

# 遥测数据选择器的设计与研究

张秀青, 周强, 刘亚斌

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 10000)

**摘要:** 飞行控制组件测试中, 多套组件需要在同一温度梯度进行串行测试; 针对这一需求, 设计开发了一种既可程序控制, 又可手动控制的多通道 BMK 遥测数据选择器; 该数据选择器主要包括 FPGA 模块、通道选通控制地址缓冲模块、BMK 接收模块、BMK 转发模块、指示电路模块、供电模块和时钟电路模块; 该设计以 FPGA 为核心, 功能灵活、结构精简, 而且每个通道 BMK 遥测数据中的各路信号延时可调, 提高了 BMK 遥测数据的传输精度; 试验中对 BMK 遥测数据选择器的 5 个通道均进行上百次数据帧收发实验, 接收数据正确; 结果表明, 该数据选择器工作稳定, 设计合理, 而且有效缩短了测试时间, 提高了测试效率。

**关键词:** 遥测数据; 数据选择器; FPGA

## Design and Research of Telemetry Data Selector

Zhang Xiuqing, Zhou Qiang, Liu Yabin

(School of Automation Science and Electrical Engineering, BUAA, Beijing 10000, China)

**Abstract:** In this paper, a BMK telemetry multiplexer, which can be controlled by both programming and manual, is developed to meet the demand of a few flight control subassemblies being tested in the same temperature gradient. The multiplexer consists of FPGA, selected channel address buffer, BMK receive module, BMK transmitting module, indicating circuit, clock circuit and so on. Owing to the FPGA module, the multiplexer functions flexibly and has brief structure. Furthermore, signals of each channel are adjustable and delayed, which increases transmission accuracy of BMK telemetry data. Different data has been transmitted through five channels to test the stability of data selector and results are correct. On the whole, experiments prove that the multiplexer functions stably. Besides, it cuts down testing time, therefore improve the testing efficiency.

**Keywords:** telemetry data; multiplexer; FPGA

## 0 引言

飞行控制组件是整个空空导弹系统的控制核心, 主要由 CPU 板、惯测接口板、总线接口板和译码控制板组成。由于 BMK 遥测数据的特殊重要性, 与飞行控制组件相关的测试设备或系统均要配置 BMK 遥测数据采集卡。特别是与飞行控制组件相关的高低温测试实验迫切需要大幅度缩短测试时间, 以节约人力物力, 提高效率。目前最为有效和可行的方法是充分利用高低温箱的体积和空间, 同时放置多套飞行控制组件产品, 从而可以在同一温度梯度对多套产品进行串行测试, 省去每个产品单独的温变和保温时间。这种方法的关键是如何实现 BMK 遥测数据采集卡对多通道 BMK 遥测数据的采集。如果在测试设备或系统中配置同样数量的 BMK 遥测数据采集卡, 将会消耗大量宝贵的总线资源 (如 PCI 总线或 CPCI 总线), 同时扩展能力非常有限, 也大幅提高了成本。最为有效的方法是模仿传统单片集成数据选择的功能, 实现可程序控制的多通道 BMK 遥测数据选择器。

## 1 遥测数据简介

BMK 遥测数据是典型的单向总线结构, 分为发送方和接收

方, 传输速率为 1 Mbit/s。一个通道 BMK 遥测数据包括 11 路地址/数据/控制信号和 11 路伴随信号, 信号总数一共为 22 路。

BMK 遥测数据采用了 8 位地址/数据复用线 (BMCH0-BMCH7), 每帧数据有 CS1、CS2、WRTI 三条控制线, 三条控制线分时实现 8 位地址及 16 位数据的传输。当 WRTI 为低电平时, 接收设备对 CS1 和 CS2 进行译码。当 CS1 为高 CS2 为低时, 当前总线上的数据表示地址位; 当 CS1 为低且 CS2 为高时, 当前总线上的数据表示数据高 8 位; 当 CS1 为低且 CS2 为低时, 当前总线上的数据表示数据低 8 位。

每帧遥测数据最多包含  $256 \times 3$  字节, 帧与帧之间的时间间隔典型值为 5 ms。

## 2 遥测数据选择器设计

### 2.1 总体设计

多通道 BMK 遥测数据选择器由以下几个模块构成: FPGA 模块、通道选通控制地址缓冲模块、BMK 接收模块、BMK 转发模块、指示电路模块、供电模块和时钟电路模块等组成。具体组成原理如图 1 所示。

