

基于 DSP 的空间相机 1553B 总线通信设计与实现

王 战^{1,2}, 韩诚山¹, 赵庆磊¹, 李祥之¹, 黄 良¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033; 2. 中国科学院大学, 北京 100039)

摘要: 为提高 MIL-STD-1553B 总线接口的实时性并简化接口逻辑, 从星载平台与相机控制器实际通讯功能需求出发, 设计出了基于 1553B 专用接口芯片 BU-61580 与控制器核心 TMS320C30 的 1553B 总线通信系统; 由 FPGA 完成 BU-61580 和 TMS320C30 之间的逻辑综合电路, 并产生中断与片选信号; 该系统实现了接收卫星平台数据注入与程控指令, 发送工程参数等功能; 系统硬件电路连接简单, 数据时效性好, 经过反复调试, 已成功应用于某型号空间相机中。

关键词: 1553B 总线; 空间相机; BU-61580; 描述栈消息; 接口逻辑

Design and Realization of Space Camera 1553B Communication System Based on DSP

Wang Zhan^{1,2}, Han Chengshan², Zhao Qinglei¹, Li Xiangzhi¹, Huang Liang¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the need of communication functions between the satellite platform and camera controller, the 1553B communication system is designed by using BU-61580 as the protocol chip and TMS320C30 as host processor. FPGA completes the synthesize logic circuit, interruption and chip select signal needed for the interface. The system can achieve the tasks of receiving data infusion and remote control commands, sending engineering params. This system is real-time and highly inheritable, and has compact hardware structures.

Key words: 1553B Bus; space camera; BU-61580; description stack message; logic interface

0 引言

MIL-STD-1553B 总线最早是由美国国防部为航空机载设备通信专门设计的一种标准的时分制指令/响应式多路传输数据总线协议。它最初作为一种连接不同子系统的通信总线来开发的, 实现系统间共享或交换信息一种命令/应答式时分复用数字数据总线。它限制了数据包的长度 (64 字节的 32/16bit 字), 以此强调并保证信息包能在小的、预定的时间窗口下传输而能确保它的持续性和完整性^[1]。1553B 的命令应答机制相比于 Ethernet 等其它局域网的通讯协议标准具有更好的实时性和可靠性, 能够有效地避免通信阻塞等问题。

1553B 总线由于其优越的性能, 已经发展成为国际公认的数据总线标准, 被广泛的应用在航行器、坦克、轮船、导弹、人造卫星、国际空间站, 地面测试设备, 模拟器和训练器等平台上^[2]。

空间相机与卫星平台的通讯是空间相机重要的功能模块, 它是地面与空间相机通讯的桥梁, 肩负着接收地面控制信息, 发送空间相机图像数据, 平台参数等重要信息的功能, 如图 1 所示。相机与卫星有效可靠地通讯是保证相机正常工作的重要环节。考虑到系统可靠性以及对航天级器件在特殊工作环境下 (高低温, 抗辐照) 的电气性能要求, 本文选用 TI 公司 (Texas Instruments) 的 SMJ320C320 (对应民品为 TMS320C30,

以下简称 C30) 浮点 DSP 处理器作为相机控制器核心, 接口芯片采用 DDC (Data Device Corporation) 公司的 ACE BU-61580 (以下简称 61580) 作为协议引擎, 以此为基础, 设计开发出了空间相机 1553B 通讯系统。

