

大容量固态记录器技术

王晓东, 郝志航

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要:数据记录器是数据处理系统和图像记录系统中的重要组成部分, 固态记录器是最新型的大容量数据记录技术。综述了固态记录器的发展与应用情况, 分析了固态记录器的固有特性以及大容量固态记录技术的发展方向, 提出了研制大容量固态记录器所需解决的关键技术。

关键词:数据记录器; 数据处理系统; 固态记录器; 固态存储器件

中图分类号: O438 **文献标识码:** A

1 引言

近年来, 随着电—光(Electro—Optical)相机和高速处理器等先进技术以及传输型科学仪器在气象卫星、地球资源卫星、太空探索、人造太空飞行器以及高性能航空飞机等各领域中的应用, 尤其是在低轨道卫星和航空侦察系统中的应用, 高性能的数据处理系统 DPS(Data Processing System)迫切需要高可靠、高传输带宽的容量大、体积小、重量轻、功耗低的可随机存取的数据记录设备。目前 EO 传感器数据读出率已达 240Mb/s, 新一代的 EO 传感器数据读出率将达 10Gb/s, 传统的磁记录技术已经不能满足高性能 DPS 的要求^[1-4], 而以半导体固态存储器件为基础的固态记录器 SSR(Solid State Recorder)技术随着半导体电子技术与工艺的发展, 其实际应用成为可能。固态记录器由于其本身的固有特性, 没有运动部件, 可靠性高, 并可以高速随机存取, 具有磁记录器无法比拟的优点。同时, 半导体电子工业的发展使固态存储器件集成度和存储密度不断提高, 这些都使它更具竞争力^[5-8]。

2 大容量数据记录器的发展与现状

随着数字化传感器的广泛应用, 数字式数据记录器快速发展, 主要有磁记录技术、光盘记录技术和固态记录技术。

2.1 磁记录技术

磁记录技术主要有磁带机和磁硬盘阵列技术^[2]。磁带机(Tape Recorder)是迄今为止应用最广的磁记录技术。现在空间运行的绝大多数遥感卫星, 如美国的 Galileo 和 Hubble, 法国的 SPOT, 日本的 JERS 和 ADEOS, 加拿大的 RADARSAT, 以及目前使用的大多数航空侦察视频记录系统, 都采用基于磁带的记录设备。美国也曾采用磁硬盘为 LANTIRN 航空侦察装置研制了 TDRS(Tactical Disk Recording System)来记录 FLIR(Forward Looking Infra)视频数据, 容量 9GBytes, 数据传输率 7.8MB/s, 1553 总线, RS-232 接口^[9-11]。

磁记录设备的特点是固有的非挥发性, 存储量可以非常大, 目前已经具有 Tbits 级存储容量的磁带机。但由于它以磁带或磁硬盘为存储介质, 温度适用范围窄, 存取时间长。同时由于它是一种电—机(Electro—Mechanism)设备, 有大量的机械部件, 制约了磁记录设备的可靠性、传输速度和使用寿命, 限制了其体积、重量和功耗的进一步减小^[12-14]。

2.2 光盘记录技术

光盘记录技术记录密度极高, 面密度已达 0.5 Gb/in² ~ 1.0 Gb/in², 尚有 3~4 倍的潜力。光盘具有容量大, 可随机存取的优点, 但信息的读出与写入需要精密跟踪伺服的光学头, 而且由于记录材料的限制, 目前可重写光盘的写入速度为 5Mb/s ~ 10 Mb/s, 平均存取时间为 30ms ~ 50ms^[6]。

2.3 固态记录技术

随着半导体电子技术与工艺的迅猛发展,以高速、高存储密度、高可靠性的固态存储器件和先进的封装技术为基础的固态记录技术开拓了新的数据记录领域^[15]。

基本的固态存储器件主要有 DRAM, SRAM, EPROM, EEPROM 和 Flash Memory, 它们都有各自的存储单元组织和 I/O 结构, 当前国际上研制大容量固态记录器^[1-5]主要采用 DRAM 或 Flash Memory。