BMK 接收模块包括 5 套相同的 BMK 接收电路, 可以接收来自 5 套被测飞行控制组件产品发送的 5 个通道 BMK 遥测数据。每套 BMK 接收电路结构相同, 均为典型的光耦接收电路, 其将每个通道 BMK 遥测数据中的 22 路信号隔离变换为 11 路 LVTTTL 电平信号后输入至 FPGA 模块。

通道选通控制地址缓冲模块接收外部输入的 3 位通道选择地址码 A0、A1、A2, 缓冲变换为 LVTTTL 电平信号后输入 FPGA 模块。其亦可工作在手动工作模式, 接收外部手动拨码开关设置的地址码输入, 缓冲后亦输入 FPGA 模块。

BMK 遥测数据转发模块将 FPGA 单元中数据选择器一个

收稿日期: 2014-04-20; 修回日期: 2014-05-25。

作者简介: 张秀青 (1990-), 女, 山东人, 工学硕士, 主要从事检测控制与自动化装置方向的研究。

周强 (1972-), 男, 北京人, 副教授, 主要从事 PCI/CPCI/PXI 计算机集成测试系统, 测试系统建模与分析, 反射内存网络, 网络化分布测试系统的研究。

刘亚斌 (1963-), 男, 黑龙江人, 教授, 主要从事测试系统方向的研究。

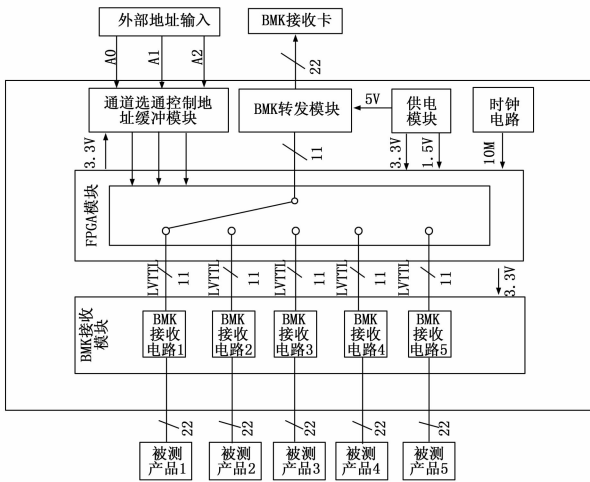


图 1 多通道遥测数据选择器原理简图

输出通道输出的 11 路 LVTTL 信号变换为含有 22 路信号的一个通道 BMK 遥测数据后发送出去。BMK 遥测数据转发模块的核心是由 11 路 LVTTL 电平的地址/数据/控制信号所控制的 11 路 OC 门输出电路。同时, BMK 转发模块还引出 11 路 5V 信号作为 11 路伴随信号。

FPGA 模块是硬件实现的主要部分, 包含了一个采用硬件编程语言 (Verilog) 构建的数据选择器。该数据选择器有 5 个输入通道, 每个输入通道包括 11 路信号; 数据选择有一个输出通道, 每个输出通道包括 11 路信号。该数据选择器的输出通道中的 11 路信号与哪一个输入通道的 11 路信号对应选通是由通道选通控制地址缓冲模块输入的地址编码进行控制的。而且, 数据选择器只对哪个输入通道与输出通道选通进行控制, 不对任何一个输入通道进行译码、解码操作。

在具体实施中, 多通道 BMK 遥测数据选择器设计集成于一块标准 6U CPCI 板卡, 安装于一个独立的信号切换分配单元机箱中, 以便于调试、维修。

### 2.2 数据选择器模块设计

数据选择器模块采用 Verilog 编程实现。

(1) 对输入的地址信号做一级缓存, 其主要代码如下所示:

```
reg [2:0] A_Temp1;
always @(posedge Clk_1KHz)
begin
if(! Rst_A_n)
A_Temp1 <= 3b000;
else
A_Temp1 <= A;
End
```

(2) 对过一级缓存后的地址 A\_Temp1 进行进一步处理, 增加地址传输的正确率。先将 A\_Temp1 内的值赋给 A\_Temp2, 每过一段确定的时间后, 比较两个寄存器内的值, 若两个值不同则更改 A\_Temp2 内的值。可通过调整 A\_cnt 大小, 来调整确认地址时间长度。