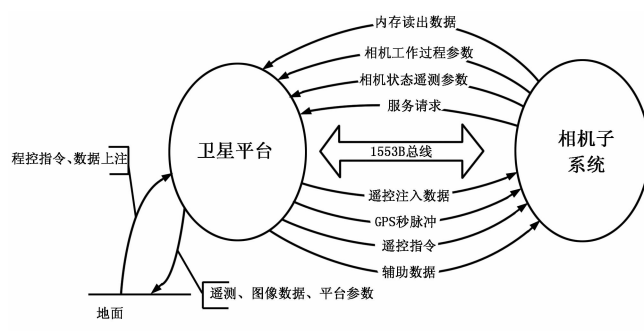


图 1 卫星平台与相机通信数据流

1 61580 与 DSP 的连接方式

61580 与 DSP 处理器的连接方式有 3 种: 16bit 缓冲模式, 16bit 透明模式和 16bit DMA 模式。16bit 缓冲模式可以提供直接的共享 RAM 接入^[3]。将 61580 的片内 RAM 映射到 DSP 的内存空间, 即 DSP 可随时访问 61580 片内 RAM 地址, 而 61580 也不需要申请 DSP 总线的使用权。在这种连接模式下 61580 内部的缓冲机制 (循环缓冲或双缓冲) 提供了 DSP 总线与 61580 总线的天然隔离。这种连接方式适合大块数据的传输, 缺陷是 61580 可用内存限制在片内 4 k RAM 而不可扩展。16 bit 透明模式类似于 16 bit 缓冲模式, 区别在于在透明模式下允许 61580 扩展内存的使用 (最多可扩展到 64 k), 但是要

收稿日期: 2013-12-27; 修回日期: 2014-02-18。

基金项目: 国家自然科学基金 (60506014)。

作者简介: 王 战 (1989-), 男, 咸宁人, 工学硕士, 主要从事空间相机自动控制方向的研究。

求三态数据地址缓冲器来隔离 DSP 总线与 61580 总线。不同于以上两种模式，在 DMA 模式下，总线的使用权是由 DSP 裁定的。61580 通过 3 个信号申请总线的使用权：DTREQ * DTGRT * DTACK *。DMA 方式允许 61580 访问大量的系统 RAM（当系统地址空间大于 64 k 时需要提供高位地址寄存器）。

由于空间相机的 1553B 总线通讯的主要任务是传输控制参数以及工作过程参数，数据量不大，因此 61580 的片上 4 k RAM 已经可以满足使用需求。在充分考虑注入数据的时效性的前提下，选用 16 bit 缓冲模式与 C30 进行连接，这样不仅可以提高通信效率，而且由于 C30 与 61580 均是 5 V 器件，两者间的信号线可以直接相连，无需进行逻辑电平兼容处理，大大简化了硬件接口电路的设计。

2 硬件接口设计

为了提高数据传输的实时性，简化硬件电路的接口逻辑，并充分考虑系统的电平兼容性问题^[4]，设计出了 1553B 总线接口电路，包括处理器接口电路和总线耦合电路，如图 2 所示。

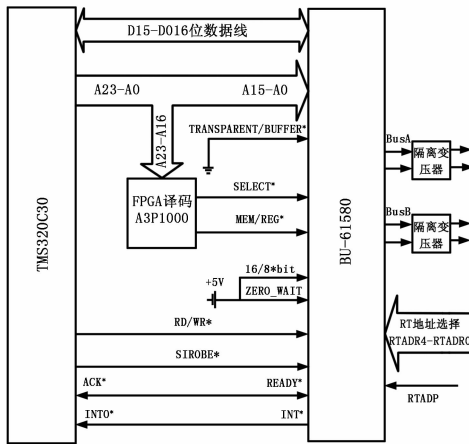


图 2 C30 与 61580 硬件连接图

2.1 地址空间分配

61580 内部有 32 * 16 的寄存器空间与 4 k * 16 的内部 RAM 空间，本系统中将这两部分空间映射到总线的 I/O 空间中。为方便译码，32 * 16 的寄存器映射到 050000h - 05FFFFh，4 k * 16 的 RAM 映射到 040000h - 04FFFFh（见表 1，TMS320C30 内存映射表^[5]）。由地址译码产生的 MEM/REG * 信号选择内部 RAM 或内部寄存器（高电平为 RAM，低电平为寄存器）。

2.2 硬件接口连接

61580 工作在 16 位缓冲、非零等待模式下，占用 16 位数据总线和 12 位地址总线^[6]。“16/8 BIT *”、“ZERO WAIT *”以及“POLAR”接高电平，“TRANSPARENT/BUFFERED#”和“ZERO_WAIT#”置低电平。61580 的控制信号由 FPGA 的译码电路产生，通过外部中断方式与 C30 通信，STROBE * 与地址译码信号选通 61580 相应存储区，通过

