



中国航空学会
《航空科学技术丛书》

机载数据总线技术 及其应用

Avionics Data Bus Technology
and Its Applications

支超有 编著 唐长红 审校



国防工业出版社

National Defense Industry Press

中国航空学会
《航空科学技术丛书》

机载数据总线技术 及其应用

**Avionics Data Bus Technology
and Its Applications**

支超有 编著
唐长红 审校

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

机载数据总线技术及其应用/支超有编著. —北京:国防工业出版社, 2009. 1

(航空科学技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 118 - 06004 - 1

I. 机... II. 支... III. 机载计算机 - 总线 IV. V247. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 160325 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 17 字数 380 千字

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革

开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金 第五届评审委员会组成人员

主任委员	刘成海			
副主任委员	王峰	张涵信	程洪彬	
秘书长	程洪彬			
副秘书长	彭华良	蔡镭		
委员	于景元	王小谟	甘茂治	刘世参
(按姓氏笔画排序)	李德毅	杨星豪	吴有生	何新贵
	佟玉民	宋家树	张立同	张鸿元
	陈冀胜	周一宇	赵凤起	侯正明
	常显奇	崔尔杰	韩祖南	傅惠民
	舒长胜			
本书主审委员	张鸿元			

《航空科学技术丛书》

编审委员会

主 任 刘高倬

副主任 (按姓氏笔画排序)

马恒儒 王 欣 丛日刚 刘国华 杨国庆 杨育中
姜澄宇 胡海岩 魏 钢

编委会顾问 (按姓氏笔画排序)

王 中 刘大响 李 明 宋文骢 张福泽 陈一坚
陈懋章 贵 德 钟群鹏 徐建中 曹春晓 管 德

编委会委员 (按姓氏笔画排序)

王立新 甘晓华 朱自强 伍贻兆 刘行伟 孙先仿
孙建国 严传俊 苏恩泽 李玉龙 李志强 杨 伟
吴学仁 沙长安 沈士团 张聚恩 张靖周 武 哲
周德云 孟 光 荣毅超 胡子建 费斌军 桂幸民
夏品奇 徐肖豪 高 正 高正红 高德远 梅文华
崔德刚 康 锐 梁德旺 程洪彬

编委会编辑部

吴 松 王晓舟 郝 刚 唐应恒

编委会办公室

曲 岩 赵霜红 邢剑飞

总 序

航空器的诞生和发展,不仅极大地改变了人类的生活方式,促进了社会经济繁荣,而且成为决定现代战争胜负的重要因素和国家综合实力的集中体现。建国以来,我国航空工业经历了维修、仿制、自主研发、试验、生产、装备使用等过程,取得了丰硕成果。尤其是近 20 年来,航空技术研究有不少突破性科技成果,涌现出一大批有突出贡献和学术成就斐然的技术专家、学科带头人,他们的科技成就和丰富经验,是我国航空事业的宝贵财富。以图书为载体,记录这些成就,传播这些经验,可以扩大航空领域科学技术的交流,促进航空科技事业的继承与发展,加快航空科技人才的培养和提高。

21 世纪是科技迅猛发展的时代,国民经济的发展必须依靠高科技,武器装备和军事技术的发展更要依靠高科技。航空科技图书出版工作是航空科技和军队航空武器建设事业的一个组成部分,优秀的航空科技图书既是航空科技工作的一种成果,也是科技水平的重要标志,是国家的重要财富。出版《航空科学技术丛书》,不仅是从总体上对我国航空科技发展的总结,而且是为今后航空科技加强自主创新、实现持续快速发展奠定了良好的技术基础。

这套丛书将按照飞机、发动机、材料工艺、综合航电、机载设备和武器等领域来分类和组成,在每一类中可进一步细分为设计、气动、强度、原理、燃烧、控制、实验与测试技术、工艺、材料、信息技术等学科。其中部分著作是由航空领域的院士、著名专家等牵头组织编撰或修订的学术专著;部分著作是目前处于科研生产一线的学科带头人结合科研课题和科研成果的有较高学术价值的专著;另有一些是偏重工程应用的、有推广价值的技术著作。具体分列

如下:

(1) 在航空科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论著作;学术思想新颖,内容具体、实用,对航空科技发展有较大推动作用的专著。

