



中国计算机学会教育专业委员会 推荐
全国高等学校计算机教育研究会 出版
高等学校教材

计算机外部设备

章振业 杨文龙 胡建平 编著

计算机学科教学计划 1993



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

高等学校教材

计算机外部设备

章振业 杨文龙 胡建平 编著

1999/05

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

《计算机外部设备》一书是中国计算机学会教育专业委员会和全国高等学校计算机教育研究会推荐的大学计算机学科本科教材,并被选入 1996~2000 年全国工科电子类规划教材。

全书分六篇,共十三章。

本书系统地介绍了外存储设备、输入设备、输出设备、显示设备、外部设备与主机的连接,及外部设备的选用、维护和故障诊断等。在编写上,大、中、小、微兼顾,一般原理与典型设备结合,硬软结合,理论与实用结合。不仅介绍了传统的字符设备,还介绍了图形、图像、声音、多媒体和虚拟现实等设备。对目前出现的如字符识别、语音识别、激光打印、喷墨打印、热感应打印、静电打印、高密磁盘、大容量光磁软盘、磁光盘、相变光盘、螺旋磁带、数据流带、固体盘、平板显示、触摸屏、多媒体、虚拟现实、各种接口,以及怎样选用、维护和故障诊断都作了介绍。

本书适合于高等学校计算机学科各专业本科学生和大专学生使用,也可作为从事计算机专业的各类技术人员学习和参考用书。

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,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机外部设备/章振业等编著. - 北京:电子工业出版社,2000.1

(高等学校教材)

ISBN 7-5053-5275-X

I. 计… II. 章… III. 电子计算机-外部设备-高等学校-教材 IV. TP334

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 12533 号

丛 书 名: 高等学校教材

书 名: 计算机外部设备

编 著 者: 章振业 杨文龙 胡建平

责任编辑: 赵家鹏

特约编辑: 天 马

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京京安达明印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 31.75 字数: 808 千字

版 次: 2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5275-X
G·437

印 数: 8000 册 定价: 39.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换。

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

出版说明

中国计算机学会教育专业委员会和全国高等学校计算机教育研究会(以下简称“两会”),为了适应培养我国 21 世纪计算机各类人材的需要,根据学科技术发展的总趋势,结合我国高等学校教育工作的现状,立足培养的学生能跟上国际计算机科学技术发展水平,于 1993 年 5 月参照 ACM 和 IEEE/CS 联合教程专题组 1990 年 12 月发表的《Computing Curricula 1991》,制定了《计算机学科教学计划 1993》,并组织编写与其配套的首批 18 种教材,推荐给国内有关院校,作为组织教学的参考。

《计算机学科教学计划 1993》是从计算机学科的发展和社会需要出发提出的最基本的公共要求,不是针对某一具体专业(如计算机软件或计算机及应用专业),因此它适用于不同类型的学校(理科、工科及其他学科),不同专业(计算机各专业)的本科教学。各校可以根据自己的培养目标和教学条件有选择地组织制定不同的教学计划,设置不同的课程。本教学计划的思想是将计算机学科领域的知识,分解为九个主科目(算法与数据结构、计算机体系结构、人工智能与机器人学、数据库与信息检索、人-机通信、数值与符号计算、操作系统、程序设计语言、软件方法学与工程)作为学科的公共要求;对计算机学科的教学归结为理论(数学)、抽象(实验)和设计(工程)三个过程,并强调专业教学一定要与社会需要相结合。另外,还提出了贯穿于计算机学科重复出现的十二个基本概念,在深层次上统一了计算机学科,对这些概念的理解和应用能力,是本科毕业生成为成熟的计算机学科工作者的重要标志。

为了保证这套教材的编审和出版质量,两会成立了教材编委会,制定了编写要求和编审程序。编委会对编者提出的编写大纲进行了讨论,其中一些关键性和难度较大的教材还进行了多次讨论。并且组织了部分编委对教材的质量和进度分片进行检查落实,有的教材在编审过程中召开了部分讲课教师座谈会,广泛听取意见。参加这套教材的编审者都是在该领域第一线从事教学和科研工作多年,学术水平较高,教学经验丰富,治学态度严谨的教师。这套教材的出版得到了电子工业出版社的积极支持。他们把这套教材列为出版社的重点图书出版,并制定了专门的编审出版暂行规定和出版流程,组织了专门的编辑和协调机构。

这套教材的编审出版凝聚了参加这套教材编审教师和关心这套教材的教师、参与编辑和出版工作者、以及编委会成员的汗水,他们为此作出了努力。

这套教材的编辑出版还得到电子工业部计算机专业教学指导委员会的支持,其中 11 本被选入 1996~2000 年全国工科电子类专业规划教材。

限于水平和经验,这套教材肯定还会有缺点和不足,希望使用教材的单位、教师和同学积极提出批评建议,共同为提高教学质量而努力。

中国计算机学会教育专业委员会
全国高等学校计算机教育研究会

教材编审委员会成员名单

- 主任:王义和 哈尔滨工业大学计算机系
- 副主任:杨文龙 北京航空航天大学计算机系(兼北京片负责人)
- 委员:朱家铿 东北大学计算机系(兼东北片负责人)
- 龚天富 电子科技大学计算机系(兼成都片负责人)
- 邵军力 南京通信工程学院计算机系(兼南京片负责人)
- 张吉锋 上海大学计算机学院(兼上海福州片负责人)
- 李大友 北京工业大学计算机系
- 袁开榜 重庆大学计算机系
- 王明君 电子工业出版社
- 朱 毅 电子工业出版社(特聘)

