是要再搞“闭关锁国”,搞“自我封闭”,因为那是没有出路的;我们强调的是要“自信,自尊,自立,自强”,要“自力更生”为主,走自己发展的道路。

显然,知识经济最关键的是人才,是高层次人才的培养,而作为高层次人才培养的研究生教育就在一个国家的方方面面的工作中,占有十分重要的战略地位。可以说,没有研究生教育,就没有威伟雄壮的科技局面,就没有国家的强大实力,就没有国家在国际上的位置,就会挨打,就会受压,就会被淘汰,还说什么知识经济与国家强大?!

“工欲善其事,必先利其器。”教学用书是教学的重要

基本工具与条件。这是所有从事教育的专家所熟知的事实。所以,正如许多专家所知,也正是原来的《“研究生用书”总序》中所指出,研究生教材建设是保证与提高研究生教学质量的重要环节,是一项具有战略性的基本建设。没有研究生的质量,就没有研究生教育的一切。

我校从1978年招收研究生以来,即着力从事于研究生教材与教学用书的建设。积十多年建设与实践的经验,我校从1989年起,正式分批出版“研究生用书”。第一任研究生院院长陈珽教授就为之写了《“研究生用书”总序》,表达了我校编写这套用书的指导思想与具体要求,“要力求‘研究生用书’具备科学性、系统性、先进性”。后三任研究生院院长,也就是各任校长黄树槐教授、我本人和周济教授完全赞同这一指导思想与具体要求,从多方面对这套用书加以关心与支持。

我是十分支持出版“研究生用书”的。早在1988年我在为列入这套书中的第一本,即《机械工程测试·信息·信号分析》写“代序”时就提出:一个研究生应该博览群书,博采百家,思路开阔,有所创见。但这不等于他在一切方面均能如此,有所不为才能有所为。如果一个研究生的主要兴趣与工作不在“这一特定方面”,他也可以选择一本有关的书作为了解与学习这方面专业知识的参考;如果一个研究生的主要兴趣在“这一特定方面”,他更应选择一本有关的书作为主要学习用书,寻觅主要学习线索,并缘此展开,博览群书。这就是我赞成为研究生编写系列教学用书的原因。

目前,这套书自第一本于1990年问世以来,已经渡

过了10个春秋,出版了8批共49种,初步形成规模,逐渐为更多读者所认可。在已出版的书中,有15种分获国家级、部省级图书奖,有16种一再重印,久销不衰。采用此套书的一些兄弟院校教师纷纷来信,赞誉此书为研究生培养与学科建设作出了贡献,解决了他们的“燃眉之急”。我们感谢这些赞誉与鼓励,并将这些作为对我们的鞭策与鼓励,“衷心藏之,何日忘之?!”

现在,正是江南春天,“最是一年春好处”。华工园内,红梅怒放,迎春盛开,柳枝油绿,梧叶含苞,松柏青翠,樟桂换新,如同我们的国家正在迅猛发展、欣欣向荣一样,一派盎然生机。尽管春天还有乍寒时候,我们国家在前进中还有种种困难与险阻,来自国内与来自国外的阻挠与干扰,有的还很严峻;但是,潮流是不可阻挡的,春意会越来越浓,国家发展会越来越好。我们教师所编的、所著的、所编著的这套教学用书,也会在解决前进中的种种问题中继续发展。然而,我们十分明白,这套书尽管包含了我们教师的辛勤的长期的教学与科研工作的劳动结晶,作为教学用书百花园中的一丛鲜花正在怒放,然而总会有这种或那种的不妥、错误与不足,我衷心希望在这美好的春日,广大的专家与读者,不吝拨冗相助,对这套教学用书提出批评建议,予以指教启迪,为这丛鲜花除害灭病,抗风防寒,以进一步提高质量,提高水平,更上一层楼,我们不胜感激。我们深知,“一个篱笆三个桩”,没有专家的指导与支持,没有读者的关心与帮助,也就没有这套教学用书的今天。我衷心祝愿在我们学校第三次大发展的今天,在百年之交与千年之交的时候,这套教学用书会以更

