

## 总线型导弹控制系统状态监测与故障诊断技术\*

曾庆华<sup>1</sup> 杜明波<sup>1</sup> 杜诚谦<sup>2</sup> 刘道平<sup>1</sup>

(1. 国防科技大学 航天与材料工程学院 湖南 长沙 410073; 2. 北京航天自动控制研究所 北京 100854)

**摘要** :分析了总线型导弹控制系统的地面测控体系及其特点,阐述了系统中单机部件的组成结构及其 BIT 技术,提出了新的测控体系下导弹控制系统状态监测和故障诊断方法,重点针对总线数据接口格式、系统知识表示和状态监测与故障诊断流程进行了讨论。

**关键词** :导弹 故障诊断 ;1553 总线 控制系统

中图分类号 :V448.11 文献标识码 :A

## The Technique of the Monitor and Fault Diagnosis of Missile Control System Based on the Bus

ZENG Qing-hua<sup>1</sup>, DU Ming-bo<sup>1</sup>, DU Cheng-qian<sup>2</sup>, LIU Dao-ping<sup>1</sup>

(1. College of Aerospace and Material Engineering, National Univ. of Defense, ChangSha 410073, China;

2. Beijing Aerospace Automatic Control Institute, Beijing 100854, China)

**Abstract** :This paper first analyzed the ground test and control system architecture and its characteristics of the missile control system based on the bus. Then it made an explanation to the structure and BIT technique of a single component. Furthermore, it put forward the method of the monitor and fault diagnosis of missile control system based on the bus, in which the formats of bus data interface, the expression of system knowledge and the process of monitor and fault diagnosis were mainly discussed.

**Key words** :missile; fault diagnosis; 1553 bus; control system

集中式单机模式在当前导弹地面测控系统中占据了绝对的主导地位,特别是 CAMAC、VXI 和 PXI 接口技术的应用,使得以这种测控体制为特征的机外自动测试设备(External Automatic Test Equipment, EATE)在地面测控系统中获得广泛应用。但是,在这种测控体制下,弹地交联复杂,模拟量、数字量、开关量等多种信号并存,监测信号的数量有限,且有些监测信号并不是弹上信号的直接反映,从而导致不断完善的测控系统日益复杂,而弹、地之间问题的隔离却越来越困难<sup>[1,2]</sup>。

随着导弹数字化程度的深入,出现了弹上总线的概念。弹上系统的各单机部件都设计成一个独立的数字化部件,挂接在弹上总线上,构成一个实时控制网络系统,形成了一个开放的、信息高度共享的全分布式控制系统。弹上控制系统体系结构的这种变化,必然导致地面测控体制产生一场深刻的变革。首先,弹地连接关系将异常简单,仅通过几根总线进行连接;其次,通过总线可以监测弹上系统的所有信息,这些信息数量庞大,且是弹上信息直接而真实的反映;另外,由于单机部件的分散测试和初步诊断,以及系统级的监测与协调,可将系统故障诊断的复杂度分散,进一步,通过标准规范的制订,可以将形形色色、各种各样底层单机部件的故障诊断由对口专业院所或厂家完成,而系统级故障诊断由系统集成商完成。这样,导弹控制系统故障诊断产品的工程化开发将成为可能。

1553 总线是美国 20 世纪 70 年代提出的飞机内部电子系统联网标准,由于其良好的可靠性、实时性和可维修性,已被许多国家政府所接受,在各行各业中得到了广泛应用,尤其是军事应用领域<sup>[3]</sup>。目前,我国某些新型导弹武器系统也采用该总线,促进了全数字化导弹的向前推进<sup>[4-5]</sup>。论文以基于

\* 收稿日期:2006-06-07

基金项目:航空科学基金资助项目(20060112126)

作者简介:曾庆华(1966—),男,副教授,博士。

1553 总线的导弹控制系统为研究对象,针对总线型导弹的地面测控体制、系统结构等方面的问题开展讨论,提出了基于可诊断的单机部件测试方法和系统级的诊断策略,以此为基础,开展总线型导弹控制系统状态监测和故障诊断技术的研究。