动态 RAM (DRAM) 是一种挥发性 RAM (Random Access Memory), 它的存储单元是一个相当于电容器的单管结构, 必须依靠刷新来保持信息, 因此应用电路比较复杂。但它在所有固态存储器件中价格最低, 存储密度最大, 而且 DRAM 有较好的抗辐射性能, 航天应用的固态记录器多采用 DRAM 还因为航天系统有太阳能电池系统, 不需要化学电池, 就可以解决其挥发性问题^[1]。Flash EEPROM 是非挥发性的固态存储器件, 它具有 (UV) EPROM 和 EEPROM 的双重特点: 存储单元类似 EPROM 是单管结构, 又具有 EEPROM 可以电擦除的特性。擦除过程是对器件中整块的存储区域或者整个器件进行, 所以称“闪速”。闪速存储结构简单、价格比较便宜, 数据读出速率非常高, 但数据擦写周期比较长。Flash Memory 器件近年来发展迅速, 它的价格高于 DRAM, 但数据保持是非挥发的, 不需要电池供电, 具有可移性, 因此大量用于高性能航空侦察系统^[3, 16, 17]中。

3 固态记录技术的应用和发展

3.1 商用固态记录技术

KODAK 公司研制的视频运动分析仪最先采用的是磁记录系统, 每秒可记录 120 幅图像, 后来发展到每秒 200 幅图像, 1986 年研制的 SP2000 型通过 34 通道每秒可记录 2000 幅图像, 但高速机械式磁带驱动限制了产品进一步发展。1990 年, 采用 DRAM 芯片的固态记录器的 1012 型和 1012R 型每秒可记录 1000 幅图像, 从而在商用领域提出了采用固态记录器进行采集和记录的新概念^[18]。

在商用计算机及其应用系统中, 除了我们所熟知的主存, 各种缓存等应用外, 近来一种被称作固态盘的技术迅速发展。固态盘是基于固态存储

芯片 (DRAM 或 Flash Memory) 的高速硬盘驱动器; 它具有与普通磁硬盘相同的扇面和接口, 对于宿主系统来说, 它与普通磁硬盘完全相同; 它与磁硬盘相比, 具有更快的访问时间 ($< 0.1\text{ms}$) 和更高的数据传输速率 (用 SCSI-II 接口大约 18MB/s, 用 UltraSCSI 接口可达 35MB/s)。固态盘技术被认为是能消除 I/O 瓶颈和提高系统性能的有效方法, 使用很小部分的固态盘就能大大提高 I/O 密集型应用性能, 如 online transaction processing (OLTP), decision support system (DSS), 因特网电子邮件和各种消息服务等。

3.2 固态记录技术在空间领域的应用

空间飞行器的数据记录系统是其任务成败的关键, 其主要功能是记录飞行器以及飞行器上各种仪器设备的工程数据和各种仪器设备所获取的科学数据如遥感图像数据等。空间数据记录系统需要能够适应恶劣的空间应用环境, 同时还要完成繁重的记录任务, 固态记录器技术的发展对空间任务的拓展起到了巨大的推动作用。

SRAM 的存储单元为多管结构, 因此集成度低, 价格高, 但 SRAM 不需擦除即可写入数据, 数据保存不需要刷新, 而且数据读写操作速度快。SRAM 的高速读写操作特性, 使它适宜作为高速缓冲存储设备和高速数据传送设备。美国仙童公司曾采用 SRAM 研制了用于 ATHENA 遥感卫星的固态存储卡。美国 F-16 战斗机的 DTE (Data Transfer Equipment) 就采用了带有电池的 SRAM。SRAM 和 DRAM 都是挥发性存储器件, 需要供电保持数据。美国海军 AN/ASQ-215 的 DTE, 则采用了非挥发性的 EEPROM。但由于 SRAM 与 EEPROM 本身的 I/O 结构, 使它们的集成度、功耗与价格不够理想, 不适于大容量数据的存储。