前 言

从 1946 年第一台计算机诞生以来,已经 50 多年,计算机的发展发生了巨大的变化。最初计算机的主要问题是中央处理机的运算速度太慢,存储容量太小。那时,不仅软件属于从属的地位,外部设备也属于从属地位。在很长一段时间里,计算机的使用人员要为减少一条代码而奋斗,而人与计算机打交道只能通过电传打印机(TTY)一个字符一个字符地键入,输出也是一个字符一个字符地打印在打印纸上,这也就是当初的所谓命令行界面(CLI)。

现在,计算机的运算速度和存储容量都有了很大的提高,特别是人-机界面有了极大地改善,TTY 早已被淘汰,已广泛地使用视频显示终端(VDT),也称 glass TTY,能把一个字符设置在屏幕的任何位置,不仅可以进行数值计算,还可以进行数据、图形、图像、声音、多媒体、虚拟现实及知识处理。于是各种各样的存储设备、I/O 设备、显示设备,以及相应的软件也相继推出。由此可见,现代的计算机系统,不论是巨型机、中大型机,即使一台微机系统,已不再只是中央处理器,还要有上乘的存储、I/O、显示及各种各样的相应软件才能组成,它们的界限也越来越难以分清。外部设备的比重越来越大,一般系统的成本中,外部设备占 70~90%。在计算机的使用过程中,绝大多数的故障不是出在中央处理器上,而是发生在外部设备上。因此,作为一名计算机的专业人员,无论是在使用维护、系统配置或设计开发中,只学习主机和软件方面的知识是不够的,还必须掌握外部设备方面的有关知识。

在这种情况下,为了适应计算机发展和应用的需要,我们学校于 1979 年把外部设备从传统的《计算机组成原理》课程中独立出来,并由陈忠首先给最后一届工农兵大学生开设这门课,考虑到设备的结构性和实践性的特点,当时对部分设备的介绍录了像。1980 年到 1982 年由章振业开讲,写了讲稿,对一些典型设备的结构画了胶片。1983 年到现在,杨文龙接着讲授,为了使这门课的学习效果更好,在章振业讲稿基础上编写了讲义,课堂讲授中不仅设备的结构图形采用胶片介绍,主要文字也用胶片,另外对于一些设备的外观、结构和原理,还制作了大量的幻灯片,课堂完全不用黑板,这就极大地提高了课堂的讲课效率和效果。1991 年杨文龙和章振业正式编写出了教材。实践证明,独立开设外部设备课程是正确的,对于教学方式方面所采取的一些措施也是成功的,受到听课学生的欢迎,因为它填补了课程设置和课程内容不足或空白,以及电化教学的采用。如果采用多媒体会更好。

这次,我们三人合作编写此书,首先是教学的需要,其次是计算机外部设备的发展太快(特别是进入 90 年代),而我们使用的教材和市场上已有的教材与目前外部设备的实际应用存在较大的差距,许多老设备已经过时,许多新设备基本没有反映。虽然,我们讲课中,年年更新和调整,但学生还要求有一本能跟上设备发展应用需要,并与讲课实际内容相一致的教材,这也就是我们合作编写这本教材的另一出发点。

但要完成这一任务有一定的困难,其原因之一是我们三人都不是这一领域的行家。章振业长期负责实验室建设,改革开放以来主要从事计算机系统和设备的引进、安装、培训和维修工作;胡建平主要从事硬件方面的工作,近些年开展有关软件及虚拟现实方面的研究;杨文龙 1978 年以前在飞机工艺和制造方面工作,曾做过一段飞机的 CAD/CAM 方面的工作,1978 年后才转搞软件工作,主要进行软件工程、工具及环境,特别是 Petri 网在软件工程中的应用工作。原因之二是我们学校在外设设备有关的研究课题较少,做得好的只有戎露伦教授研究的可重写相变光盘和刘源教授研究的中文信息处理等。原因之三是目前这方面的资料太少。最早见

到的是美国 Ivan Flores 1973 年写的“Peripheral Devices”(国内 82 年翻译出版),另一本是 1980 年 Barry Wilkinson 和 David Horrocks 合写的“Peripheral Devices”,内容太老太少。国内自己写的最具权威的是 1986 年郭平欣等主编的“电子计算机外部设备原理”,以及 1990 年前后和近两年出版的微机用外部设备。市场上一些商品,更多地是广告性的介绍,有时能见到部分设备的使用说明。尽管情况如是,它们对我们的帮助还是很大的。应当特别说到的,对我们帮助较大的是近年出版的一些专著(这在参考资料中将要列出);还有《计算机世界》周报等报刊杂志,它们不仅及时给出一些新设备、新技术的推出和销售方面的信息,还经常组织专家写出一些有相当水平的介绍性文章,虽不详尽,但对我们的讲课和编写教材却很有价值;再就是每年举行的一些有关计算机世界展览会,它们能让我们了解世界计算机的最新发展和把握当今计算机,包括外部设备等方面的流行趋势,这无疑对我们组织讲课和编写教材起着指导性的作用。

计算机外部设备中就其通用设备(不包括专用外部设备)门类众多,五花八门。它们是计算机学科领域知识主科目中不可缺少的重要组成部分。它们具有很强的综合性和实践性,不仅涉及计算机学科的硬件和软件部分,还涉及物理学、化学、电子学、几何图形学、光学、声学、语言学、文字学、自动控制、精密机械、材料学、加工工艺学……等多种学科知识。这些知识,有的可以从书本和课堂上获得,其中相当部分要靠在实践中学习。对于一个在校的计算机专业的学生,要求他们掌握外部设备所有方面的知识是不现实的,也是不可能的。但是,应该有一个基本要求。我们这次编写本教材就是按照《计算机学科教学计划 1993》所提出的要求,从计算机外部设备(主要是存储和人-机界面(I/O)两大部分)的发展和应用需要出发,在我们多年科研、实验中使用计算机和教学实践的基础上进行的。