## 1 总线型导弹控制系统结构<sup>[4,5]</sup>

1553 总线系统由总线控制器、远程终端和总线监视器组成。如图 1 所示,根据导弹控制系统的结构特点,将弹上计算机确定为总线控制器,由它作为弹上唯一的控制部件,负责发送命令、组织数据传输、接收状态响应和监测总线系统。地面测控系统既要向弹上传送程序和装订数据、发送测试命令信息、接收弹上下传的测试信息等,又要实时监视 1553 总线工况和总线数据信息。因此,它将具有远程终端和总线监视的双重功能。弹上其他单机部件,包括惯性测量装置、速率陀螺、程序配电器、功率放大器、安全控制装置等均作为普通的远程终端。由于遥测系统在飞行过程中,既要接收弹上计算机发送的信息,又要监视总线的工况和数据流。因此,在地面测试阶段,遥测系统工作于远程终端模式,而在飞行模式下,它工作于总线监视器模式,且作为总线控制器备份处于待机状态,当弹上计算机出现故障后接管总线控制,取代弹上计算机功能。

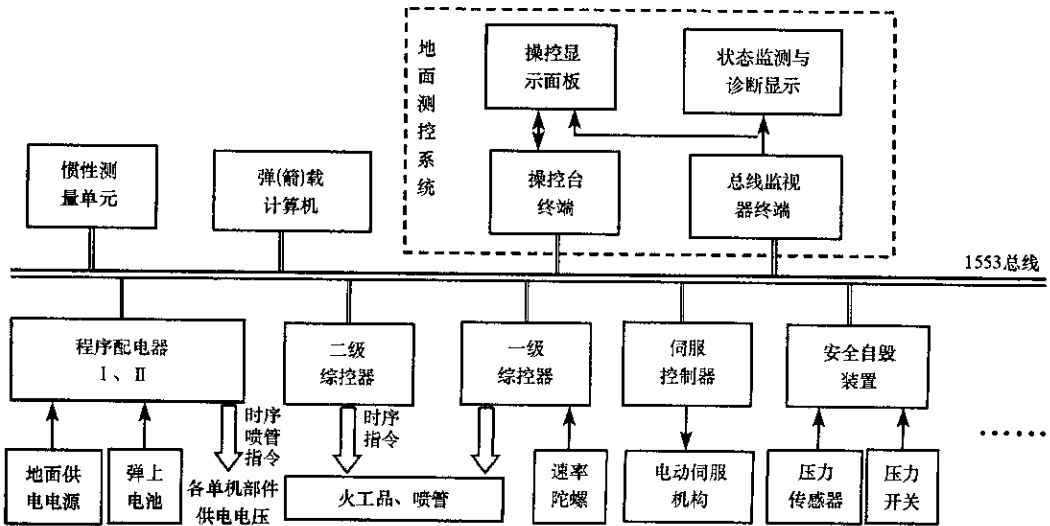


图 1 总线型导弹控制系统结构

Fig. 1 The construction of the missile control system based on the bus

## 2 总线型地面测控系统设计

### 2.1 系统级设计

如图 1 所示,总线型地面测控系统与集中式单机模式地面测控系统相比产生了很大的变化。在集中式单机模式测控系统中,地面测控计算机通过大量的模入/模出子通道、开入/开出子通道、并数/串数字子通道、计数/计时子通道等对弹上控制系统进行自动测试<sup>[6,7]</sup>,而在总线型地面测控系统中仅通过总线来实施对弹上系统各个部件的测试,进而完成异常监测和故障诊断定位的功能。因此以前通过测试通道获取的信息(实际上就是机外测试信息),在总线型控制系统中必须通过挂接在总线上的各个单机部件依靠机内测试技术(Built-In Test, BIT)来获取,而后经总线送给地面测控系统。图 1 虚线框部分给出了这类地面测控系统的基本组成结构。地面测控系统包括两个基本功能:首先是测控操作指令产生功能。它包括操作控制台、测控指令产生模块和 1553 总线接口三大部分。用户在操作控制台上通过按钮或操作终端进行各种操作,测控指令产生模块通过操作控制台的接口电路接收操作命令信息,形成有效的 1553 总线消息,通过总线接口电路送至 1553 总线。其次是总线数据采集与处理功能。当测控指令消息送至 1553 总线后,将启动单机部件的 BIT,各单机部件测试完毕后,将这些测试结果送至 1553

总线。总线监视器能够接收各种测控指令、BIT 测试结果以及测试或运行过程中的各种消息, 从而实现对整个系统的实时状态监测, 当出现异常后实施故障处理和诊断定位。

## 2.2 单机部件设计

与以前地面测控系统相比, 总线型地面测控系统的最大特点在于: 以前由地面测控系统完成的机外测试, 大部分都是由各个单机部件的机内测试来实现的。如果大量增加单机部件的机内测试点, 必然使得弹上系统复杂化, 从而使导弹武器系统可靠性大大降低, 这是研制人员无论如何也不愿意看到的局面。所幸的是, 由于数字化进程的加快, 弹上系统单机部件基本实现了数字化。特别是, 地面测控系统所需的绝大部分测量数据往往都是单机部件工作时可提供的数据。因此, 与以前相比, 总线型导弹地面测控系统并不需要单机部件增加太多的硬件电路, 往往只需软件功能的增强。并且, 在单机部件的设计过程中应以 BIT 测试电路的独立性为准则, 保证与单机部件功能电路的隔离。