(2) 航空工程技术理论方面有突破的应用科学专著、应用技术著作。

(3) 密切结合军用、民用航空装备现代化需要的高新技术内容的专著。

(4) 有重大发展前景和重大开拓使用价值,密切结合军用、民用航空装备现代化需要的新思想、新概念、新工艺、新材料内容的专著。

(5) 填补目前我国航空科技领域空白并具有应用价值的前沿学科和边缘学科的科技图书。

这套丛书从组织策划到付诸实施,得到了业界的热烈响应,得到了各领导机关的重视与支持,得到中国人民解放军总装备部、空军装备部和国防科工委、中航一集团、中航二集团、北京航空航天大学、南京航空航天大学、西北工业大学、中国民航学院以及一些航空科研院所、国防工业出版社等单位有关领导和专家的大力支持与协助,得到国防工业出版社的鼎力资助。在此,特向上述单位的领导和专家们致以热忱的谢意。

相信这套丛书的出版将对我国航空事业的发展起到承前启后、继往开来的重要作用,将是一件具有里程碑意义的工作。期望这套丛书能够有益于高技术领域人才的培养,有益于国防科研事业的发展,有益于航空科学技术的进步。

中国航空学会

《航空科学技术丛书》编审委员会

2005 年 12 月

《航空科学技术丛书》 已出版书目

- | | | | |
|-----|--------------|-------------------|--------|
| 001 | 航空燃气轮机燃油喷嘴技术 | 甘晓华 著 | 2006 年 |
| 002 | 飞行器结构优化设计 | 李为吉 宋笔锋 孙侠生 张勇 编著 | 2006 年 |
| 003 | 航空用引射混合器 | 李立国 张靖周 著 | 2006 年 |
| 004 | 燃气轮机燃烧室 | 林宇震 许全宏 刘高恩 著 | 2008 年 |
| 005 | 直升机复合材料结构设计 | 杨乃宾 倪先平 编著 | 2008 年 |
| 006 | 机载数据总线技术及其应用 | 支超有 编著 | 2009 年 |

前 言

机载数据总线技术是现代先进飞机电传操纵系统和航空电子综合化最重要的关键技术之一,电传操纵系统或航空电子系统性能的优劣直接决定着飞机性能的优劣。20 世纪 70 年代以来,飞机设计发生了重要转变,从飞机总体、气动为重点的设计转变到以飞机航空电子和功能系统为重点的设计上。由于人们经过多年的研究,对于增加推力、改善气动性能等问题已经逐步清楚,并且发现要在这方面挖掘潜力较为困难。而在同一时期内,信息工程、计算机技术、控制技术、电子技术都有了长足的发展,这些技术推动了航空自动化的进程,采用计算机作为飞机自动化的核心,在飞机上建立指挥、控制综合系统成为可能。并在此基础上建立飞机作战指挥、控制和通信系统的智能化 C³I,从而提高飞机的执行任务能力。

现代飞机上各个电子设备或子系统(如飞行控制、推力控制、火力控制、雷达、通信导航、控制显示、武器外挂管理、非航空电子监控处理等)都装备了独立的计算机,而这些众多的计算机除了满足各自功能子系统的实时处理以外,还需要进行信息交联达到功能综合的目的,这就导致了航空电子综合系统的出现。因此,机载数据总线技术已经成为电传操纵系统和整个航空电子系统的“中枢神经”。是航空电子综合系统的工作支柱,通过机载数据总线实现电传操纵系统中各个传感器与各个执行功能单元之间,以及各个航空电子系统单元之间的数据通信,实现信息共享和功能综合,它不但要满足各个传感器、功能单元和子系统功能的实时性要求,还要通过信息交联达到信息共享、功能综合的目的。

机载数据总线技术来源于航空电子综合系统的发展,美军的

航空电子系统先后经历了分离式、联合式和综合式三代的发展,目前正处于第四代“先进综合式”的研究阶段。在分离式航空电子系统中,导航、雷达、处理器和显示仪表等系统完全独立,是航空电子发展的初期;联合式航空电子系统中,导航、雷达、火控等子系统通过总线系统(ARINC-429、MIL-STD-1553B等)互连,实现了数据信息级的共享、命令和显示的综合;综合式航空电子系统中,提出了“模块”的概念取代子系统,在“宝石柱”计划中,提出了7种总线和网络技术,数据总线由1Mb/s的MIL-STD-1553B上升到50Mb/s的LTPB,使航空电子系统在信息一级实现了更高层次的综合;在先进航空电子系统中,要求在信号一级实现综合,由于需要处理的数据量急剧增加,而且总线上传输的数据不再仅仅是命令和状态数据,而是存在大量的中间结果数据,从而要求总线应当具有Gb/s的带宽和微秒级的数据延迟,提出采用“统一网络”实现子系统之间、模块之间的通信乃至处理。另外,在民用机载数据总线方面,面对航空电子系统对机载数据总线提出的时间确定性传输、可靠性高和质量轻的要求,世界航空业巨头波音公司和空中客车公司在20世纪就已经将重点转移到开发商用的以太网技术来构建下一代的机载数据总线,这项研究促进了航空电子全双工交换式以太网AFDX(Avionics Full-Duplex Switched Ethernet)的发展。数据总线技术在很大程度上提高了飞机本身的性能,而且也扩大和提高了飞机完成任务的能力。本书在结合作者近几年实际工作基础上,全面、系统地介绍了机载数据总线技术。