内容共六篇,即外存储设备,输入设备,输出设备,显示设备,外部设备与主机的连接,外部设备的选用、维护和故障诊断。

在具体内容选择上,根据应用的要求,力求对整个大、中、小、微各系统的外存储设备、I/O 设备和显示设备等有一个全面的、发展的和系统的介绍,对目前常用的典型设备的工作原理、具体结构及相应软件的特点进行重点介绍。另外,还对它们与主机的连接,以及它们的选用、维护和故障诊断作一般介绍。书末还给出了各章的思考题。

在篇、章安排上,希望能做到各篇,甚至各章相对独立,可以都学,也可以选择其中一些感兴趣的学。但在具体使用时,应根据各校的专业设置、培养目标、教学计划、课程安排,以及学校的具体条件确定。在形式上,要求图文结合。在文字上,力争做到通俗易懂。

本书可作为大学计算机学科本科各专业及相关学科相关专业教材,也适合于大专学生,以及从事计算机技术工作的各类技术人员学习和参考。

在本书编写的开始阶段,得到编委会全体编委的支持,并被电子工业部计算机专业教学指导委员会选为高等学校 95 规划教材。在编写过程中得到戎霭伦教授、刘源教授、温文彪教授、唐荣锡教授等的支持。陈望梅教授审阅了全书,并提出了许多宝贵意见。我们在这里谨向他们表示感谢。

正如我们在上面提到的,由于我们的基础和水平的限制,书中肯定会有不妥,甚至错误的地方,敬请读者批评指正。

作 者

第一篇 外存储设备

第一章 磁表面存储器

外存储设备一直是计算机系统中重要的研究课题,因为冯·诺依曼体系结构是建立在存储程序概念上的,访问存储器的操作占 CPU 时间的 70%左右。另外,存储管理和存储组织的好坏直接影响整机效率。还有,现代数据处理,如图像处理、语音识别、数据库、知识库等,特别是多媒体技术,对存储的依赖越来越大。因此,目前存储器件(部件)的生产厂家都设有存储应用部门,其设计思想已不是单纯的制造存储器,而首先是如何构成存储系统,在产品出售时,一般都配有控制器或提供控制器的标准接口。

迄今为止,在冯·诺依曼所描述的存储程序计算机中,中央处理器是直接连接存储器的,当然也直接连到 I/O。从这种模式出发,开发出一种分层存储器系统,从一个小的,但存取速度非常快的存储器(与处理器靠得最近)开始,而至远离处理器的大容量存储器结束。这种分层的存储器系统结构,几乎为现代所有计算机系统所采用,其分层结构如下(图 1-1)。

0 层,是中央处理器内部寄存器,向这个寄存器存取是非常快的,因为它就在处理器芯片上,所以其容量受芯片面积的限制。

1 层,在处理器和主存储器(内存储器)之间,是高速缓冲存储器(cache),它是小容量的、速度很快的存储器。在 cache 内存储着处理器最需要的数据块(通常为 16 至 64 个字节)。cache 多用 SRAM 组成,价格较高。

2 层,是主存储器(memory)本身。主存储器又叫内存,用来存储程序和数据,并作为输入源和输出目的地。主存储器比 cache 大得多(目前一般为 8MB、16MB、32MB 或 64MB),并由 DRAM 组成,DRAM 比 SRAM 速度慢,但价格比较低。

3 层,是大容量存储器。现在,普遍使用的是硬磁盘存储器,大容量存储器是用以实现一项被称为虚拟存储器技术的,这种技术使处理器以为主存储器的容量比实际大得多。用虚拟存储技术,地址空间划分为页面(page),页面比块大得多(一般为 4~8K 字节)。磁盘与主存储器之间的关系和主存储器与 cache 之间的关系大致相同。在需要的时候,页面就被调到主存储器内,不需要的时候就送回磁盘,如同 cache 一样,局部性理论是基础。为保持系统中的次序,一个存储器管理单元(MMU)用来跟踪哪些页面在主存储器内,以及它们的状态如何,正像一次 cache 不中一样,在需要的时候,如页面不在主存储器内(页面失误),则性能降低。然而,代价较高,因为机械式的磁盘存储器比主存储器慢得多。但磁盘存储器不仅容量大(目前可达几个千

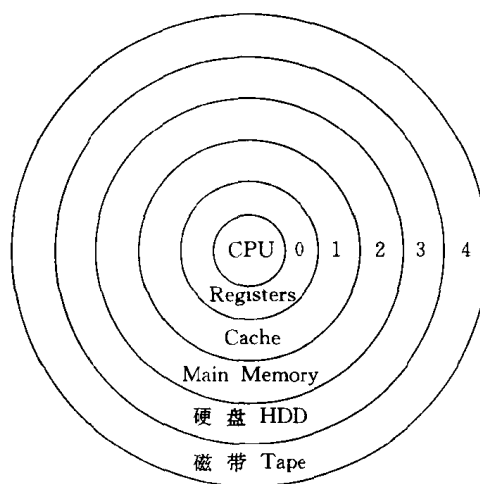


图 1-1 分层存储器系统

兆字节),而且位成本低。现在千兆字节的光盘存储器(optical disk storage)的应用正在增长。

4 层,这是为了存储一些在短期内用不着的数据,或者需要保留的数据。这种作为归档用的存储,通常由磁带存储器组成。当然,可更换的磁盘存储器和光盘存储器也可以用于程序或数据的长期保存。磁带存储器的优点主要是容量大,价格低,且可脱机保存。

