

惯性组合导航系统接口子系统的设计与实现

熊 智 刘建业 南京航空航天大学自动化学院导航研究中心(210016)
王燕萍 海军广州舰艇学院基础部 (510410)

Abstract

An approach has been presented, which is about the design and implementation of the interface subsystem of a basic strapdown inertial integrated navigation system. The implementation of principle chart has been given. The communication protocols used in data communication have been introduced carefully. For example, the method has been presented, which is about how to convert the physical parameters to the special communication data. The software design ideas and process has been emphasized. And then the software design of the interface subsystem has been finished. The results of actual usage show that the design of the interface subsystem is successful.

Keywords: inertial integrated navigation system, interface subsystem, ARINC 429 communication protocols, RS232C communication protocols

摘 要

介绍了某型无人机捷联惯性/卫星组合导航系统接口子系统的设计与实现的思路,给出了接口子系统的原理实现框图。对数据通信过程中使用的通信协议做出了详细介绍,同时,举例讲解了如何将需要传输的物理量转化为所需要的通信数据的方法。本文着重介绍了 ARINC 429 通信接口板的软件设计思路和程序编码的过程,在此基础上完成了接口子系统的软件设计,进行了大量的数据传输测试,测试结果表明系统的设计是成功的。

关键词: 惯性组合导航系统, 接口子系统, ARINC 429 通信协议, RS232C 通信协议

惯性组合导航系统作为机载航空电子设备的一个重要组成部分,在飞行过程中要持续不断的与飞行控制系统进行实时信息交换。在对惯性组合导航系统进行方案设计的过程中,保证惯性组合导航系统与飞行控制系统之间信息实时传输的高效与可靠,自然就成为了组合导航系统研究的重要组成部分。惯性组合导航系统接口子系统的性能直接影响到惯性组合导航系统的整体性能,因此,设计一个稳定可靠的惯性组合导航系统接口子系统就成为问题的关键。本文研究的接口子系统是基于某型无人机捷联惯性/卫星组合导航系统研究总要求中有关接口子系统的要求进行的。

1 惯性组合导航系统的结构组成

惯性组合导航系统在飞机执行飞行任务时,要向飞行控制系统和数据记录仪提供实时且不间断的导航信息,如位置、速度、姿态和航向等,同时也要实时接收飞行控制系统的控制信息;在地面起飞之前,需要与地面测试系统进行双向的信息交换,因此,信息传输数据量十分巨大。为了保证这些信息的高效和可靠传输,同时具有与机上其他航空电子设备的技术指标、电气性能和外形插接件的规范相兼容的能力,从而达到各个

航空电子系统的信息共享和功能综合,必须对惯性组合导航系统接口子系统进行详细的设计和分析,确定其具体的实施方案。图 1 即为本文研究的某型无人机捷联惯性/卫星组合导航系统的设计方案图。

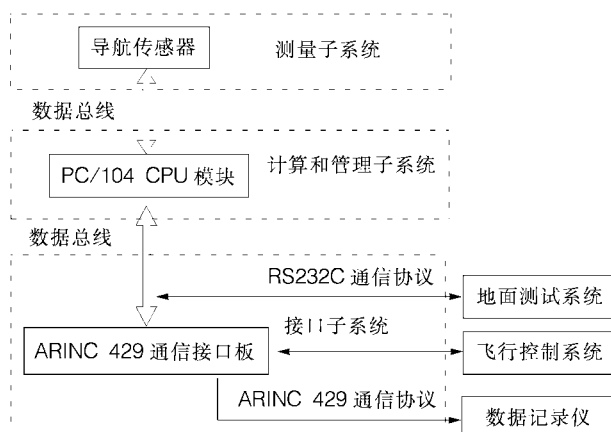


图 1 某型无人机捷联惯性/卫星组合导航系统

由图 1 可以看出,该惯性组合导航系统共由三个子系统构成,分别是:1)测量子系统,完成导航传感器原始测量信息的采集;2)计算和管理子系统,完成组合导航的解算,并通过数据总线实现对测量子系统和

接口子系统信息的交换和通信管理,是整个惯性组合导航系统的核心;3)接口子系统,直接实现与地面测试系统、飞行控制系统和数据记录仪的物理连接,通过计算和管理子系统的控制,担负着与上述三个系统进行信息交换的重任。由于本文研究的重点在于接口系统的设计和实现上,因此,下面将只对接口子系统以及计算和管理子系统的相关部分加以详细说明。