在总线型导弹控制系统中, 各单机部件基本都是微处理器系统, 可抽象为如图 2 所示通用结构, 它在一般的微处理器系统结构中增加了 BIT 监测单元。该结构旨在完成单机部件基本功能的同时, 利用监测单元实施对单机部件工作状态的监测, 进一步可隔离和定位单机部件的一些基本故障。单机部件状态监测和故障诊断的基本内容一般包括: 电源、总线通讯、微处理器、存储器、接口电路、前后向处理电路以及传感器、开关或执行机构等<sup>[8,9]</sup>。

- 总线应答 当 1553 总线接口部分出现致命性故障或 1553 总线接口供电异常时, 则单机部件无总线应答; 正常状态下, 能够根据给定的总线点名自检指令给出相应应答信息。

- 电源 单机部件内部应对各路输入电压、输出电压以及工作电流进行在线监测, 并适时的将电源信息送至总线。对于重要电源还应实施隔离监测, 以便交互诊断。

- 总线通讯 1553 总线协议规范对传输介质、终端设备都作了严格的错误检测规定, 1553 协议芯片都有完善的 BIT 检测功能, 能够对终端设备及其传输介质的状态实施有效的错误监控。

- 微处理器 设计看门狗电路对微处理器及程序正常运行状况进行监测。当看门狗定时器未能正常复位时, BIT 监测单元给出微处理器故障信息。

- 存储器 对于随机存储器按照一定的算法进行读写操作, 对于只读存储器按照预先设定的算法进行校验操作, 实时监测中, 可采用定时缓冲比较方法。操作结果送给 BIT 监测单元。

- I/O 接口电路 包括定时/计数器、DI/DO、AD/DA 等。对于定时/计数、DI/DO 等数字 I/O 通道的测试采用输入输出循环读写测试的方法; 对于 AD/DA 模拟通道采用基准信号测试法, 实时监测中应充分利用控制指令信息进行监控比较。

- 前后向处理电路 根据系统中电平转换规范或模拟量信号接口规范, 与 I/O 接口电路机内测试方法类似, 由 BIT 测试单元对其进行监测。

- 串行接口 在 BIT 测试单元中具有相应的串行接口, 通过采用发送接收循环读写法对系统中串行接口工作状态进行检测。

- 传感器或开关 通过 BIT 测试单元将其与前向处理电路隔离, 根据总线测试指令要求进行动态测试, 通过比较分析, 对传感器或开关类部件进行健康评估和故障定位。

- 执行机构或指示灯 在 BIT 测试单元中, 增设专用监测回路, 监测执行机构或指示灯类部件的工作状况, 根据总线测试指令要求对它们进行健康评估。

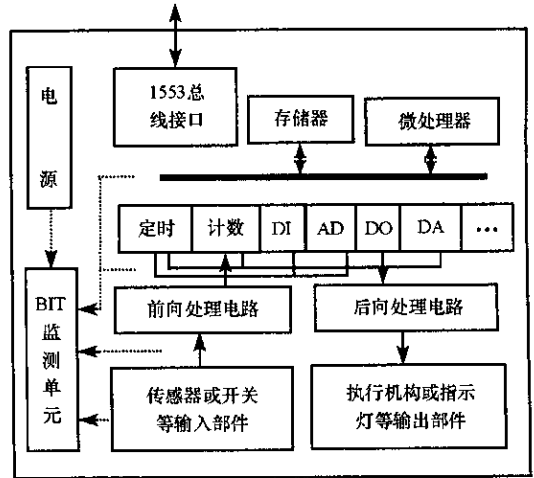


图 2 单机部件通用结构图

Fig.2 The general structure of a single unit

## 2.3 基本监测模式

总线型导弹地面测控系统状态监测和故障诊断的基本特点是单机部件的分布式机内测试和系统级的状态监测和协调诊断相结合,即:各单机部件的BIT监测单元通过1553总线接口将监测结果传送给上层总线监视模块——地面测控系统,由它进行状态监测和进一步的诊断处理。系统包括三种基本的监测模式:上电自检、周期性实时循检、交互式检测。