(3) 实现信号的切换分配。根据 A\_Temp2 内的值决定信号通道的切换分配。部分代码如下:

```
reg [5:1] En_CH; //高电平有效
always @(posedge Clk_1KHz)
```

```
begin
if(! Rst_n)
//若没有复位,对某些变量赋值
...
else if((A_Temp2 == 3b000)|(A_Temp2 == 3b111))
//系统软件复位
.....
//根据 A_Temp2 中数值来选择通道或者手动选择
else if(A_Temp2 == 3b001)
.....
End
```

信号的定義如表 1 所示。

表 1 产品切换分配信号

A2	A1	A0	实现功能(A2A1A0 即为 A_Temp2 中的值)
0	0	0	软件复位, soft_rst, 用于初始化
0	0	1	通道选择, 选择被测产品 1
0	1	0	通道选择, 选择被测产品 2
0	1	1	通道选择, 选择被测产品 3
1	0	0	通道选择, 选择被测产品 4
1	0	1	通道选择, 选择被测产品 5
1	1	0	手动通道选择
1	1	1	软件复位, soft_rst, 用于初始化

(4) 实现信号的切换分配。根据 A\_Temp2 内的值决定使能信号 En\_CH 的高低。En\_CH 为 5 位数据信号, 高位为选通。再根据 En\_CH 的高低来决定信号切换的通道。具体的代码如下:

```
assign ENO_Ju1 =
En_CH[1]? ~ENI_HX1:(En_CH[2]? ~ENI_HX2:(En_CH[3]? ~ENI_HX3:(En_CH[4]? ~ENI_HX4:
(En_CH[5]? ~ENI_HX5:1bz))););
assign C1O_Ju1 =
En_CH[1]? ~C1I_HX1:(En_CH[2]? ~C1I_HX2:(En_CH[3]? ~C1I_HX3:(En_CH[4]? ~C1I_HX4:
(En_CH[5]? ~C1I_HX5:1bz))););
assign C2O_Ju1 =
En_CH[1]? ~C2I_HX1:(En_CH[2]? ~C2I_HX2:(En_CH[3]? ~C2I_HX3:(En_CH[4]? ~C2I_HX4:
(En_CH[5]? ~C2I_HX5:1bz))););
assign BMKO_Ju1 =
En_CH[1]? ~BMKI_HX1:(En_CH[2]? ~BMKI_HX2:(En_CH[3]? ~BMKI_HX3:(En_CH[4]? ~BMKI_HX4:
(En_CH[5]? ~BMKI_HX5:1bz))););
```

ENO\_Ju1、C1O\_Ju1、C2O\_Ju1 和 BMKO\_Ju1 为数据选择器的输出端 (与测试设备相连)。其中 ENO\_Ju1、C1O\_Ju1 和 C2O\_Ju1 为 BMK 的控制信号; BMKO\_Ju1 为 8 位 BMK 数据和地址信号。

工程实践表明, 被测飞行控制组件产品发送的 BMK 遥测信号驱动能力有限, 而且对传输介质 (电缆的种类和长度) 比较敏感。因此, 可以有效利用 FPGA 构建的数据选择器, 对某一通道 BMK 遥测数据中 11 路地址/数据/控制信号的延时主动进行补偿和调整控制, 以修正传输介质引起的信号畸变。

### 2.3 软件选择适配器的实现

通过软件界面操作人员可以指定或选择被测试的专用适配



图 4 电控模拟器上位机 1553B 总线通信控制界面

### 8 结论

本文介绍了 Delphi 平台下 Conder 公司的 PCI-1553B 总线卡通信应用编程技术, 该技术可将 Delphi 强大的数据库编程和界面编程技术很好的与 1553B 总线通信编程技术结合起来, 从而加快项目的研制进度。其次, 本文介绍的编程方法包含构建一个基本的 1553B 总线通信系统的各关键部分代码,

并依据该技术实现了电控模拟器的通信部分设计, 对应用该板卡的相关开发人员提供一定借鉴。

### 参考文献:

[1] 张世兵, 苗克坚. 基于 1553B 总线的 BU-61580 芯片测试系统的设计与实现 [J]. 电子设计工程, 2013, 21 (3): 85-89.  
 [2] 杨 兵, 于宗光, 魏敬和. 一种 10MB/s 1553B 总线接口的设计 [J]. 微电子学, 2012, 42 (6): 782-786.  
 [3] 郑先成, 王二虎, 张晓斌. VxWorks 下 1553B 总线在飞机配电系统中的软件开发 [J], 计算机测量与控制, 2008, 16 (6): 874-876.  
 [4] 刘 瑛, 刘一俊, 邵玉梅. 1553B 总线通用仿真测试系统设计与研究 [J]. 微计算机信息, 2009, 25 (3): 23236-238.  
 [5] 夏庆梅, 徐亚军, 熊华刚. 航空电子接口控制文件 数据库管理 [J]. 航空计算技术, 2001, 31 (3): 39-40.  
 [6] Conder 公司 PCI-1553B 卡库 busapi32net.vb 下载 [EB/OL]. http://ev.verysource.com/code/1188802\_1\_1/busapi32net.vb.html.  
 [7] 何员子, 李九英, 等. DELPHI 环境下动态链接库的开 开发与应用 [J]. 电脑开发与应用, 2007, 20 (3): 4-7.

