

面向机载武器测试系统的高性能智能化 429 总线通信模块研制

屈四宝 苗克坚 陆寅

(西北工业大学计算机学院, 西安 710129)

摘要 面向机载武器系统的仿真测试,建立总线通信仿真测试平台,研制 ARINC 429 总线通信智能模块。针对机载武器系统中基于数据帧的总线通信方式,提出了缓冲区资源自动配置算法及其实现方案。在通信过程中根据各信道数据帧的特征和信道流量统计信息,动态分配信道缓冲,提高存储空间利用率,减少丢帧。

关键词 仿真与测试 ARINC 429 总线 帧通信 自适应 动态分配

中图分类号 TJ26; **文献标志码** A

传统的 429 总线通信板缓冲区的组织方式是以数据字为单位建立 FIFO 缓冲。在多通道并发模式下,缺乏有效缓冲区管理机制,难以应对突发的流量高峰,往往出现丢数现象;这在机载武器系统的通信中是不允许的。本文针对机载武器系统收发数据的特点,建立新的机制来完成数据的收发。在机载武器测控系统的研制中,很多应用场合都是将数据以数据帧为单位来处理的,为了能提高处理能力,往往需要设计专门的帧处理机制来完成。本文提出了面向数据帧的缓冲区动态自适应分配方案,并对实现方案进行了详细的介绍,为面向机载武器系统的数据通讯方式提出了更为合理的解决方案。

1 ARINC429 通讯模块组成

429 通讯模块^[1]由 5 个单元组成,如图 1 所示。

1.1 总线接口控制器

用于实现扩展卡与主板 CPU 之间的通讯。它的系统总线端连接 PXI J1 连接器上的总线信号,用户总线端和双口存储器连接,从而让主板 CPU 可以直接访问双口存储器。必要时还可以和 ARM 微处理器^[2]互相发送中断请求信号。

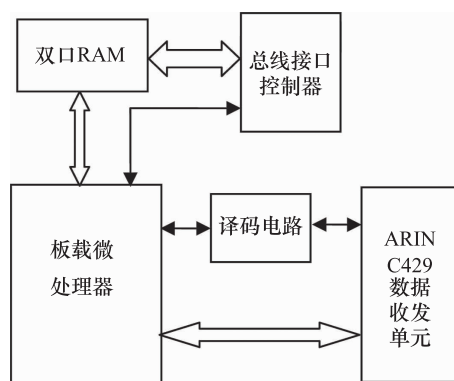


图 1 ARINC429 通讯模块组成

1.2 双口存储器

用作数据缓存,实现微控制器和主板 CPU 之间的数据交换。通过双口 RAM,可以作复杂的收发控制,实现灵活的数据交互机制。

1.3 板载微处理器

做嵌入式计算,是 429 总线通信模块的智能计算核心,用来控制数据的发送和接收和相应的计算处理,处理完成后,将结果存入数据存储器中,通知主板 CPU 读取,从而减少主板 CPU 的参与。所采用的板载微处理器是 LPC2214 微处理器^[3],是基于支持实时仿真和跟踪的 16/32 位 ARM7TDMI—S,带有 128/256 k 字节嵌入的高速 FLSH 存储器。

1.4 译码电路

实现了 ARM 对 429 数据的收发控制逻辑,简化了 ARM 对 429 数据的收发操作。

1.5 ARINC429 数据收发单元

429 数据收发采用的是 ARINC429 协议芯片 DEH1016^[4]和其配套的 BD429^[5]。该芯片组可以实现一路信息的发送和两路信息的接收,外围电路简单,有利于简化设计、缩小体积、提高可靠性。ARINC429 数据收发单元由多组 DEH1016 和 BD429 构成,从而实现多通道收发功能。

2 双口 RAM 的使用

429 通讯模块所采用的双口 RAM^[6]是 CY7C025^[7]双 H RAM 芯片,其容量为 8 K×16 bit。双口 RAM 的使用主要是为了实现主板 CPU 与板载 ARM 之间的数据通讯,来完成 429 多通道数据的收发任务。而主板 CPU 与板载 ARM 对双口的访问是异步的,所以竞争现象是很有可能产生的。

2.1 竞争现象的产生

在实际应用中,主板 CPU 和扩展板上的 ARM 都要对双口 RAM 进行操作。在正常情况下,两侧 CPU 对双口 RAM 的同一内存单元进行非同步操作时,两侧 CPU 之间不会发生竞争现象。但是,当两侧 CPU 在同一时刻操作双口 RAM 的同一内存单元时,两侧 CPU 之间就可能发生竞争使用现象,具体来说有两种情况:

- 1) 一侧 CPU 读取双口 RAM 某内存单元时,而另一侧 CPU 此时正在写入该内存单元,这时就可能造成读取数据有误;
- 2) 两侧 CPU 在同一时刻写入双口 RAM 的同一内存单元,这时就可能造成写入数据有误。

2.2 竞争现象的解决方法

以往的解决方法是使用双口 RAM 自带的硬件信号量来完成互斥操作,即当某一侧需要访问双口 RAM 时必须先要获取到对应的信号量,而这样很有可能需要等待产生延迟。

本文中所建立的新机制为每个通道配置了数据块管理表,并使用状态机来进行系统控制,避免了信号量的申请和等待,大大提高了通讯过程中的效率。

3 以数据字为单位的 429 通讯 FIFO

传统的 429 通讯卡都是以数据字为单位存放到 FIFO 中,在单通道或者多通道数据量不是很大的传

送过程中,丢数问题一般不会出现,如图 2 所示。

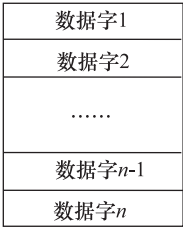


图 2 FIFO 缓冲区

但针对机载武器系统的数据通讯,在多通路同时大数据量的通讯过程中,由于传统以数据字为单位的 429 通讯 FIFO 缓冲区固定,当出现突发性的大量数据传送时缓冲区大小难以扩充,并且每次上位机和下位机进行交互传送每一个数据都需要有互斥操作,这将产生更大的延迟。从而一旦多通道数据量过大时,就会产生数据字处理来不及,从而造成数据丢失。更为严重的是数据丢失后,将会造成数据帧错乱,从而使机载武器系统无法正常识别信息。

4 面向数据帧的数据交互机制

机载武器系统处理的数据对象,往往不是以单个数据为单位的,而是一组长度固定的数据,其中每一个数据包包含着不同的地址信息和数据信息。这里我们称这组数据为一个数据帧。结合机载武器系统处理数据对象的特点,面向数据帧的 FIFO 缓冲区如图 3 所示。

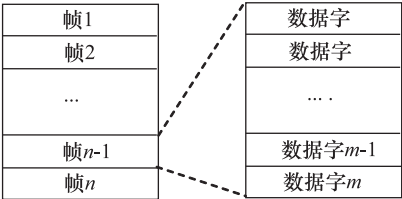


图 3 面向数据帧的 FIFO

在数据通讯的过程中,数据帧 FIFO 缓冲区的布局处在整个双口 RAM 中。对于 FIFO 的管理信息都放在了上位机和下位机的内存中,这样减少了上位机和下位机管理数据帧的管理时间并且更加的灵活。

对于数据帧的管理,为每一个通道建立了一个数据帧管理表(数据块管理表)来对发送和接收的数据帧进行管理,如图 4 所示。

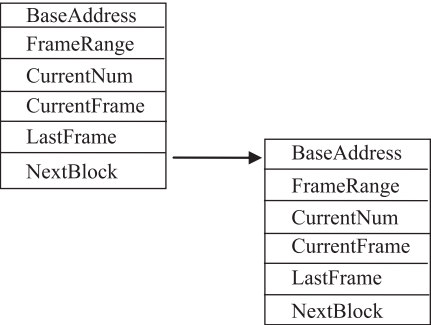


图 4 数据帧管理表

如图 4,各条目解释如下:

BaseAddress:记录该通道数据通讯在双口 RAM 中的基地址;

FrameRange:记录一帧数据的长度;

CurrentNum:记录当前有多少数据帧需要接收或者发送;

CurrentFrame 指向当前即将发送或者接收的数据帧;

LastFrame:记录该通道的这个数据块一共分配了多少数据帧的空间;

NextBlock:指向下一个数据帧管理表。

打开设备后,上位机只需要配置选中通道的帧长度 (FrameRange) 参数,其余参数由系统自动配置,上位机配置好的数据帧管理块表将建立在上位机的内存里直到进程结束。当上位机结束配置后,会产生一个配置传送中断通知下位机 (ARM 控制器)。下位机将根据上位机填写到双口 RAM 内的参数表 (只在配置过程中产生) 的对应位置获取参数,并在自己的内存中也建立同样的数据帧管理块表。这样上位机和下位机的数据帧管理表就都初始化并建立起来了,如图 5 所示。