表 1 TMS320C30 内存映射表（微处理器模式）

0H-03FH	040H-7FFFFH	800000H-801FFFH	802000H-803FFFH	804000H-805FFFH
Reset, Interrupt, Trap Vectors and Reserved Locations(192) (External STRB Active)	External STRB Active	Expansion Bus MSTRB Active (8K Words)	Reserved (8K Words)	Expansion Bus IOSTRB Active (8K Words)
806000H-807FFFH	808000H-8097FFFH	809800H-809BFFFH	809C00H-809CFFFH	80A000H-0FFFFFFFH
Reserved (8K Words)	Peripheral Bus Memory Mapped Registers(8K Words Internal)	RAM Block 0 (1K Words Internal)	RAM Block 1 (1K Words Internal)	External STRB Active

READY * 信号控制等待状态。16bit 缓冲连接模式下 61580 内部的缓冲机制（本通讯系统中采用子地址双缓冲）为 DSP 数据线与 61580 数据线提供了隔离，因此 16 位数据线可直接连入 61580 数据线。而本文设计的 61580 存储空间的映射为：内部 RAM 为 040000h - 04FFFFh，内部寄存器为 050000h - 05FFFFh。因此 C30 低 16 位地址线可直接接入 61580 地址线而无需译码。同时高 8 位地址线经过译码器（译码由 FPGA 完成，具体实现本文不作详细说明）输出 61580 的选通信号 SELECT *，以及 RAM 和寄存器的选通信号 MEM/REG *（高电平选通内部 RAM，低电平选通内部寄存器）。TRANSPARENT/BUFFER * 管脚接地，保证连接方式为缓冲模式。61580 中断输出接入 C30 INT0 中断管脚。RTAD4 - RTAD0 为 61580 的 RT 地址设置，C30 根据该地址在总线中寻找 RT 从机，实际设计中将其与 FPGA 相连，这样可以通过软件灵活更改 RT 地址，便于软硬件调试。

3 软件功能设计

空间相机在轨工作期间，要时刻与卫星平台进行数据信息交换：一方面，要接收卫星平台的程控指令，GPS 秒脉冲，并接收地面数据注入；另一方面要向卫星平台实时返回相机工作状态参数。1553B 总线是通讯桥梁，它承载着卫星本体与各子系统之间的所有的通讯任务。因此在进行软件设计时，要充分考虑数据的完整性与可靠性。本文是以外部中断形式通过管理固件 BU61580 来实现 1553B 总线通讯功能的。图 3 即为 1553B 各部件树形结构功能图。

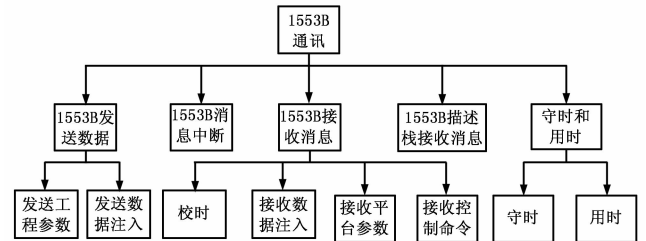


图 3 1553B 部件树形结构功能图

3.1 BU-61580 初始化

61580 提供了 17 个内部非测试寄存器和 8 个测试寄存器以及 64 k 字的共享存储器地址空间，在主程序的开始处需对这些片内资源进行初始化^[7]。首先初始化相关寄存器，使其处于上电初始复位状态，然后设置非法指令区、描述栈指针，初始化相应子地址的查询表及子地址控制字，为堆栈指针 A/B、查询表 A/B 等选择中断表，然后对配置寄存器进行初始化配置，使 BU-61580 工作于 RT 模式，具体的软件初始化流程图如图 4 所示。