雄健的步伐，走向更美好的未来。

诗云：“嘤其鸣矣，求其友声。”这是我们的心声。

中国科学院院士

华中理工大学学术委员会主任

杨叔子

于华工园内

1999年5月15日

前 言

信息存储是计算机科学与技术的一个重要的分支学科,其重要性体现在各个方面。首先,信息存储技术的先进程度是衡量一个时代技术进步的重要标志之一。历史上纸的发明和造纸工业的发展曾经使中华民族的文化传播到世界各地,信息存储技术处于世界领先地位。近代磁记录、光记录和半导体存储器的出现和发展,推动了社会的进步,它们成为近 10 年来人们不可须臾离开的器件。美国一家杂志社的调查表明,磁盘存储器和和管理磁盘的操作系统是生活中不可缺少的 30 种用品之一。这就最恰当地说明了信息存储技术应用的广泛性和对人类文明和进步的重要意义了。其次,信息存储技术的进步促进了相关学科的发展。信息存储技术的研究结果对于促进计算机科学技术的发展是显而易见的。没有大容量、快速存取的存储设备与系统,计算机的一切重要应用都将受到限制。所以追求大容量、快速的信息存储并不亚于追求浮点运算速度的重要性。一切领域,诸如录音、录像、图像处理 and 文档存储等,都将因存储容量的扩大和存取速度的提高而受益。再次,存储器产业蕴含着巨大的经济效益。以磁盘存储器为例,其世界年销售额达 400 亿美元。光盘存储器,尤其是 CD 类光盘及其驱动器更是遍及千家万户,其巨大的经济效益和社会效益有目共睹。对于如此重要的一个分支学科,在我国介绍它的技术原理的书籍却比较缺乏。我们作为一个长期从事信息存储技术研究和教学的工作者,意识到推动我国信息存储技术发展的重要性,因而撰写了本书。

写作这类书籍亦非易事。第一,信息存储是以多学科为基础的研究领域。存储器的品种繁多,物理属性差异很大,融会贯通其中的基本理论需要知识和经验的积累;第二,技术更新的周期很短,新原理、新方法、新技术层出不穷,很难对此进行及时的吸取和加工整理。第三,信息存储技术是一门既古老又年轻的分支学科。磁记录的发展已经历了100年。光记录如果从“卤化银摄影”的出现算起,也已有200年的历史。在如此漫长的岁月里,人们发表的论著可以说是“浩如烟海”。故而,在内容选择的深度和广度上很难把握。鉴于计算机系统关心的主要是驱动器与存储系统,所以我们便从设备与系统的角度抽取所用到的基础理论和基本概念进行编写,因而不免失之面窄。

本书的前五章由张江陵编写,后三章由金海编写。全书由张江陵统稿并最后定稿,定稿后由冯丹结合课程教学进行了校对。

本书内容除反映国际上当前的科学技术成就之外,也包含了作者自己的研究成果。此书已在华中理工大学计算机系的“计算机器件与设备”(现已并入“计算机系统结构”)专业研究生中作为教材多次使用过。限于作者的水平,错误和缺陷在所难免,还望读者指正。

作者 1999年3月于武汉

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 计算机用存储器类型	(1)
1.2 存储器层次	(7)
1.3 DASD 技术发展趋势	(10)
1.4 DASD 的性能评价	(13)
第二章 磁记录原理	(17)
2.1 概述	(17)
2.2 磁头场	(18)
2.3 媒体磁化与写入效果	(30)
2.4 读出信号波形分析	(37)
2.5 区位记录原理	(49)
2.6 磁电阻(MR)磁头	(54)
第三章 光记录原理	(59)
3.1 概述	(59)
3.2 光盘存储器机理	(61)
3.3 重写	(73)
3.4 光路系统基础	(75)
3.5 激光光源的选择	(88)

第四章 道地址编码与位置误差信号生成	(91)
4.1 直接存取存储器寻址概述	(91)
4.2 道地址的编码	(92)
4.3 磁盘伺服信息编码	(96)
4.4 光盘的道跟踪方法	(108)
4.5 磁盘预刻伺服图形的道跟踪方法	(114)
第五章 读/写通道技术	(118)
5.1 读/写通道的基本组成	(118)
5.2 磁盘驱动器读/写通道	(123)
5.3 光记录通道	(145)
第六章 记录编码	(148)
6.1 概述	(148)
6.2 非编码的磁记录方式	(150)
6.3 按位编码的记录方式	(151)
6.4 成组编码记录方式	(154)
6.5 游程长度受限码理论	(156)
第七章 检纠错编码	(159)
7.1 检纠错编码的基本概念	(159)
7.2 几种常用的检错码	(162)
7.3 线性分组码	(165)
7.4 循环码	(178)
第八章 数据压缩原理与技术	(198)
8.1 数据压缩的基本概念	(198)
8.2 数据压缩的基本理论——量化原理	(204)
8.3 预测编码	(211)

8.4 变换编码	(218)
8.5 信息熵编码	(228)
8.6 彩色静止图像的编码	(234)
8.7 运动图像的编码	(242)
参考文献	(256)

第一章 概 论

1.1 计算机用存储器类型

从存储器的寻址方法来看,计算机用存储器可分为以下 3 类:

随机存取存储器 此类存储器的存取速度很快,存储容量较小,存储单元也较小,常以字节或字(通常为 4B)作为存储单元。每个存储单元有唯一对应的、物理上固定的寻址机构(或逻辑电路),寻找任一存储单元的时间是相等的。存取一个存储单元中的数据的时间称为存取周期。随机存取存储器常用作高速缓存和主存储器。组成这类随机存取存储器的物理载体是半导体存储器,它的存取周期小于 100ns,单片容量为 256KB ~ 4MB,256MB 的芯片也已出现。早期的磁芯存储器也用以组成随机存取存储器,但目前已被淘汰。