本篇介绍 3 层、4 层所使用的外存储器(磁表面存储器、光存储器、半导体存储器(固态硬盘))。主要介绍存储的机理,在介质上实现存储的方法和其他存储技术等。

第一节 存储原理

从存储原理上看,硬磁盘、软磁盘、磁带、光磁盘等均属于磁表面存储器,利用一层微米量级的表面磁介质作为记录信息的媒体,以磁介质的两种不同剩磁状态或不同剩磁方向变化的规律来表示二进制数字信息。

磁表面存储器的信息记录和读出过程都是电、磁信息转换的过程,是通过磁头和运动着的磁介质来实现的(图 1-2)。

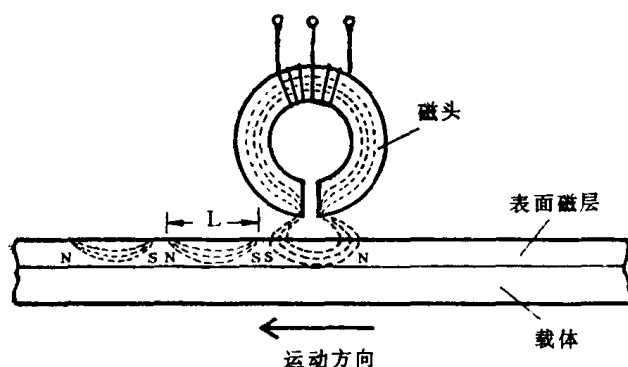


图 1-2 磁表面存储原理

所谓“磁表面”,是在带状或圆片状的载体上涂敷了薄薄的一层磁性材料而形成的,其厚度一般在 $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 之间。记录和读取信息是靠磁头,磁头用铁磁性材料作磁芯,上面绕有读/写线圈。工作时,磁头位于贴近磁表面的上方,载体相对磁头作匀速运动。磁头上开有一条很窄的缝隙,称为头隙或前隙。若给磁头线圈通以一定方向的脉冲电流,磁头中将产生磁场。在磁头前隙处,磁力线通过载体表面磁层形成一个闭合回路。这样,磁表面被脉冲电流对应的磁场所磁化,当脉冲电流撤销后,其剩磁形成了磁化小区域 L ,把电信号变成了磁信号,这就是写入操作。读出操作时,由于磁介质和磁头间的相对运动,事先被磁化了的区域掠过磁头前隙时,磁力线穿过磁头并被切割,磁头中的磁通发生变化,在读/写线圈中产生了感应电动势 e ,感应电动势的大小与磁头中磁通随时间的变化成正比,极性与磁通变化的极性相反。当磁通由零正向增大时,在磁头线圈中产生一个负的感应电势;当磁通再由大到小变化时,则产生一个正的感应电势,形成图 1-3 中的一负一正两个脉冲,把磁信号变成了电信号。电脉冲信号再经过放大、限幅、整形和选通后,获得符合要求的数字信息。

图 1-4 表示数据写入和读出的变换原理。写入时,数据经编码电路,根据不同的记录方式,产生相应的电流变化,图中为不归零制记录方式,当数据位为“1”时,电流有极性变化,数据位为“0”时,电流极性不变。这样的电流信号送到磁头线圈,在磁介质表面上形成与数据相对应的