最早研制空间应用的大容量固态记录器的是美国的 JPL 实验室和 TRW 公司合作, 采用 DRAM 为 NASA 的 Cassini 飞船设计制造了替代磁带机的试验性固态记录器, 用 4Mb DRAM 构成了 2Gbits 的记录容量, 数据读写速率为 4Mb/s; EarthWatch 项目发射的 EarlyBird, QuicklyBird 以及美国的 Eye-glass 详查卫星也都使用了由 DARM 构成的固态记录器, 其中 EarlyBird 上的 Odetics 公司制造的固态记录器是第一个完全实用型的, 它由 16Mb DRAM 器件构成 16Gbits 的记录容量, 数据记录速率为 160Mb/s, 重量小于 12lbs; 1998 年发射的由国家侦

察办公室(NRO)资助的 STEX 卫星上使用了由 SEAKR 制造的采用 64Mb DRAM 构成的 51Gbits 固态记录器;1999 年末的 EO-1 的宽带先进记录处理器(WARP),采用了 8 层叠 16Mb DRAM,记录容量 48Gbits,猝发方式记录速率大于 1Gb/s,连续方式记录速率 900Mb/s,数据回放速率 105Mb/s(X-Band);近来,ALCATEL 公司采用 256Mb DRAM 研制了可将记录容量扩展到 640Gbits 的固态记录器。此外,一些早期使用磁带机的空间科学设备如 Hubble 科学望远镜等已经开始逐步用固态记录器来替代磁带机,Hubble 科学望远镜上安装的固态记录器与所替代的磁带机体积相同,但记录容量(12Gbits)却是磁带机(1.2Gbits)的 10 倍,而且实现了模块化设计,可靠性大大提高^[2,15,19,20]。

Flash Memory 的价格较低,介于 SRAM 和 DRAM 之间。它在写入数据之前必须进行擦除操作,因此数据写入速度慢,但数据读出速度非常快,它的数据保存是非挥发的,即记录系统下电后记录的数据不丢失。Flash Memory 数据保存的非挥发性和数据读出的高速性,使其广泛应用于数据实时传送处理领域,如应用于航空侦察系统和高性能战斗机中的 DTS(Digital Terrain System),可减轻飞行员负担并可实现自动导航。美国 Orbital 公司的仙童分公司在 F22 飞机中采用由 Flash Memory 构成的高速固态记录器用于侦察、指令设备和遥测系统中,已经通过了各项性能测试,其研制的采用 COTS(commercial-off-the-shelf)器件的高速固态记录器最早应用于 F-16 侦察装置,数据传输率可达 240Mb/s,容量 54.4GB(1998),预计大于 200GB(1999);CALCULEX 公司也采用 Flash Memory 研制了容量可达 400Gbytes,数据传输率最高 1Gb/s 的固态记录器^[3,16,17]。

3.3 固态记录技术的优点

- a) 极高的可靠性—无机械运动部件,安装牢固;
- b) 不易受温度变化损坏;
- c) 零搜索时间的直接存取;
- d) 读写速率可以瞬时改变;
- e) 随机存取;
- f) 同时录放—read while write;
- g) 实时编辑;
- h) 模块化结构;
- i) 无特别维护要求的工作部件;

- j) 体积小,重量轻,功耗低;
- k) 价格与磁带机相当或更便宜。

4 固态记录技术中的关键技术

为研制高性能的固态记录器,满足各类数据处理系统和图像记录系统的要求,需要解决一系列的关键技术。

4.1 体系结构研究

影响高性能数据记录系统的一个重要因素就是记录系统的体系结构,为了方便地存取数据,并具有同时录放功能,需要合理地安排存贮体的组织结构,实现模块化设计^[16,19,22]。

为了解决数据带宽瓶颈问题,就必须采用并行存储技术实现动态存贮策略来提高记录系统的数据带宽。同时,为了提高系统可靠性,实现容错设计,系统组织需要具有可编程重构功能^[3,19]。

4.2 存储阵列高密度组装技术与印制板 CAD 技术的研究

为满足空间应用嵌入式要求,记录系统的体积、重量和功耗都有一定的限制,因此必须解决高密度组装技术。同时,进行 CAD 布局、布线技术研究,解决高速信号之间相互干扰的问题和总线驱动问题^[1,24]。

4.3 容错和容错管理技术研究

为适应空间应用环境的复杂性,提高记录系统对数据的传输与存储的可靠性和准确性,保证数据的完整性,需要解决容错技术问题^[2,3,25]。

主要包括:存储器件测试技术的研究;数据检纠错(EDAC)措施的研究;模块级故障检测技术和模块可编程重构技术的研究;冗余技术研究;对单粒子效应进行软硬件综合防护的研究;存储器等大规模集成器件的限流保护技术和抗门锁技术的研究。