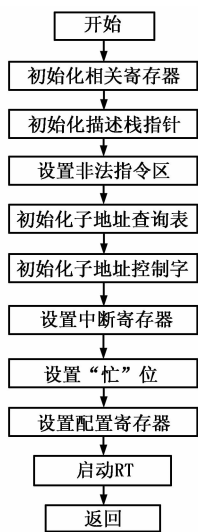


图 4 BU61580 初始化流程图

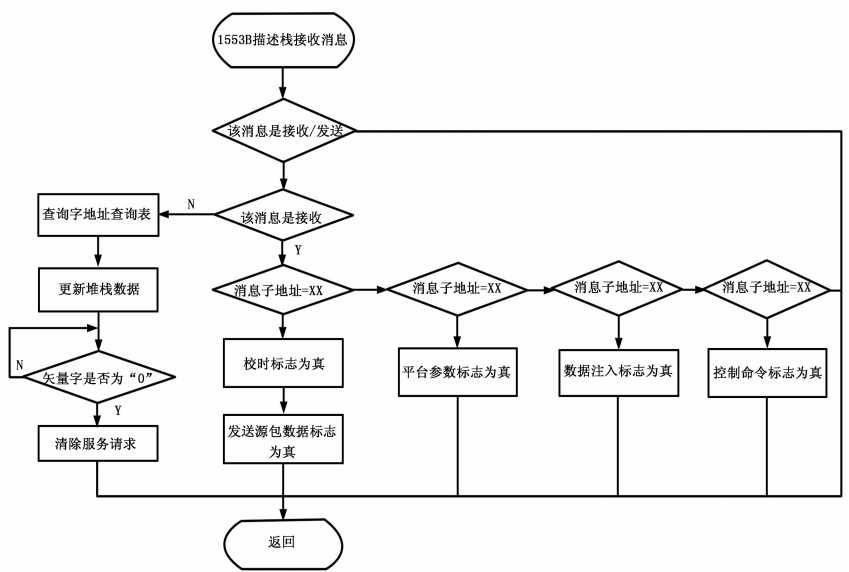


图 6 描述栈消息处理程序流程图

3.2 中断服务

中断服务程序是 1553B 通讯的核心部件。通过对 61580 中断标志寄存器的配置, 启用消息结束中断与时标中断, 通过外部中断 INT0 接入 C30。

当发生中断请求时, C30 查询 61580 中断状态寄存器判断是消息结束中断或时标中断。其中数据的接收 (接收数据注入、控制命令、平台参数、时间码) 是通过消息结束中断实现; 守时与用时功能是通过时标中断实现的。图 5 为中断服务程序功能流程图。

3.3 描述栈消息处理

根据描述栈指向的消息命令内容, 61580 判断消息为接收还是发送类型, 如果是接收型并且消息合法时, 则产生接收中

断, 在 C30 中断处理程序中进行相应子地址判断, 转入到相应的接收子程序中进行处理; 若为发送型消息时, 则根据命令字中的子地址查询子地址查询表, 同时将该子地址对应的矢量字置为“1”, 并调用相应的子程序更新堆栈数据。卫星平台通过周期性的查询矢量字, 当矢量字为“1”, 才将数据取走, 此时发送中断程序中将矢量字相应位清零, 矢量字为 0 时, 清除服务请求位。

通过描述栈消息处理程序对总线消息的分类处理, 并分发各功能子程序处理, 从而完成了总线的收发功能。具体程序流程图如图 6 所示 (接收与发送子程序以及消息处理子程序由于功能不尽相同, 故不在此赘述)。

4 实验分析与结论

C30 软件开发环境为 TI Code ComposerC3X Simulator, 使用开发语言为 C 语言与 TMS320C3X 汇编指令集混合编程。在进行软件调试时, 采用了 Excelabar 公司的 PCMCIA/Px 总线板卡仿真 BC 与系统进行通信, 由示波器, 1553 解码器, 1553 板卡, 总线仿真软件, 通讯系统测试板构成。测试过程中用示波器监测 1553 总线数据, 并用 1553B 消息解码器对总线信号进行解码分析, 验证 BC2RT, RT2BC, 广播等总线消息的传输的正确性。

本文基于 TMS320C30 与 BU61580 实现了空间相机的 1553B 的总线通讯功能, 设计了硬件连接电路, 并基于相机通讯的功能需求设计了软件功能结构, 实现了接收卫星平台数据注入与程控指令, 发送工程参数等功能。系统软、硬件经过反复调试改进, 能够很好完成空间相机总线通讯任务, 目前已在某空间相机系统中应用, 工作稳定可靠。

参考文献:

- [1] 白宏阳, 管雪元, 薛晓中, 等. 基于 DSP+FPGA 的航空 1553B 总线 RT 设置方法 [J]. 火箭与制导学报, 2010, 30 (4): 169-172.
- [2] 邢秀琴, 姚竹亭. 基于 1553B 总线的通信接口及其应用 [J]. 中北大学学报 (自然科学版), 2007, 28 (1): 91-94.