1.1 计算和管理子系统

计算和管理子系统采用嵌入式 PC 计算机结构,由一块 PC/104 CPU 模块构成。该模块是一种高度集成、自栈结构,与 IBM-PC/AT 兼容的模块,具有标准的系统组件和丰富的系统资源。在板包含了所有的 PC/AT 兼容的外部中断控制器及定时器;在板的外部接口包括两个 16550 兼容的 RS232C 串行口(COM1 和 COM2)。该模块能方便地与其他符合 PC/104 标准的扩展板配合使用。

1.2 接口子系统

接口子系统除利用 PC/104 CPU 模块上的 COM1 口实现与地面测试系统的信息交换外,还增加了一块满足 ARINC 429 通信协议的 SEM/A429-4R2T 型号的 PC/104 扩展板,来实现与飞行控制系统和数据记录仪的信息交换。SEM/A429-4R2T 模块是一种可以同时发送和接收 ARINC 429 总线信号的模块。它内含两组独立的 ARINC 429 数据收发单元,每个单元内部由两个数据接收通道和一个数据发送通道组成,可以选择系统中断或者查询方式进行数据接收。可通过配置跳线来独立设置单元的基地址和工作模式,并可在中断接收模式下设置相应的中断号。该模块通过 16 位总线与外部进行数据交换,可以通过栈接总线直接与 PC/104 CPU 模块栈接起来,为嵌入式系统提供 ARINC 429 信号收发功能。

在接口子系统设计与实现时,必须考虑信息交换的方向性。在本文研究的组合导航系统接口子系统设计方案中,地面测试系统通过 COM1 口以 RS232C 通信协议实现和惯导系统的双向信息交换;飞控系统和数据记录仪则通过 SEM/A429-4R2T 模块以 ARINC 429 通信协议实现和惯导系统的信息交换,其中,飞控系统是双向信息交换,而数据记录仪则仅仅是单向的,他只进行信息的存储。

2 数据通信

2.1 ARINC 429 通信协议

ARINC 429 通信协议是商用和运输飞机上最普遍使用的一种数据总线,是机载航空电子设备之间进行数据传输的一种标准。此标准在美国民用飞机上被广泛使用,我国航空工业参照 ARINC 429 标准,于

1986 年颁布实施了航标 HB6096-86《SZ-01 数字信息传输系统》,规定了航空电子设备及有关系统之间的数字信息传输要求。

ARINC 429 通信协议通过一对双绞屏蔽线来传输 32 位的数据字信息,它是一种单向传输总线,即总线上只允许有一个发送设备,可以有多个接收设备,但最多只能允许有 20 个接收设备。信息只能按广播的方式从发送设备送出,经总线传输到与他相连的需要该信息的接收设备上。当两个设备需要进行双向信息交换时,则必须在每一个方向都使用一根独立的传输总线。ARINC 429 通信协议采用带有奇偶校验位的 32 位数据字来表示需要传输的参数信息,数据传输按先低后高的顺序进行。其格式定义如表 1。

表 1 ARINC 429 数据字

位	32	31	30	29...11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
定义	P	SSM		DATA	SDI LABEL									

表 1 中各符号定义如下:

P:表示奇偶校验位,由硬件自动设置,实现简单的数据校验功能。

SSM:符号/状态矩阵,用于表示数据的特性,如方向、符号等;也可用于表示发送设备的工作状态。

DATA:数据区,用于存储编码后的数据信息,其最高位是符号位,代表数据的正负,规定 1-负、0-正。

SDI:源/目的设备识别码,用于对 ARINC 429 总线上的设备进行识别。

LABEL:8 进制的数据标号,用于区分 ARINC 429 字所包含的信息,ARINC 429 通信协议给传输的每个参数都规定了特定的数据标号,通过这些数据标号,接收设备可以很容易地判断出所接收到的 ARINC 429 字的用途。

需特别注意的是,本文选用的 ARINC 429 通信接口板使用的不是上述标准的 ARINC 429 数据字,其数据字定义如表 2。

表 2 ARINC 429 通信接口板数据字

位	32...14				13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
定义	DATA				SDI		SSM		P		LABEL							

表 2 中各符号的定义与表 1 中定义相同。为了叙述的方便,在下面的数据编码过程中,将按 ARINC 429 通信接口板的数据字格式进行数据编码。

2.2 数据编码

按照 ARINC 429 通信协议进行信息的交换过程中,必须对需要传输的物理量进行数据编码,以满足 ARINC 429 通信数据格式的要求。下面以惯性组合导航系统传输物理量俯仰角度为例,介绍数据编码的实