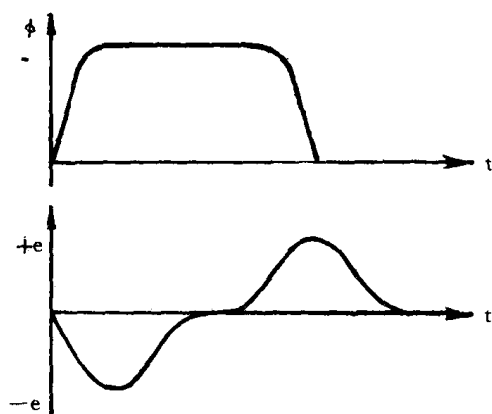


图 1-3 磁头中的磁通变化及其感应电势

磁化区域。读出时，转换成磁头中的感应信号，再把它还原成数据信号。

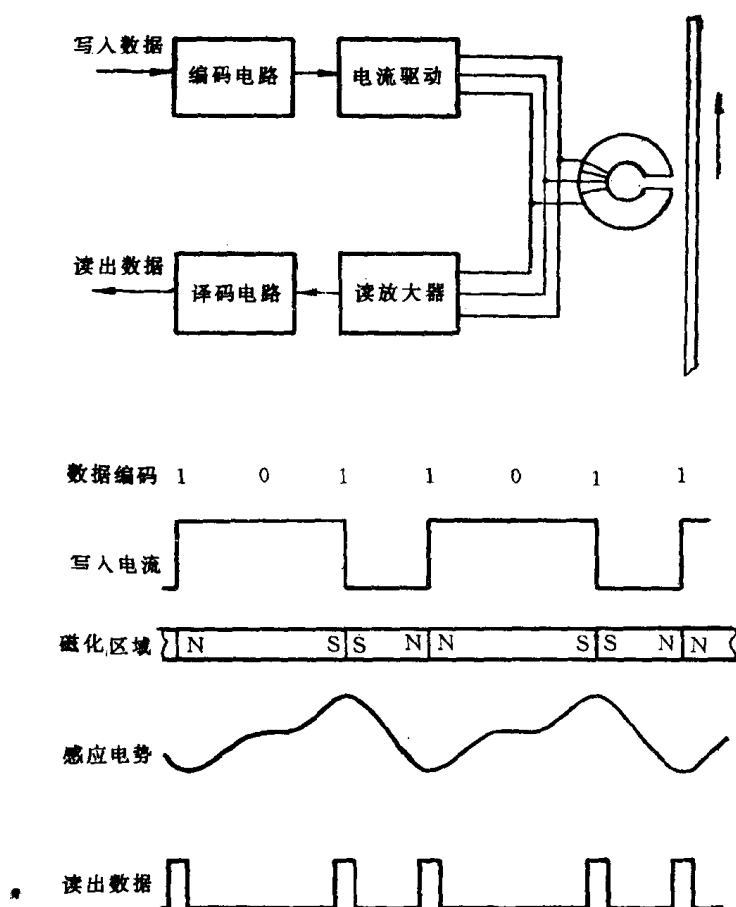


图 1-4 数据写入和读出的变换原理

第二节 记录方式

在磁表面存储器中，二进制数字信息的写入操作是按照特定的规则，把要写入的“1”或“0”转换成相应的磁化翻转状态记录在磁表面上，而这种规则是由不同的记录方式决定的。记录方

式又称编码方式。下面就几种主要的记录方式作简要介绍。

一、未经编码的记录方式

当记录密度不高时,可以直接用正、负两个不同极性的电流脉冲,通过磁头线圈,在磁层上形成两个不同方向的磁化区域,分别表示“1”和“0”。这种记录方式,在相邻两个数位之间,磁头线圈中是没有电流的,所以又称它为归零方式,即 RZ 方式。RZ 记录方式的记录密度很低,因为对应每一位数位,不论是“1”还是“0”,在脉冲的上升沿、下降沿,磁层的磁化状态均需翻转两次,相邻两位数据之间还要留出相当大的空白区。

另一种是不归零方式,即 NRZ 方式,磁头线圈在工作过程中始终有电流,只是以电流的正、负方向不同来实现写“1”或写“0”的,而且只有当相邻两位数码不同时,写电流才改变一次方向,即磁化状态翻转一次。

还有一种不归零方式,称 NRZI 方式。它的规则是:逢“1”翻转,即对应被记录的数据位,逢“1”磁化状态翻转一次,遇“0”就保持原来的磁化状态不变。相比之下,记录同样的数据序列,不归零方式的磁化翻转次数比归零方式少,因此,能提高记录密度。

图 1-5 是上述几种记录方式的电流波形。

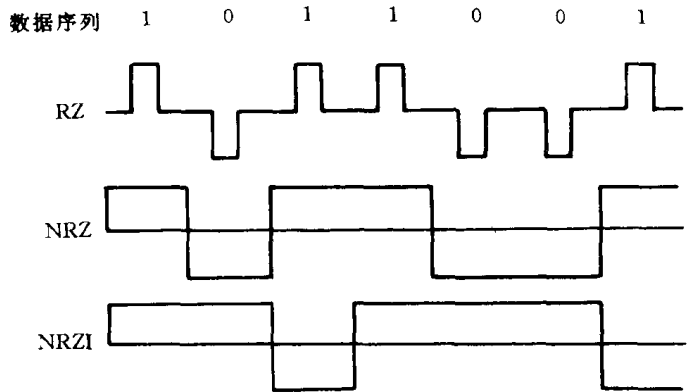


图 1-5 RZ、NRZ、NRZI 方式的写电流波形

以上几种记录方式,目前已很少直接使用。

二、按位编码的记录方式

按位编码的记录方式有双频编码、相位编码和改进调频编码等。

1. 双频编码(FD)

双频编码方式又称调频制(FM),这种记录方式广泛用于硬磁盘和软磁盘驱动器中,其规则是在数据中插入时钟信号,再按 NRZI 制式记录到磁表面上。这里,未编码前的一串被写入数据称为数据序列,编码后变成一串数据和时钟混合的信号。当数据为“0”时,编码后的记录序列为“10”,双频制的编码规则如表 1-1 所示。

表 1-1 双频制编译码规则

数据序列 d_0	记录序列 $e_1 \quad e_2$	
0	1	0
1	1	1

其中数据序列 d_0 , 经编码后变成记录序列 e_1, e_2 , 不论 $d_0=0$ 或 $d_0=1$, e_1 总为“1”, 而 e_2 的值, 等同于数据位 d_0 的值。

图 1-6 是双频制记录方式的原理。

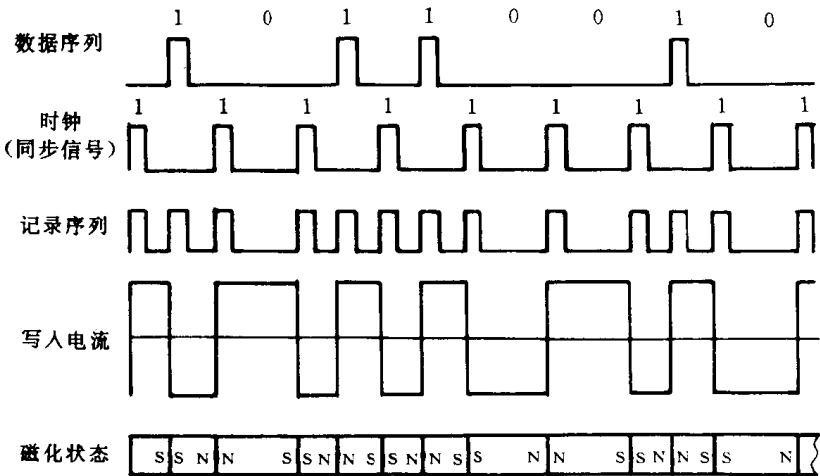


图 1-6 双频制记录方式

图中, 第一行是数据序列, 在每一个位单元的中央有一个脉冲表示“1”, 没有脉冲表示“0”。在每一个位单元的开始边界加上时钟脉冲, 形成记录序列, 再按 NRZI 制方式产生写入电流。从记录序列可以看出, 当数据为“1”时, 既有数据脉冲又有时钟脉冲; 当数量为“0”时, 只有时钟脉冲。因此, 对应写数据“1”, 除了在位单元中心处有磁化翻转外, 在位单元的开始边界处也有磁化翻转, 而写数据“0”时, 仅仅在位单元的开始边界处有翻转。这样, 对应“1”的电流脉冲频率是“0”的两倍, 所以称此编码方式为双频制, 又称倍频制。它是用不同的信号频率来区分二进制的“1”和“0”的。