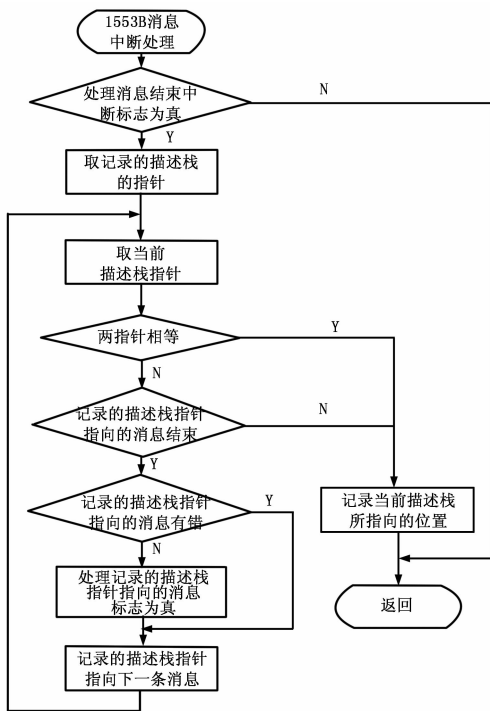


图 5 中断程序流程图

为等长的 100 段信号，每段信号的长度与输入轴旋转约 10 圈的时间相等。然后利用本文提出的方法提取每段信号的粘滞阻尼比、时域和频域峭度指标。这样每类信号都对应得到 100 个样本。在提取粘滞阻尼比时采用本文提出的基于概率模型的改进粒子群算法，其相关参数设置为：种群 P 为 100， M 值为 70，概率值 p_1 为 0.5，最大进化代数 g_m 为 50，连续代数 s 为 10，极小值 ϵ 为 10^{-8} ， ω_p 取值为 0.75， c_1 、 c_2 均为 1.49， r_1 、 r_2 均在 $[0, 1]$ 之间随机取值，速度 v 的正负方向最大值分别为 1.2 和 -1.2。提取的 3 种特征取值在两类样本上的分布情况如图 3 所示。