现过程。

规定俯仰角度的 8 进制的数据标号为 324，俯仰角度取值范围-1800-1800，以 16 位有效位数表示，其中最高有效位为符号位。俯仰角度取值为-900。

数据编码公式：

数据编码=数据取值/数据最大值 * 2⁽¹⁶⁻¹⁾。

则可得 32 位的 ARINC 429 数据字如表 3。

表 3 数据编码

内容	-90					3	2	4
编码	C001h	000	00	00	0	11	010	100
定义	DATA		SDI	SSM	P	LABEL		

2.3 RS232C 通信协议

RS232C 通信协议是美国电子工业协会推荐的一种异步数据通信标准，通过一对信号线来分别发送和接收数据字符，通常一个数据字符都带有起始位、停止位和可选的奇偶校验位。按照 RS232C 通信协议设计的异步串行通信 I/O(COM1 和 COM2)已成为微机系统中的标准配置。

采用 RS232C 通信协议进行数据通信时，必须将需要传输的物理量转化为数据字符后，才能进行数据传输。在本文中，将需要传输的物理量都存储在一个固定的数据结构中，该数据结构包含如下信息：

\$<头字符><数据项>CC

其中，“\$”表示信息的起始标志；“<头字符>”表示数据类型；“<数据项>”表示需要传输的物理量；“CC”表示信息结束的字符。

按照上述的数据结构就能构成满足 RS232C 通信协议的数据字符。

3 接口子系统软件设计

考虑到软件设计的模块化和便于移植的特点，本文选用微软的 MSC 6.0 作为接口子系统软件的设计开发工具。

3.1 ARINC 429 通信接口板软件设计

本文采用的 SEM/A429-4R2T 模块的接口软件设计共分为初始化和工作编程两部分，其中，初始化编程主要是约定数据通信规范，工作编程则是实现数据的实际发送和接收。

在初始化编程过程中，通过写入控制寄存器控制字的方式来设定模块的工作方式，包含字长选择、传输速率选择、奇偶校验、S/D 码匹配接收和内部自检等。在工作编程过程中，由于该模块可以选择中断或查询方式接收数据，但不能中断方式发送数据，而我们在使用过程中只采用中断方式接收数据和查询方式发送数据，因此，必须按不同的编程思路来分别进行数据的接

收和发送编码，下面将详细叙述这两种思路的编码过程。

3.1.1 中断方式接收数据

用中断方式接收数据需要以下步骤：

- 读空某个收发单元中接收通道 1 和接收通道 2 的数据；
- 设置该收发单元的控制字；
- 再次读空该收发单元中接收通道 1 和接收通道 2 的数据；
- 设置相应的中断服务程序；
- 再次读空该收发单元中接收通道 1 和接收通道 2 的数据；
- 若发生中断，读状态字判断为哪个通道接收到数据；
- 从相应的通道读取 ARINC 429 数据，先读低 16 位，再读高 16 位。

3.1.2 查询方式发送数据

用查询方式发送数据步骤如下：

- 将 ARINC 429 编码数据分为两个 16 位字；
- 读状态字，若发送缓冲区空，则分别将两个 16 位字按先低后高的顺序送入发送缓冲区，数据将自动发出。

3.1.3 程序编码

SEM/A429-4R2T 模块上的两个独立的数据收发单元，各自占有 5 个 16 位的控制和数据寄存器。第一单元，设置其端口地址首地址为 0x380，接收中断号为 10；第二单元，设置其端口地址首地址为 0x390，接收中断号为 5。下面以第一单元为例，介绍程序编码。

(1) 硬件初始化程序

程序清单如下：

```
void s429_portinit(){
    inpw(0x380+0);           读空接收通道 1 低 16 位字
    inpw(0x380+2);           读空接收通道 1 高 16 位字
    inpw(0x380+4);           读空接收通道 2 低 16 位字
    inpw(0x380+6);           读空接收通道 2 高 16 位字
    outpw(0x380+4,0x0020);}  写一单元 16 位控制字
```

硬件初始化程序通过写入控制字来设置模块的工作方式。例如设置 ARINC 429 数据字长为 32 位、传输速率为高速、采用奇校验、无 S/D 码匹配接收和内部自检，则控制字为 0x0020。

(2)数据传输程序

程序正常运行后，ARINC 429 模块一旦接收到一个数据字，就发出硬中断信号给 8259 中断控制器。中断接收程序主要有以下两步：

- 判断中断发生源性质，通过读取状态字寄存器

0x388 来实现。其定义如下表 4:

表 4 状态字定义

数据位	定义
D2	发送通道状态:0-发送缓冲区有数待发;1-发送缓冲区空
D1	接收通道 2 状态:0-没有接收到数据;1-已接收到数据
D0	接收通道 1 状态:0-没有接收到数据;1-已接收到数据

•运行处理程序,对 D1、D0 位为 1 的状态,通过读数据寄存器 0x380、0x382、0x384、0x386 可获得数据字信息。

在发送数据字过程中,通过循环读取状态字寄存器 0x388 的方法来判断是否能发送数据。若 D2 位为 1,则向发送数据端口 0x380、0x382 写入数据字即可。

3.2 RS232C 接口软件设计

本文利用 PC/104 CPU 模块上的 COM1 口以 RS232C 通信协议实现双向信息交换,其接口软件也分为初始化和工作编程两部份。其中,初始化编程通过写入控制寄存器控制字的方式来设定模块的工作方式,包括波特率设定、奇偶校验和内部自检等。在工作编程中则设定接收和发送数据都采用中断方式进行,以中断服务程序来执行实际的数据收发工作。其工作流程如下:

- 响应中断信号,进入中断服务程序;
- 读取 RS232C 中断识别寄存器信息,判断发生

的中断类型;

•若是发送数据寄存器空中断,则再次发送数据;若是接收数据就绪中断,则从数据端口读取接收到的数据。

由于 RS232C 的程序编码过程与 ARINC 429 模块的程序编码过程类似,这里就不再做具体介绍。

4 结束语

在上述工作的基础上,我们利用已实现的接口子系统与地面测试系统、飞行控制系统和数据记录仪进行了联调,工作时间为 2 小时。采用接口子系统连续工作,其他系统实时接收数据的方式来验证该接口子系统的可靠性与稳定性。测试结果表明,该接口子系统能稳定可靠工作,数据传输正确。

本文在数据通信过程采用的两种通信协议都是得到广泛应用和实践证明的标准通信协议,按照这两种标准通信协议设计的接口系统不仅能保证系统的稳定可靠,还能大大降低开发成本,缩短开发周期。

参考文献

1 袁信,俞济祥,陈哲.导航系统.北京:航空工业出版社,1993

2 杨素行等.微型计算机系统原理及应用.北京:清华大学出版社,1995

3 谭浩强.C 语言程序设计.北京:清华大学出版社,1991

4 ARINC Digital Data System Compendium. ARINC Report 419-3, November 5,1984

[收稿日期:2002.12]

(上接第 15 页)

的 DP 功能、FDL 连接功能等。在应用中 CP342-5 可组态为一类主站、二类主站、被动从站、主动从站,以实现主——从、主——主等数据通信。FDL 连接能实现较大的数据量传输 (240Byte/FDL 连接,每个 CP342-5 的 FDL 的连接数可达 16 个),以满足较大的通信要求。

与西门子公司相比,其它厂商提供的 PROFIBUS 现场总线设备,其通信服务功能多数与西门子的有一定的差距。如施耐德公司的 Premium 和 Quantum PLC,其提供的 PBY110、CRP8100 PROFIBUS-DP 通信模块,在系统中只能做主站,与从站实现双向数据通信,没提供有如 FDL 连接之类的通信服务,对实现主站间的过程数据通信比较麻烦。但其优点是通信实现方便,它的通信实现程序已经集成在通信模块里,无须额外的软件通信编程,只需完成硬件及网络配置,I/O 信号映射即可实现数据的存取。

采用 PROFIBUS-DP 通信技术,任何厂商生产的 DP 从站,利用 GSD 文件可以方便地集成到一个主站

系统中组成所需的控制系统。系统组态方便、灵活,完全可以实现即插即用的开放式组态。

对于车间级的数据通信或大的数据量传输,可以采用 FMS 或 DP 的 FDL 连接通信,但涉及不同厂商的设备通信时,需格外注意各厂商的设备提供的通信服务功能,确保功能匹配。

总的说来,PROFIBUS 能方便地实现控制系统的集成,编程简单,通信可靠,是一个技术比较先进的现场总线网络。对一些通信问题在目前厂家为其提供的通信产品和通信服务功能还不够丰富的情况下,通过灵活配置完全可以解决。

参考文献

1 阳宪惠,魏庆福,徐用懋.现场总线技术及其应用.清华大学出版社,1999

2 程晓琳,徐用懋.现场总线控制网络模型与网络集成.测控技术,2000(10):P35~P37

3 苟建兵.关于控制系统通信网络的讨论.自动化博览,2000(4):P29~31

[收稿日期:2002.3.20]