上电自检模式:系统上电时,由地面测控系统发送循检测试指令,各单机部件执行特定的自检测试,并将自检结果返回给地面测控系统。

周期性实时循检模式:弹上控制系统正常工作期间,各单机部件的BIT监测单元对部件中关键测点进行实时监测,出现异常时,周期性地将单机部件的关键信息和监测结果发送至总线,地面测控系统对这些信息进行分析处理。

交互式检测模式:当弹上系统出现异常或需运行指定测试项目时,弹上系统工作于待机方式,各单机部件通过总线接收各种特定的测试指令,完成某些复杂的BIT测试任务,从而方便地面测控系统的故障诊断与定位。

## 3 软件实现技术

### 3.1 总线数据接口格式

地面测控系统通过总线监视器可以接收到总线上的所有数据信息。它包括:弹上控制系统各单机部件的命令/响应消息,各单机部件的BIT监测消息。下面给出基本的数据格式:

首行:<绝对时间,测试项目标识码>

以后各行:<相对时间,信号标识码,信号值I,信号状态I>

地面测控系统每次启动一个新的测试项目,将由地面测控系统的控制台终端广播发送一帧测试信息。该信息包括绝对时间和测试项目标识码,弹上控制系统各部件由此建立统一的时间基准;之后,各部件送至总线的信号包括采集时间、信号标识码,对于模拟量或数字量信号还有采集值,对于单机部件BIT信号还包括单机部件初步诊断后给出的信号状态。

### 3.2 系统知识表示

系统知识划分为三个层次:系统结构知识、测试流程知识和领域专家知识。

系统结构知识用来描述导弹控制系统的部件组成结构、电源结构、部件与部件之间的互联结构、部件与信号之间关联结构、信号描述信息等。信号描述信息是系统结构知识中的基本信息,包括:信号标识码、信号名称、信号类型、源部件、目的部件、理论值、插座以及异常检测方式定义,其中每个信号可能对应多种异常检测方式。

测试流程知识用来描述系统异常与测试之间的逻辑关系及对测试资源的占用关系。目前,具有代表性的测试流程模型有ARINC公司信息流模型和Queltech公司多信号流程图模型MSFG<sup>[10]</sup>。利用测试流程知识可进行初步诊断定位。

领域专家知识用来描述领域专家进行故障诊断的经验知识库。为方便管理,知识库按照可诊断部件或有效操作指导来分类,进行领域专家规则知识的组织。据此进行二次故障诊断定位。

### 3.3 状态监测与故障诊断流程

地面测控系统工作过程中,总线监视器不断从总线上获取数据信息,通过系统结构知识获取比每帧数据更为详尽的知识,以此为基础,将它们转换为一些有意义的量度,即数据驱动量度、解析量度和基于知识的量度,实现监测状态的动态显示,帮助操作员确定系统运行的状况,根据测试流程知识,实时跟踪当前测试进程,对关联信号启动流程中指定的异常检测操作,从而进行故障诊断的初步定位;当出现多路信号异常时,根据领域专家知识,分析系统中的部件互联关系、信号逻辑或时序关系、部件或信号的层次关系以及历史故障信息等进行二次故障定位,更准确地定位发生故障的部件或给出有效的操作指导。图3给出了系统的状态监测与故障诊断流程图。