在系统的设计中,将上位机与板卡的所有通讯都由中断来完成。上位机发送数据 (下位机接收到的数据已经放入双口 RAM),上位机 (下位机) 的对应通道向下位机 (上位机) 的对应通道产生一个 CurrentNum 加 1 中断,下位机 (上位机) 在中断服务程序中更新对应通道的 CurrentNum,并在该通道得到控制权的时候根据管理表的信息执行发送 (接收) 操作。这样由中断来更新 CurrentNum 数据,上位机与板卡进行交互不再需要申请信号量,从而避免了为申请信号量而空

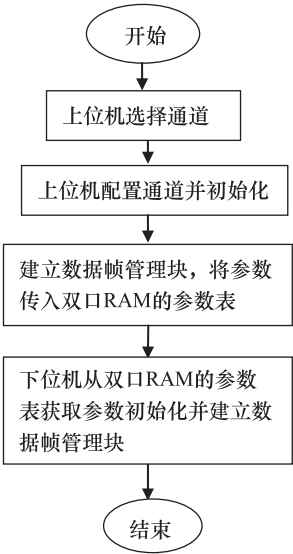


图 5 数据帧管理块表建立过程

等待的现象发生,提高通讯效率。在本文中,触发中断的方式采用的是写双口 RAM 最高地址位的两个 MAILBOX 寄存器来实现的,这样同时可以将 MAILBOX 作为中断状态寄存器来使用。

5 系统控制机制

机载武器系统测试设备的稳定性十分重要,而状态机有着简单、稳定的特点,所以本文采用类似状态机的控制机制来实现面向机载武器系统的 429 通讯过程。

5.1 通道状态

如图 6,整个通讯系统的每个通道有四种状态:预备态、工作态、阻塞态和故障态。

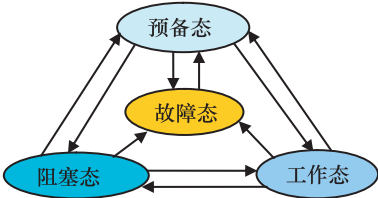


图 6 通道状态转换图

5.1.1 预备状态

在预备状态,主要完成通道配置的任务。上位机会通过中断将下位机设置为预备态,将各个通道的配置信息通过双口 RAM 传递给下位机控制器,完成建立数据帧表、分配双口 RAM 资源给各通道

等工作。如果设置成功,系统转到工作状态。如果是从阻塞态跳转到预备状态,则当预备状态完成新的配置任务后,会跳转到阻塞状态。

5.1.2 工作状态

工作状态用来完成数据的发送和接收。系统通过查询各个通道的数据帧管理表来发送或者接收数据,当某通道的数据帧管理表的 CurrentNum 大于 1 时(上位机发送一帧数据时,将数据帧写入双口 RAM 后,触发下位机中断,下位机中断处理将对应通道的发送数据帧管理表的 CurrentNum 自加 1;同样下位机接收到一帧数据也会触发上位机中断使上位机对应通道的接收数据帧管理表的 CurrentNum 自加 1),说明有数据帧需要发送或者接收,通过 BaseAddress、FrameRange 和 CurrentFrame 计算出当前需要发送或者接收的数据帧在双口 RAM 中的首地址进行相应操作。当需要重新配置通道参数信息,系统将从工作状态跳转到预备状态。某一时时刻主机任务繁忙,不能及时的处理某个 429 通道的数据接收任务,使得该通道在双口 RAM 中的接收 FIFO 快满时,该通道从工作状态跳转到阻塞状态。

5.1.3 阻塞状态

当通道转入到阻塞状态,系统会根据双口 RAM 的可用资源创建新的数据帧管理表为通道分配适当的帧空间来存储接收到的 429 数据帧,此时转入到预备状态。当预备状态完成了将新的数据帧管理表加入到通道数据帧管理表的链表中,返回到阻塞状态。回到阻塞状态后,系统会检查参数并释放辅助资源,跳转到工作状态。

5.1.4 故障状态

当设备刚刚启动,或者需要恢复到默认参数状态,可以通过上位机手动完成系统重启工作。

在任何的其它工作状态,如果出现严重错误,比如一侧死机等,另一侧会从工作状态跳转至故障状态进行系统重启或报错工作。

5.2 自适应资源分配过程

当上位机完成通道选择并启动系统后,上位机和下位机均为每个通道建立起了数据帧控制块,并根据帧长度自动的分配适量的帧长度整数倍的双口 RAM 地址作为缓冲区。其余的没有分配的双口 RAM 内存由系统虚设的内存管理链表链接起来。在通讯过程中,当某个通道数据帧即将溢出时,系