2. 相位编码方式 (PE)

相位编码方式又称调相制, 这种编码方式广泛使用在密度为 1 600bpi (位/英寸) 的磁带记录中。

相位编码方式的编码规则如表 1-2 所示。

表 1-2 相位编译码规则

数据序列 d_0	记录序列 $e_1 \quad e_2$	条 件 d_{-1}
0	1 1	0
	0 1	1
1	0 1	0
	1 1	1

表中可见, 当数据位为“0”时, 编码后的记录序列可能是“11”或“01”, 究竟是哪一个, 取决于前一位数据位 d_{-1} 是“0”还是“1”。当为“0”时, 记录序列为“11”, 当为“1”时, 记录序列为“01”。数据位为“1”的情况相反。

图 1-7 是 PE 制记录方式的原理。

如记录的数据序列是 0110010, 编码后的记录序列为 1011101110101。根据记录序列的各位, 用 NRZI 规则产生写电流, 形成相应的磁化翻转。从图 1-7 中的写电流波形可以看出, 当数

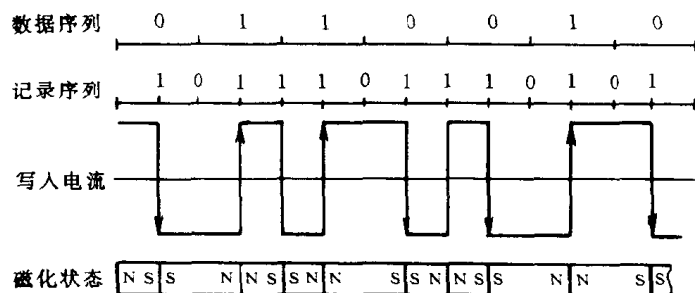


图 1-7 PE 制记录方式

据序列位为“0”时,写电流由正变负,而数据位为“1”时,写电流由负变正,两相位相反。所以相位编码方式是以不同的相位来表征二进制的“1”和“0”的。

3. 改进调频制(MFM)

这是一种常见于磁盘存储器的编码方式,从数据序列获得记录序列的规则是:在位单位的中心是对应数据位,当本位和前一位均为“0”时,在本位单元开始的边界处写“1”(时钟脉冲),其余情况不要时钟位。再由数据和时钟混合成记录序列,见表 1-3。

表 1-3 改进调频制编译码规则

数据序列 d_0	记录序列 $e_1 \quad e_2$		条件 d_{-1}
0	1	0	0
1	0	1	
0	0	0	1
1	0	1	

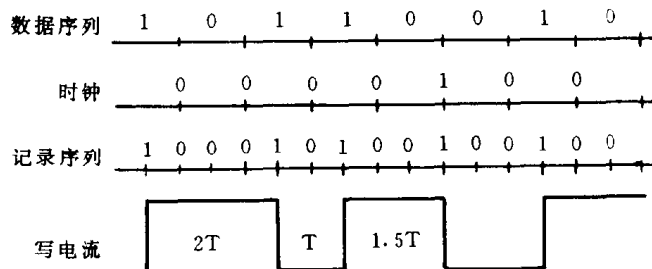


图 1-8 MFM 制记录方式

图 1-8 是以数据序列 10110010 为例的 MFM 制记录方式的写电流波形。

与调频制记录方式相比较,MFM 制有所改进。在调频制方式中,每个位单元开始的边界处,均要有时钟信号,是无条件的。而 MFM 制只是在遇到连续两个以上的“0”的情况下,位单元的边界上才写时钟信号。因此,同样的数据序列,用改进调频制(MFM)记录比用调频制(FM)记录所用的时钟信号数量少,磁化翻转次数少,在磁介质表面,相同的长度上可以记录更多的信息,提高了记录密度。在 FM 方式下,记录一位二进制数,最多为两次磁化翻转,而 MFM 方式最多只要一次,记录密度可以提高一倍,所以 MFM 方式又被称为倍密度记录方式。

三、成组编码的记录方式

1. GCR(4/5)编码

这种编码方式广泛应用于密度为 6 250bpi(位/英寸)的磁带记录中,它与按位编码方式不同的是数据序列以四位一组成组编码,编出对应的五位一组的记录序列。数据序列为 $d_1d_2d_3d_4$,对应的记录序列是五位的 $e_1e_2e_3e_4e_5$,再把各组记录序列码连接起来。编码规则见表 1-4。