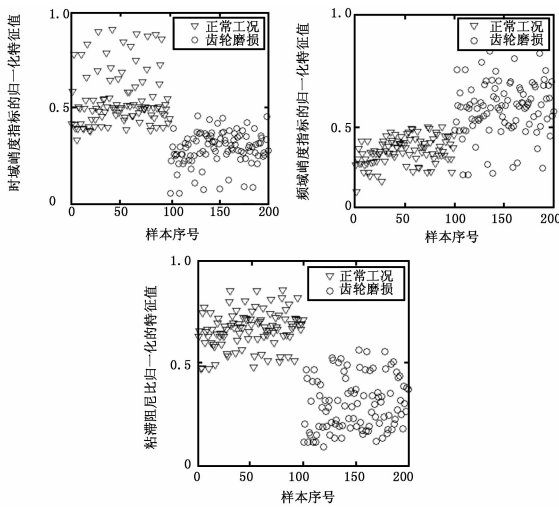


图 3 3 种提取的特征取值在样本上的分布情况

由图中结果可见，这 3 种特征已经能较为粗略的把这两类工况区分，仅一些边界区域的样本的特征取值存在重叠，难以直观的区别。

为了更好地说明本文方法的性能，本文进一步利用模糊 k 均值聚类对这 3 种特征构成的样本数据集进行聚类，结果对比如表 1 所示。

表 1 3 种特征提取方法下的聚类结果对比

	正常样本划分正确数(个)	故障样本划分正确数(个)	错分率(%)
A_1	92	100	4
A_2	86	93	10.5
A_3	90	78	16

其聚类结果如表 1 中 A_1 一栏所示。同时采用另外两种特征构成的数据集与本文特征提取方法构成的数据集进行对比，

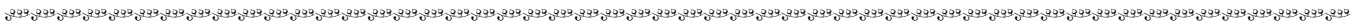
第一种方法将粘滞阻尼比特征去除，仅由时域和频域的峭度指标构成新的数据集，其聚类结果如表 1 中 A_2 一栏所示。第二种对比方法以每段信号的啮合频率 f_z 、边频带频率 $f_z \pm f_r$ 的振动幅值为特征 (f_r 为输入轴的旋转频率)，对这些特征构成的样本数据集进行聚类，其结果如表 1 中 A_3 一栏所示。表中结果显示本文提出的方法可以更好地将正常与轻微磨损故障区别，使得错分率最低，并且所有轻微磨损故障的样本均得以正确划分。此外，在 A_1 和 A_2 的对比结果中， A_1 中两类样本的正确划分数量均高于 A_2 ，这表明粘滞阻尼比特征的提取有助于进一步提高聚类识别的质量。

4 结束语

提出了一种利用粘滞阻尼比和时域、频域峭度指标识别农用拖拉机变速箱齿轮轻微磨损故障的方法。在提取粘滞阻尼比特征时，提出了一种基于概率模型的改进粒子群算法用于精确和快速实现 Laplace 小波与信号的最佳匹配。最后，齿轮轻微磨损故障的识别实验结果表明了本文提出的识别方法比基于特征频率的识别方法更有效，而且本文提出的基于粒子群优化的粘滞阻尼比特征提取算法能够更好的帮助轻微磨损故障的识别。

参考文献:

- [1] 邓 森, 杨军锋, 杨 朴, 等. 基于混沌粒子群优化 LS-SVM 的发动机磨损状态监测研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (8): 1853-1856.
- [2] 陆 韬, 李占芳, 徐翊峰. 基于 EMD 的提升机齿轮箱故障诊断 [J]. 煤矿机械, 2009, 30 (7): 210-211.
- [3] 林近山, 陈 前. 基于多重分形去趋势波动分析的齿轮箱故障特征提取方法 [J]. 振动与冲击, 2013, 32 (2): 97-101.
- [4] 林近山. 基于近似熵的齿轮箱状态监测与故障诊断 [J]. 机械传动, 2013, 37 (1): 87-89, 93.
- [5] 崔 伟, 李淑东. 神经网络在齿轮箱故障诊断中的应用 [J]. 仪器仪表与分析监测, 2013, (1): 8-11.
- [6] 王 飞, 缙 锦. 基于多变异粒子群优化算法的模糊关联规则挖掘 [J]. 计算机科学, 2013, 40 (5): 217-223.
- [7] 靳雁霞, 师志斌. 一种基于空间混沌序列的量子粒子群优化算法及其应用 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 30 (4): 61-64.
- [8] 李 蓉, 于德介, 陈向民, 等. 基于阶次分析与循环平稳解调的齿轮箱复合故障诊断方法 [J]. 中国机械工程, 2013, 24 (10): 1320-1327.
- [9] 毕锦烟, 李巍华. 基于半监督模糊核聚类的齿轮箱离群检测方法 [J]. 机械工程学报, 2009, 45 (10): 48-52.
- [10] 崔玲丽, 高立新, 蔡力钢, 等. 基于循环平稳解调的齿轮裂纹早期故障诊断研究 [J]. 振动工程学报, 2008, 21 (3): 274-278.



(上接第 1577 页)

- [3] Data Device Corporation. MIL - STD - 1553 DESIGNER'S GUIDE (sixth edition) [Z]. Data Device Corporation. 2003.
- [4] 周远林, 吴 忠, 丑武胜. 基于 BU-61580 的 1553B 总线接口设计 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46 (35): 65-68.
- [5] TMS320C3X General-Purpose Applications User's Guide [Z]. Texas Instruments. 1998.

- [6] 谢拴勤, 宋 捷, 宋怀达. 基于 FPGA+DSP 的 1553B 总线通用接口设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (1): 183-186.
- [7] 史军芳. 基于 SOPC 的 1553B 总线通用接口设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (5): 727-730.