4.4 高速率数据传输和同步技术研究

探测卫星以及其他空间飞行器上的科学探测仪器的数据产生速率不断提高,数据处理系统必须寻找方法来保持和传输数据,在使用多光谱和超光谱探测器的地球图像卫星上,这种挑战更加明显。LANDSAT 7 仪器数据率是 150Mb/s,EO-1 仪器数据率超过 500Mb/s,下一代的 LANDSAT 预计仪器数据率可达 10Gb/s^[8,20,26,27]。

数据传输的缓冲和编译码以及数据流写入与

读出存贮体的匹配技术是降低误码率的关键技术。高速接口、总线技术和并行处理与同步技术将提高数据带宽。

4.5 抗辐射加固技术研究

大量的地面仿真试验和空间飞行试验表明,各类航天器,特别是在地球轨道上长期执行飞行任务的卫星,会受到地球辐射带内高能粒子、宇宙射线、太阳耀斑所产生的粒子的轰击,引起总剂量损坏(TID)和单粒子效应,出现单粒子翻转(SEU)、单粒子锁定(SEL)现象,对卫星正常工作带来极大的威胁,甚至导致卫星无法在轨执行飞行任务而失败。迄今发射的许多颗卫星,如美国的跟踪和数据中继卫星(TDRS)-1、林肯试验卫星(LES)、法国的斯波特卫星(SPOT)-1以及我国的某气象卫星等都因为空间辐射的影响而出现故障^[28-30]。

具有双态逻辑记忆功能的大规模集成电路器件容易受到单粒子效应的威胁,如RAM、CPU以及ASIC、PGA等,因此必须对空间固态记录系统进行抗辐射加固技术研究。

4.6 软件设计研究

固态记录系统的功能都是在软件的控制下完

成的,因而软件设计非常重要。除了通常的抗干扰设计外,针对空间应用环境下,单粒子翻转(SEU)带来的“软故障”可能使系统工作异常,还需采用看门狗、三选二冗余、反弹墙等技术提高软件工作可靠性^[29-30]。

5 展 望

随着科学技术的发展,航天、军用和商业部门对于数据记录能力的需求迅速提高。用空间监视卫星监测地球资源和环境状态,要求大大增加数据记录器的记录密度,改善带宽,降低功耗,提高可靠性,减小体积。同时,传输型科学设备的应用要求记录器具有随机存取能力。固态记录器由于其本身的固有特性,没有运动部件,可靠性高,并可以高速随机存取,同时,半导体电子工业的发展使固态存储器件集成度和存储密度不断提高,这些都使它更具竞争力。固态记录器技术方兴未艾,在空间应用前景广阔,特别是在小卫星和传输型科学探测器的应用中,更将一枝独秀。

参考文献:

- [1] Fishell Wallace G. Solid state memory in recce system[J]. SPIE, 1995, 2555: 183 - 194.
- [2] Folio Rich, Hart Chris L. Expected applications of the harris solid state compressive recorder (SSCR) to multispectral space-based image processing[J]. SPIE, 1997, 3119:125 - 132.
- [3] Kaufman Bruce. On the use of COTS VME-based hardware to implement high performance recce solid state recorders[J]. SPIE, 1998, 3431: 155 - 160.
- [4] Klang Mark. Tactical reconnaissance recorder alternatives[J]. SPIE, 1997, 3128:178 - 182.
- [5] Kaufman Bruce. Solid state recorder deliver new levels of performance and features for recce applications[J]. SPIE, 1997, 3128: 149 - 152.
- [6] 唐辛农. 21世纪卫星数据存储技术展望[A]. 卫星遥感图像数据传输与压缩技术专题研讨会论文集[C]. 北京:国防科工委, 1996.
- [7] 电子部五十二所. 空间遥感数据存储技术及其发展趋势[A]. 卫星遥感图像数据传输与压缩技术专题研讨会论文集[C]. 北京:国防科工委, 1996.
- [8] 王晓东. 空间应用的大容量固态图像存贮器的研究[D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械研究所, 1998.
- [9] Anderson Donald S, Sullivan Patrick L. Tactical disk recording system (TDRS)[J]. SPIE, 1997, 3128: 165 - 170.
- [10] Queau Alain. Large capacity airborne data recorders for reconnaissance applications[J]. SPIE, 1999, 3751: 192 - 196.
- [11] FENG Dan, ZHU Zhichun, JIN Hai, ZHANG Jiangling. Fast disk array for image storage[J]. SPIE, 1997, 3021: 277 - 283.
- [12] Thornley R F M. The future of digital magnetic tape[J]. SPIE, 1985, 529: 198 - 202.
- [13] Kaneko Reizo. Future of hard disk technology[J]. SPIE, 1985, 529: 190 - 197.
- [14] Geo Hrey Bate. The Future of flexible disk technology[J]. SPIE, 1985, 529: 182 - 189.
- [15] Tripp Bob. EarlyBird satellite expected to sharpen focus of commercial remote sensing industry[J]. Earth Observation Magazine, October 1995.
- [16] Fishell Wallace G. HSSR airborne and ground interfaces[J]. SPIE, 1998, 3431: 170 - 177.

- [17] Klang Mark R. Solid state recorders for tactical reconnaissance[J]. SPIE, 1999, 3751: 175 - 182.
- [18] Thomas D L. Techniques in high - speed solid state video recorder[J]. SPIE, 1992, 1801: 558 - 567.
- [19] Strause Karl F. The Cassini solid - state recorder: a high - capacity, radiation - tolerant high - performance unit[J]. SPIE, 1996, 2803: 259 - 270.
- [20] Smith Terry, Kessler Jhon. Earth Orbiter 1 - Wideband advanced recorder and processor (WARP)[A]. Government Microelectronics and Applications Conference (GOMAC)[C]. Monterey, CA, 1999.
- [21] Fishell Wallace G, Handel Kenneth J, Rader Jim. High - speed solid state recorder for airborne recce[J]. SPIE, 1996, 2829: 284 - 290.
- [22] Hall W J. Recce and UAV: Mass memory: an enabling technology for merger[J]. SPIE, 1996, 2829: 169 - 176.
- [23] Gesualdi William. Image archiving system[J]. SPIE, 1999, 3751: 85 - 91.
- [24] Kaufman Bruce. Memory Chip Packaging - An enabling technology for High Performance Recce System[J]. SPIE, 1999, 3751: 170 - 174.
- [25] Waring John L. Interfaces and error management trades for solid state recorder[J]. SPIE, 1999, 3751: 183 - 191.
- [26] Chiarulli Donald M, Levitan Steven P. Optoelectronic cache memory system architecture. AFRL - IF - RS - TR - 1999 - 187 Final Technical Report[R], New York, December 1999.
- [27] 袁孝康, 陈筠力. 我国未来卫星对数传技术的要求[A]. 卫星遥感图像数据传输与压缩技术专题研讨会论文集[C]. 北京:国防科工委, 1996, 246 - 250.
- [28] 星上计算机及其抗辐射加固技术的新进展[D]. 北京:航天工业总公司第 502 研究所, 1998.
- [29] 康晓军. 星载微机空间抗单粒子加固设计技术研究[J]. 航天返回与遥感. 1999, (12): 16 - 18.
- [30] 唐雪寒, 辛明瑞. 大容量固态记录器的软件设计[J]. 微电子学与计算机, 1999, (6): 50 - 54.

Mass solid state recorder technology

WANG Xiao-dong, HAO Zhi-hang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: The data recorder is vital to both data processing system and image recording system, and the solid - state recorder technology is the latest mass data recording technology. The paper summarizes the development and applications of the mass solid - state recorders and also analyzes their inherent characteristics and developing trend. Finally, the key technologies for developing the mass solid - state recorders are presented in detail.

Key words: data recorders; data processing systems; solid - state recorders; solid - state memories

作者简介: 王晓东(1970 -),男,吉林省白山市人,长春光学精密机械与物理研究所在职博士,主要从事空间光学工程与遥感信息处理方面的研究工作。