统将该通道进行资源的再分配,从而避免数据帧的丢失。自适应资源分配过程如图 7 所示。

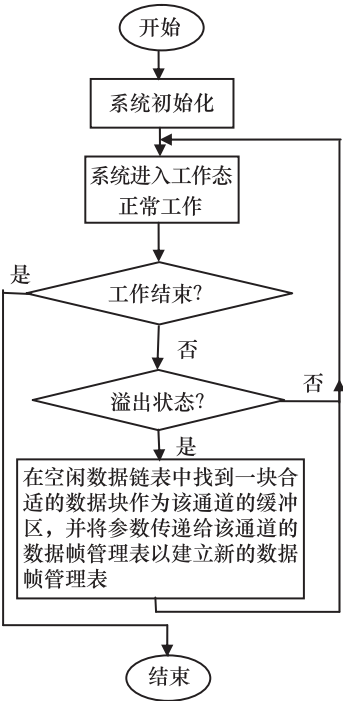


图 7 系统资源再分配过程

6 实验

本次实验以 NI PXI—1042 工控机为测试平台,操作系统采用 WINDOWS XP 系统,系统测控软件为某型导弹的专用测试软件。为满足测试的需要,采用的 429 板卡能同时实现 4 发 8 收并行通讯。测试系统还包括 2 块 1553B 通讯板卡、AD 板卡 1 块、DA 板卡 1 块、LVDS 通讯板卡 1 块、位指令板卡 1 块。

对某型导弹的飞控组件一共进行了 50 次测试,每次测试时间为 15 min,429 通讯模块的测试结果如表 1 所示。

表 1 新旧机制的测试结果对比

对比因素	面向数据的 FIFO(老机制)	面向帧的 FIFO(新机制)
数据通讯速率	100 kbs	100 kbs
发送通道数	4	4
接收通道数	7	7
数据帧长度	32 × 32 bit	32 × 32 bit
测试次数	50	50
单次测试时间	15 min	15 min
平均错误帧率	1.37%	0%
双口占用率	99.86%	<75%

7 总结

本文针对机载武器系统的 429 通讯特点,提出以数据帧为单位的通讯方式。为上位机和下位机建立本地数据帧管理表,使用中断来实现上位机与下位机控制器之间的通讯,不仅节省了双口 RAM 的可用资源,而且避免了空等待双口 RAM 信号量的现象出现,提高了系统通讯效率。通道处在不同的状态完成不同的任务,任务切换只需跳转状态即可完成,控制简便高效。目前采用本文设计的 429 通讯模块已经在多种型号的导弹测试设备上使用,运行状态良好,满足机载武器系统 429 通讯的需求。

参 考 文 献

1 张小宁,苗克坚. 基于 ARM 微处理器的智能化 PXI 总线扩展卡的设计. 计算机应用,2007;27(3):769—711

2 周立功,等. ARM 嵌入式系统基础教程. 北京:北京航空航天大学出版社,2005

3 LPC221 2/LPC2214 Preliminary data Rev 01 - 02. Philips Semiconductors,2004

4 DEI1016 ARINCA29 Transceiver. Device Engineering Incorporated 公司

5 BD429 ARINC429/RS-422 Line Driver Integrated Circuit. Device Engineering Incorporated 公司

6 张有为. 基于双口 RAM 的双 CPU 控制系统设计. 微计算机信息, 2005;21(10)

7 CY7C025 data sheet. CYPRESS 公司,2004

Development of High Performance and Intelligent 429 Bus Communication Module to Meet Airborne Weapon Test System

QU Si-bao, MIAO Ke-jian, LU Yin

(College of Computer Science, Northwestern Polytechnical University ,Xi' an 710129, P. R. China)

[Abstract] To meet the requierments of simulation and automatic testing of airborne weapon system, a type of multi-channel smart ARINC 429 communication module is developed. A resource self-orgniazation algorithm is proposed and implemented in the management of communication buffer. Buffer space can be re-allocated for each 429 channel dynamically based on frame size and channel flow. A better buffer utilization can be achived in case that flow differences exists in multi channles, and data lose can be avoided in frame surges.

[Key words] simulation and test ARINC 429 bus frame communication adaptive dynamic allocation