表 1-4 GCR(4/5)方式的编译码规则

序 号	数据序列				记录序列				
	d_1	d_2	d_3	d_4	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5
1	0	0	0	0	1	1	0	0	1
2	0	0	0	1	1	1	0	1	1
3	0	0	1	0	1	0	0	1	0
4	0	0	1	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	0	1	1	1	0	1
6	0	1	0	1	1	0	1	0	1
7	0	1	1	0	1	0	1	1	0
8	0	1	1	1	1	0	1	1	1
9	1	0	0	0	1	1	0	1	0
10	1	0	0	1	0	1	0	0	1
11	1	0	1	0	0	1	0	1	0
12	1	0	1	1	0	1	0	1	1
13	1	1	0	0	1	1	1	1	0
14	1	1	0	1	0	1	1	0	1
15	1	1	1	0	0	1	1	1	0
16	1	1	1	1	0	1	1	1	1
17					1	1	1	1	1

表中序号 17 那一栏,记录序列为 11111,没有对应数据,用作同步及结束标志。

GCR(4/5)的编码是计算出来的,其编码方程是:

$$e_1 = \overline{d_1} + \overline{d_3} \overline{d_4}$$

$$e_2 = d_1 + \overline{d_3} (d_2 + \overline{d_4})$$

$$e_3 = d_2$$

$$e_4 = d_3 + \overline{d_1} \overline{d_2} d_4 + d_1 \overline{d_4}$$

$$e_5 = d_4 + \overline{d_1} \overline{d_3}$$

译码方程是:

$$d_1 = e_2 (\overline{e_1} + e_4 \overline{e_5})$$

$$d_2 = e_3$$

$$d_3 = e_4 (\overline{e_1} + \overline{e_2}) = e_4 \overline{e_1 e_2}$$

$$d_4 = e_5 (\overline{e_1} + \overline{e_2} + e_4) = e_5 (\overline{e_1 e_2} + e_4)$$

根据这些逻辑关系式来设计相应的编译码电路。

2. 三单元调制码(3PM)

这是一种不仅在磁盘存储器,也在高密度磁带存储器中被采用的高效编码方式,但编/译码较复杂一些。其编码规则是:把数据序列每三位为一组变换成六位一组的记录序列,即3变6。然后,将各组连接起来。连接时必须遵循下述约束条件:任何两个相邻的“1”之间至少要有两个“0”,最多十一个“0”。因此,任何两次磁化翻转之间至少相距三单元的间隔,故而称为三单元调制码。3PM 制的编码规则见表 1-5。

表 1-5 3PM 编译码规则

序 号	数据序列			记录序列					
	d_1	d_2	d_3	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
2	0	1	0	0	1	0	0	0	0
3	0	1	1	0	1	0	0	1	0
4	1	0	0	0	0	1	0	0	0
5	1	0	1	1	0	0	0	0	0
6	1	1	0	1	0	0	0	1	0
7	1	1	1	1	0	0	1	0	0

当相邻两组编码连接时,发生了与上述约束条件相违背的情况,如表中序号为 0、3、6 这三组的后面若连接序号为 5、6、7 中的任意一组码,都会发生相邻两个“1”之间不足两个“0”的情况,与约束条件不符。这时,应按下述合并规则更动编码:把本组 e_5 的“1”以及下一组 e_1 的“1”变成“0”,而把本组的 e_6 变成“1”,相当于把前、后两个“1”合并到 e_6 上。表中的基本编译码规则加上这一条合并规则,就成为最终编译码规则。例如,现在有一数据序列为 011111010,分成三位一组:011-111-010,按表 1-5 进行分组编码:011 变成 010010,111 变成 100100,010 变成 010000,把它们连接起来,变成:010010-100100-010000,发现第一组和第二组连接处相邻两个“1”之间,只有一个“0”,不满足约束条件。因此,再根据合并规则,将第一组的 e_5 改为“0”,而把 e_6 改为“1”,把第二组的 e_1 改为“0”。于是,最后变成了 010001-000100-010000 的记录序列(图 1-9)。

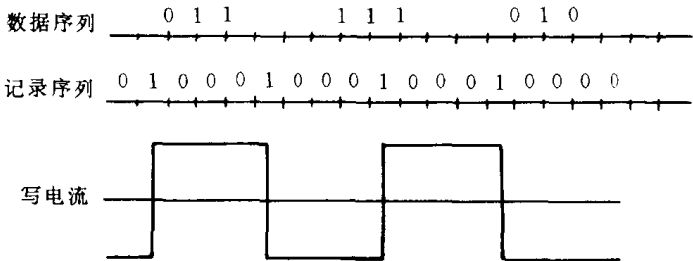


图 1-9 3PM 制记录方式

四、游程长度受限码

在数字磁记录中应用了数字通信中的编码理论,将原始数据序列按照某种规则变换成记录序列,称这种规则为信道编码或记录方式。游程长度受限码 RLLC(Run Length Limited

Code), 它是对记录序列中的两个“1”之间的“0”的个数进行限制的编码。RLLC 码用 $(d, k; m, n; r)$ 这种形式描述, 其中 d, k, m, n, r 是 RLLC 码的结构参数, 用来表示和区别各类编码的主要特性。

d ——记录序列中, 任意两个相邻的“1”之间至少需要的“0”的个数;

k ——记录序列中, 任意两个相邻的“1”之间最多允许的“0”的个数;

m ——编码前的数据序列的位数, 若 $m=1$, 则是按位编码, $m>1$ 为成组编码;

n ——编码后的记录序列的位数;

r ——若 $r=1$, 表示 m 和 n 为固定值, 称固定长度码, 若 $r>1$, 表示 m 和 n 有 r 组不同的、长度可变的成组编码。前面介绍过的任何一种编码方式均可以用 RLLC 码来描述, 例 FD 和 PE 制属于 $(0, 1; 1, 2; 1)$ 码, MFM 制属于 $(1, 3; 1, 2; 1)$ 码, GCR 制属于 $(0, 2; 4, 5; 1)$ 码, 3PM 制属于 $(2, 11; 3, 6; 1)$ 码等等。