(上接第 2911 页)

器, 以及测试完一套专用适配器中的产品后是否自动测试下一套专用适配器中的产品 (若存在)。如不指定则默认为测试第一套专用适配器中的产品。而且程序可以自动显示正在测试的专用适配器中的产品序号。专用适配器切换控制部分程序流程设计如图 4 所示。

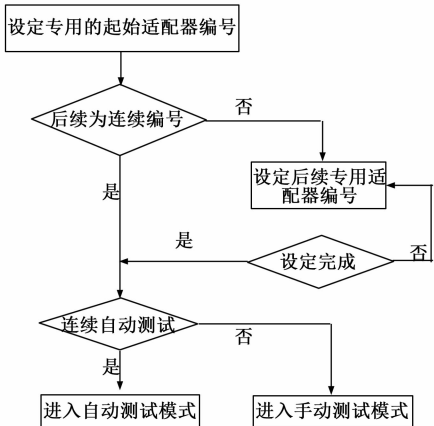


图 2 专用适配器切换控制部分流程图

### 3 实验与分析

#### 3.1 自检实验

所谓自检实验就是利用 BMK 接收卡模拟被测飞行控制组件产品发送的 BMK 遥测数据, 通过短接电缆连接至 BMK 遥测数据选择器的各个输入通道, 而后再对 BMK 遥测数据选择器输出通道的数据进行接收采集, 最后与发送的数据进行对比, 以检验 BMK 遥测数据选择器各个通道的正确性。自检实验中对 BMK 遥测数据选择器的每个通道均进行了测试, 每个通道选通后均进行 100 次递增数据、递减数据、同一数据、随

机数据 BMK 遥测数据帧收发实验。实验结果表明 5 个通道自检均正确。

#### 3.2 拷机实验

拷机实验是对飞行控制组件测试系统和多通道 BMK 遥测数据选择器的综合测试。拷机实验连续进行 72 小时, 保持设备不断电, 同时每隔 4 小时对 5 套被测飞行控制组件产品重复进行 10 次综合性能测试。72 小时共对被测产品进行 190 次综合性能测试, 测试结果均为合格。

### 4 结论

研制的多通道 BMK 遥测数据选择器结构精简、功能灵活、便于集成应用, 可以有效缩短测试时间, 提高测试效率, 在飞行控制组件相关测试设备中有着广泛的应用前景。同时, 自检实验和拷机实验表明研制的多通道 BMK 遥测数据选择器工作稳定、可靠。

### 参考文献:

[1] 刘莹莹. 某导弹飞控系统数字遥测信息接收装置的设计 [J]. 航空兵器, 2007, (1): 57-61.  
 [2] 任子龙, 林青松. 基于 FPGA 的 BMK 遥测数据采集的实现 [J]. 航空兵器, 2010, (4): 40-42.  
 [3] 潘建国, 等. 基于 FPGA 的高速大容量数据采集系统设计 [J]. 电子测量技术, 2008, 31 (9): 166-169.  
 [4] 周 健, 等. CPLD 在惯性测量单元数据采集系统中的应用 [J]. 电子测量技术, 2008, 31 (11): 80-82.  
 [5] 单立超, 等. 基于 FPGA 的混合遥测数据复接技术的研究 [J]. 嵌入式技术, 2012, 38 (10): 12-18.  
 [6] 宋学瑞, 蔡子裕, 段青青. 基于 FPGA 的数字复接系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (8): 1174-1176.  
 [7] 钱 渊, 郭 颖. 基于现场可编程门阵列技术的遥测数据处理接口设计方法研究 [J]. 探测与控制学报, 2006, 38 (3): 60-63.  
 [8] S Palnitkar. Verilog HDL A Guide to Digital Design and Synthesis [M]. 2th Edition. SunSoft Press A Prentice Hall Title, 2003.