本书特点

(1) 从基础出发,具有广泛的适用性。航空电子和机载数据总线、及其控制、测试技术涉及多学科和众多应用。应用这一技术的科技人员和研究生中,除部分来自于航空电子、通信、计算机专业外,大部分来自其他不同的专业领域,缺乏通信和计算机网络方面的基础知识。虽然机载数据总线技术只是他们应用中使用的的手段和工具,但是了解了通信和计算机网络的基础知识,对于合理选择机载数据总线技术类型,快速、正确地掌握机载数据总线的基本

原理和使用方法却大有益处。本书从介绍数据通信和计算机网络的基础内容开始,不需要过多的专业知识。

(2) 基础理论和机载数据总线技术相结合。本书从内容上可以分为机载数据总线基础和典型机载数据总线技术两部分。在机载数据总线基础部分中,从数据通信基础和计算机网络体系结构两方面,探讨了有关机载数据总线通信的一般内容;同时全面介绍了目前应用以及研究中的机载数据总线,在典型机载数据总线技术中,分别介绍了目前国内外航空、航天和船舶领域广泛应用的 ARINC - 429、MIL - STD - 1553B、LTPB、FDDI、SCI、FC 和 AFDX 机载数据总线技术,读者可以有选择地参考。结合作者的经验来看,只要掌握了数据通信的一般内容并深刻剖析了一种机载数据总线技术,学习其他的机载数据总线技术便可举一反三。

(3) 既突出技术特点,又兼顾协议标准。在介绍具体机载数据总线技术时,虽然采用了不同的方法,但是都围绕技术特点和协议标准进行。在介绍 ARINC - 429 总线时,通过较完整的 ARINC - 429 协议标准来说明 ARINC - 429 的技术特点。由于 MIL - STD - 1553B 协议标准内容较多,限于篇幅,本书不便覆盖协议的全部内容,因此,在介绍这种机载数据总线技术时,概括了主要技术内容,这也有利于读者抓住技术的核心内容。为了便于与 LTPB、FDDI、SCI 和 AFDX 的协议标准相对照,本书中的一些概念和说明内容分别沿用了两个标准中的内容,请读者注意。

(4) 注重实际需要,选取典型开发实例。机载数据总线技术是一项实用的工程技术,本书中提供了一些简单开发实例的基本内容,便于读者实际开发时参照。在 ARINC - 429 机载数据总线的内容中,分别介绍了典型通信控制器芯片,还分别介绍了基于不同 CPU 的总线接口实例和总线的开发实例;在 MIL - STD - 1553B 内容中,借助 RT、BC、MT 功能接口,讲述了实际应用最多的接口设计方法。另外,本书中还使用了大量的图表,图注、表注也较多,供实际开发时参考。

本书结构

全书共分 13 章。第 1 章为机载数据总线概述,简要介绍了机载数据总线的发展以及目前广泛应用中的总线;第 2~3 章介绍了数据总线的基础知识,其中第 2 章是数据总线技术与数据传输技术的基础知识,第 3 章是计算机网络体系结构与协议;第 4~13 章详细讨论了应用于民用飞机、军用飞机上的各种不同的数据总线、器件,以及接口设计;第 4 章是民用飞机机载数据总线协议规范,第 5 章是典型的民用机载数据总线 ARINC-429 总线器件及开发实例,第 6 章是 ARINC-629 数据总线及其接口设计,第 7 章是军用飞机机载数据总线协议规范,第 8 章是典型的军用机载数据总线 MIL-STD-1553B 总线控制器件及开发实例,第 9 章是光纤分布式数据接口(FDDI),第 10 章是可变规模互连接口(SCI),第 11 章是光纤通道(FC),第 12 章介绍了机载数据总线的仿真测试技术及应用,第 13 章是最新全双工交换式以太网(AFDX)。本书由支超有完成初稿编写,唐长红负责全书结构内容的规划,并对本书进行了审阅和最终定稿。另外,王雪芹完成了本书插图制做,李育、张峰等参加了本书的文字校对,以及资料整理与文字录入工作。