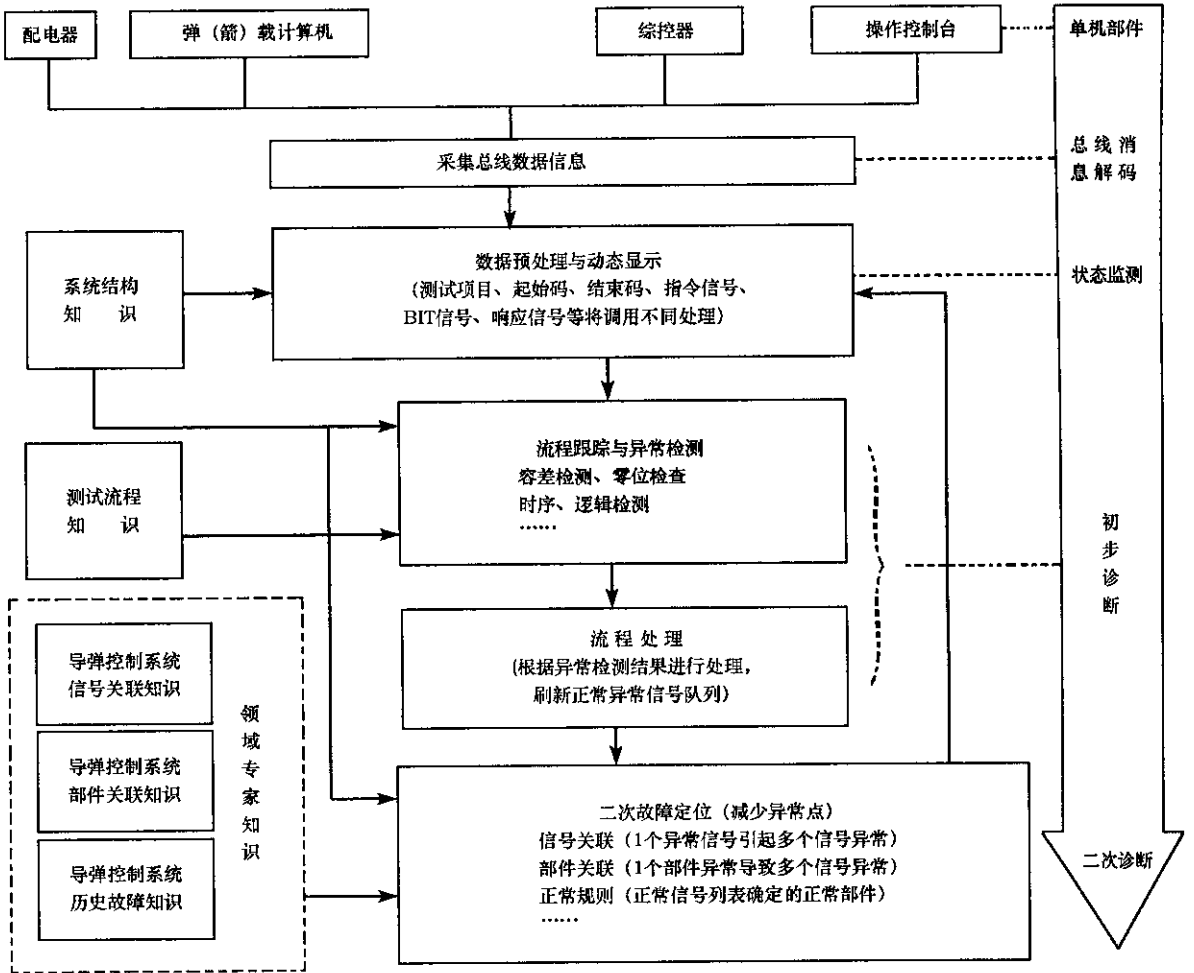


图3 状态监测与故障诊断流程框图

Fig.3 The process scheme of monitor and fault diagnosis

## 4 结束语

1553 总线技术的应用推进了我国导弹控制系统的数字化进程,由此也使得导弹的地面测控体系产生了革命性的变化。这种新的测控体制简化了弹地连接,提高了系统可靠性,能够将单机部件的 BIT 测试和系统级的协调诊断有机结合在一起,有效分化了故障诊断复杂度,加快了故障诊断产品的工程化进程,必将为数字化导弹测控技术的发展带来巨大进步。

## 参考文献:

[1] 杜诚谦,潘洁伦. 新一代运载火箭地面测试发控系统一体化设计概述[J]. 航天控制, 2004, 22(2).

[2] Pecheur C, Nelson S. Survey of NASA V&V Processes/Method[R], NASA/CR-2002-211401, 2002.

[3] MIL-STD-1553 Tutorial[1500-030]R]. Condor Engineering Inc, Santa Barbara, CA 93101 July 16, 2004.

[4] 顾胜,祝学军,杨华. 基于 1553B 总线的运载火箭控制系统分析[J]. 导弹与航天运载技术, 2005, 27(3).

[5] 王宇宏. MIL-STD-1553B 数据总线在导弹控制系统中的应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2002.

[6] 沈秀存. 导弹测试发控系统[M]. 北京: 宇航出版社, 1994.

[7] Barry E M. EMMA: The Expert System For Munition Maintenance[R]. USA Air Force Armament Laboratory Eglin Air Force Base, Florida 32542-5434, 1998.

[8] 张小林. 机载计算机中的 BIT 设计[J]. 西北工业大学学报, 2003, 21(5): 578-581.

[9] 陈万创. 地空导弹武器系统可测试性要求与分配[J]. 上海航天, 1995, (3).

[10] 温熙森,徐永成,易晓山. 智能机内测试理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.