在磁介质表面上的任何数字磁记录, 都是由一系列磁化翻转所构成, 如果两次相邻极性相反的磁化翻转相隔很近, 那么读出脉冲将会因重叠, 互相干扰, 幅度衰减, 并因波峰间距影响, 产生峰点漂移。这种现象被称为脉冲拥挤效应。在峰值检测系统中, 通过选择或改进导致拥挤现象的记录方式来克服拥挤效应, 提高存储密度的。限制数 d, k 决定了磁化翻转的最短间隔和自同步时钟信号。

五、评价记录方式的主要因素

1. 码效率 M

编码效率是直接关系到记录密度的因素, 编码效率也称为密度比。

$$M = \text{每 mm 数据位数} / \text{每 mm 最大磁化翻转次数}$$

所以, 编码效率是指表面磁层上每一次磁化翻转所能记录的数据位数, M 值越大, 磁层同样的翻转次数包含的信息量大, 效率高, 即记录密度高。就上述几种记录方式作比较, 它们的 M 值分别是:

NRZI:	$M=1$	100%
FD:	$M=1/2$	50%
MFM:	$M=1$	100%
PE:	$M=1/2$	50%
GCR:	$M=4/5$	80%
3PM:	$M=3/2$	150%

2. 同步能力

读出时, 为了分辨有用数据信号, 需要有一个与数据脉冲同步的时钟脉冲来定位, 对于没有自同步能力的记录方式, 就需要设立专门的时钟磁道。但是, 在多磁道并行读写的情况下, 对各磁头的前隙制造公差、安装及定位精度等要求苛刻, 难以达到高密度。而有自同步能力的记录方式, 可以在读出脉冲序列中提取时钟信号。能力强的那些记录方式能不断地提取到同步时钟信号, 有些则有间断。其中 NRZ 制、NRZI 制无自同步能力, 其余的均有自同步能力。

3. 读出分辨能力

这是表征读出可靠性的指标。读出操作时, 要从读出波形中鉴别出有用的数据信息, 一般用峰值鉴别法。但是, 峰值点会漂移, 所以用检读窗口的宽度 T_w 来表示峰点漂移的允许范围。 T_w 越大, 表示允许漂移的范围越宽, 检读时间余量就越大, 读出分辨力越高。

4. 带宽

频带宽度较窄的信号容易滤波处理,对电路要求也不苛刻,选择性、抗干扰性均较好。某记录方式下,磁化翻转的最大间距和最小间距之差越小,该记录方式产生的带宽就越窄,性能就越好。

5. 信息独立性

读出时,某一位信息出现误码,不会影响后续的其他位信息的正确性,这就是信息的独立性,与其前、后位的状态无关。

6. 电路的复杂程度

用标准的数字集成电路来实现编、译码电路及读、写电路时,比较其复杂程度、成本高低等因素。

7. 抗干扰能力

磁头、磁介质及读写电路等都会产生电噪声,引起误码。不同的编码方式,抗噪声的能力也不同。通常,编码比率 $R=m/n$ 小于、等于 1, R 值越大,系统对噪声及峰值位移引起的偏差越不敏感,抗干扰性越好。

以上讨论说明,记录方式的性能直接影响到磁记录的密度和可靠性。例如,常用的 RLLC (d, k) 码有编码比率为 $1/2$ 的 $(2,7)$ 码和编码比率为 $2/3$ 的 $(1,7)$ 码,这两种编码比改进调频制 MFM 码的记录密度提高了 30% 至 40%。

近来,从通信技术中把先进的 PRML (Partial Response Maximum Likelihood) 信号处理方法移植到磁记录中来,确保了高的读出幅度,降低了噪声和位出错率,记录密度进一步提高。

第三节 硬 磁 盘

硬磁盘存储器是计算机系统的主要外存储器。世界第一台硬盘驱动器(HDD)是 1956 年问世的 IBM350,它由五十片直径为 24 英寸的盘片组成,面密度为每平方英寸 2KB,存储容量仅 5MB。转速为 1200 转/min。磁头是静压式,工作时需要向盘组压入压缩空气。平均定位时间长达 600 毫秒。自那以后,硬盘驱动器经历了近 40 年的发展,技术取得了惊人的进步。目前的产品,面密度一般为每平方英寸 150MB,有的高达 400MB,甚至 560MB。据估计,到 2000 年硬盘的面密度可能达到每平方英寸 10GB。

硬盘从它诞生的第一天开始就作为计算机的外存储设备。目前尽管受到来自光盘和半导体盘的激烈竞争和挑战,但从数据存储速度和产品价格两方面比较,要把光盘从现在的 70~80ms 平均存取时间降到 HDD 现在已经达到的 20ms 左右的水平,要把现在几十倍于 HDD 价格的半导体盘降到现在 HDD 的价格水平,不是一件轻而易举的事。同时 HDD 的性能/价格比还在飞速提高。因此,HDD 在计算机各类外存储设备的统治地位,至少短时期内不会改变。

但在 HDD 中,大直径的 HDD 市场急剧萎缩,小直径的 HDD 市场迅速增长,特别是 3.5 英寸 HDD 是目前市场最受欢迎的。同时应该看到,2.5 英寸和 1.8 英寸 HDD 已经发展起来,以及磁盘阵列装置(RAID)的发展,后者由于它具有存储容量大、数据传输快、可靠性高等特点,能满足大型计算机对外存的需要,因此受到重视和发展。

一、工作原理

磁盘存储器的数据读/写是靠磁头和盘片来实现的,盘片是在圆形盘基表面上涂有一层磁