致 谢

在本书编写过程中得到奚全生、白效贤、高亚奎、李振水、王斌团、刘清正、王平等同志的大力支持和帮助;本书还得到国防科技图书出版基金和国防工业出版社的支持,在此一并致以诚挚的谢意。

由于作者水平所限及机载数据总线技术的不断发展,错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。同时也希望通过本书的出版,结识更多业内的同行和企业,加强联系和合作,共同促进国内机载数据总线技术的发展。作者联系邮箱:zchaoyou@163.com

编著者

2008 年 6 月 25 日

目 录

第 1 章 机载数据总线概述	1
1.1 民用机载数据总线	1
1.2 军用机载数据总线	4
1.3 机载数据总线简介	10
1.3.1 ARINC-429 数据总线	11
1.3.2 商业标准数据总线(CSDB)	12
1.3.3 MIL-STD-1553B 数据总线	15
1.3.4 线性令牌传递数据总线(LTPB)	18
1.3.5 光纤分布式数据接口(FDDI)	20
1.3.6 可变规模互连接口(SCI)	22
1.3.7 全双工交换式以太网(AFDX)	24
1.3.8 机载数据总线对比	28
1.4 机载数据总线与计算机网络的区别	32
第 2 章 数据总线技术基础	34
2.1 总线的基本概念与操作	34
2.1.1 总线的基本概念	34
2.1.2 总线操作	35
2.2 数据传输方式	39
2.2.1 通信方式	39
2.2.2 串行与并行通信	39
2.2.3 同步与异步传输	40
2.2.4 多路共传	42
2.3 数据传输介质	43
2.4 数据编码	46

2.5	数据交换	50
2.5.1	线路交换方式	50
2.5.2	存储转发交换方式	52
2.5.3	交换方式的选择和比较	57
2.6	信道共享与访问控制	57
2.6.1	多路复用技术	57
2.6.2	竞争的介质访问方法	59
2.6.3	确定型访问控制方式	65
第3章	开放式网络体系结构与协议	72
3.1	OSI 参考模型	74
3.1.1	模型层次划分的原则	74
3.1.2	OSI 参考模型的结构	75
3.1.3	OSI 参考模型的功能划分	77
3.2	物理层协议	79
3.3	数据链路层协议	81
3.3.1	数据链路层的功能	83
3.3.2	高级数据链路控制协议 HDLC	85
3.3.3	数据链路层工作过程	90
3.4	网络层协议	92
3.4.1	网络层的基本功能	93
3.4.2	路由选择算法	94
3.4.3	流量控制	97
3.5	传输层协议	98
3.5.1	传输层的作用	99
3.5.2	传输层协议	100
3.5.3	传输层基本功能	101
3.6	高层协议	104
3.6.1	会话层	104
3.6.2	表示层	108
3.6.3	应用层	110

3.7 OSI 参考模型与网络互连模型	111
3.7.1 网络互连的基本概念	111
3.7.2 网络互连设备与相应层次	112
3.7.3 网络互连规范	113
第4章 民用机载数据总线	115
4.1 ARINC-429 数据总线	115
4.1.1 ARINC-429 基本信息单元	116
4.1.2 ARINC-429 电气特性	120
4.1.3 ARINC-429 数据	122
4.1.4 文件数据传输	125
4.2 商业标准数字总线	128
4.3 ARINC-429 接口设计	132
4.3.1 HS-3282 芯片简介	132
4.3.2 数据接收	138
4.3.3 数据发送	140
4.3.4 数据转发	142
4.3.5 HS-3282 与 CPU 的接口设计	143
4.3.6 应用实现	146
第5章 ARINC-429 总线控制器件及开发实例	152
5.1 硬件结构	152
5.2 TS68C429A 的操作时序分析	157
5.3 TS68C429A 组成单元的功能实现	160
5.3.1 接收通道单元(RCU)	160
5.3.2 发送通道单元(TCU)	167
5.3.3 逻辑控制单元(LCU)	171
5.3.4 微处理器接口单元(MIU)	172
5.3.5 中断控制单元(ICU)	172
5.3.6 TS68C429A 自检	178
5.3.7 内存分配	180
5.4 TS68C429A 与微处理器接口	183