直接存取存储器 此类存储器的存储容量很大,存取速度较快,它以页面作为单元与主存储器交换信息。页面的大小可以是 32 个 32 字节的块,即 1KB。若干个页面组成扇段,扇段的大小视用户的需要而定,寻址即寻找扇段地址。每个单元没有固定的、对应的寻址机构,寻址机构是共用的,寻址是通过寻址机构直接找到该单元的附近,随后顺序搜索,用计数、读取标志等办法寻找到所需的单元。直接存取存储器的寻址时间决定于被寻找单元所处的实际位置。因此,每次进行存取的时间是变化的、随机的。由于没

有固定的、对应的寻址机构,所以在存储媒体上应预先写入某些信息,标注出存储单元的位置,以利于寻址。同时,也因共用寻址机构而节约了存储信息的成本,但这是以牺牲速度和随机性为代价的。典型的直接存取存储器是磁盘存储器和光盘存储器。曾经出现过的、目前极少使用的磁泡存储器也是一种直接存取存储器。

顺序存取存储器 此类存储器具有很大的容量,存储媒体又可更换,故可视之为具有无限大容量的存储器。它常用作后备存储器,如磁带机便属于此类存储器。这种存储器使用同一寻址机构(或逻辑电路),即所存储的数据单元(字、记录)没有一一对应的寻址机构,在记录与记录之间插入间隙,间隙处录有帮助寻找信息的标记。寻找数据信息时是按顺序进行搜索的,在寻找所需的数据之前要按顺序逐个搜索在其前面的每一个记录,故存取时间与被寻找的标记所处的位置有关,平均存取时间比较长,存取速度较慢。

从存储器的功能来看,又可将其分为以下3种:

只读存储器 在这种存储器中事先已存入了信息,使用者只能读取信息而不能写入,或只能一次性写入供多次读取。故又可将只读存储器细分为:不能改写的只读存储器(ROM)、可编程只读存储器(PROM)、可擦除的可编程只读存储器(EPROM, EEPROM)等。这些存储器在寻址方式上可以是随机的。还有一类只读存储器,它们采用直接存取方式,如只读光盘存储器(CD-ROM)。只读光盘存储器上的信息是由母盘经模压复制在光盘上的,不能改写。只写一次读多次的光盘存储器(WORM, CD-R)也可归入只读光盘存储器一类,因其用户主要是读取其中的信息。

可重写存储器 此类存储器改写时不用事先擦除,在写入新内容的同时便覆盖了原有的信息,而且容许频繁地反复进行改写操作。所有的磁记录设备都是可重写的。

可擦除存储器 它是指原有记录信息擦除后可以重新写入信息的那种存储器。擦除和写入是分开进行的,如 EPROM、可擦除

光盘存储器便属于此类存储器。它也能从原理上实现重写覆盖功能,但目前还存在某些不足。

此外,按是否能永久保留所记录的信息,又可将存储器分为易失的和非易失的存储器。

从实现数据存储的物理性质来看,存储器的类型是多种多样的,任何可以保存两种不同物理形态的物质都可以用来存储二进制数据信息。目前计算机使用的存储器主要是利用半导体、磁记录 and 光记录物理实现的,已制造出多种类型的存储器,形成了庞大的存储器产业。

1.1.1 半导体存储器

半导体存储器是以晶体管电路作为存储单元、用集成电路技术制造的存储器,包括读/写型的随机存取存储器(RAM)和仅有读出功能的只读存储器(ROM)以及其他类型的存储器,如 PROM、EPROM、EEPROM、Flash Memory 等。随机存取存储器有两种电路形式——静态与动态电路。静态随机存取存储器不受时间的限制,只要电源供电便能存储信息,而动态随机存取存储器则只能暂时存储,保持信息的时间很短,若不重新写入(或称为刷新),信息就会消失。

半导体存储器有双极型和 MOS 型两类。

双极型存储器的存储单元电路是触发器,常用的触发器为双发射极置位/复位触发器。构成双极型存储器的电路形式有多种,包括:晶体管-晶体管逻辑(TTL),射极耦合逻辑(ECL),集成注射逻辑(I²L)等。将许多触发器按不同排列方式组成一定容量的存储单元矩阵,加上寻址逻辑电路、读/写电路等外围电路便构成一块存储芯片。它的优点是存取速度快,而存储容量较小,故常用作计算机的主存储器。双极型存储器通常是静态的。

MOS 型存储器主要有两族:一族是用 N 沟道型金属氧化物半导体场效应晶体管构成(NMOS)的;另一族是用 P 沟道型金属氧化