

AFDX 网络配置驱动的 PCI 总线远程数据采集器设计

刘智武, 张立辉, 陈长胜, 王红春

(中航工业西安航空计算技术研究所, 西安 710119)

摘要: 针对先进飞机的航电系统架构, 文章提出一种基于 PCI 总线的模块化远程数据采集器设计, 以 AFDX 网络为主干网络, 配置了 ARINC825 总线、ARINC429 总线、多路传感器和作动器 I/O 接口, 从多接口、配置引脚和配置驱动 3 个方面进行了软硬件设计及实现, 保证了远程数据采集器的可靠性、灵活性和可维护性, 并通过试验, 对文章设计的远程数据采集器的功能指标和时延参数进行了测试, 测试结果表明, 文章提出的设计, 能够满足远程数据采集器功能需求, 并具备转换时延小的特点。

关键词: 远程数据集中器; 配置驱动; 航电网络

Design of a Table-Driven AFDX Remote Data Concentrator Based on PCI Bus

Liu Zhiwu, Zhang Lihui, Chen Changsheng, Wang Hongchun

(AVIC Computing Technique Research Institute, Xi'an 710119, China)

Abstract: Based on the avionics system structure of most advanced airplane, this paper put forward a design of multi-modules Remote Data Concentrator based on PCI bus, which uses AFDX as its backbone network, and also have multiple ARINC825 bus interfaces, ARINC429 bus interfaces, sensor and actuator I/O interfaces, implement the hardware and software with multi-interfaces, configuration Pins and table-driven design, which improve the reliability, flexibility and maintainability of Remote Data Concentrator, finally, test the function and latency of the designed RDC, the test results show that the proposed design is a low latency and full functional design.

Key words: remote data concentrator; table-driven; avionics network

0 引言

机载航空电子系统的发展经历了分立式、联合式、综合式和先进综合式 4 个阶段^[1], 其系统综合化程度不断提高, 因而作为航空电子系统互联基础的总线网络也向着集中式、统一化发展。在国内外先进飞机航电系统中, 均采用了综合模块化航电技术作为其航电系统的主要架构, 提高了航电系统的综合化水平。

在综合模块化航电系统中, 主要组成部件包括 IMA 核心处理平台、主干网络交换设备、航电子系统和远程数据采集器 (Remote Data Concentrator, RDC) 等设备, 通过主干网络进行互联。航电主干网络交换设备及 IMA 核心处理平台一般均采用冗余设计, 以保证航电网络系统的可靠性。远程数据采集器为航电系统同外部系统的接口, 需要实现外部系统同航电系统的数据转换及传输, 负责航电系统中远程数据的采集, 同时接收核心处理平台的操作命令以控制远程数据接口。

1 远程数据采集器设计

远程数据采集器在综合模块化航电系统中的位置如图 1 所示。远程数据采集器实现二级总线及航电系统中其他的传感器、作动器数据向主干网络的接入及传输, 通过远程数据采集器实现二级总线、传感器数据向核心处理机的采集和传输, 实现核心处理机对外部作动器的输出控制^[2]。

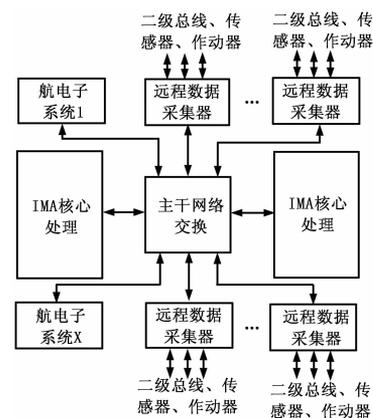


图 1 综合模块化航电网络系统基本架构

在目前先进飞机 (A380、B787、C919) 的航电网络中, 均采用 AFDX 作为其主干交换网络^[2-3], 本文远程数据采集器设计选用 AFDX 网络作为远程数据采集器的主干网络, 二级总线设计包括机载网络有广泛应用的 ARINC825 总线、ARINC429 总线, 传感器包括温度传感器、电压采集传感器等, 作动器主要为地开、28 V 开等信号输出。

1.1 接口设计

远程数据采集器具备多种数据接口, 在设计中, 一方面需完成各种总线、传感器和作动器接口的设计, 另一方面, 需完成其各种接口的集成。同时, 各总线接口既要集成在一个产品中, 又要保证相对的独立, 避免由于某个接口的故障引起的故

收稿日期: 2013-12-30; 修回日期: 2014-02-28。

作者简介: 刘智武 (1985-), 男, 陕西渭南人, 工程师, 主要从事 AFDX 网络通信技术方向的研究。

障蔓延, 起到故障隔离的作用。本文远程数据采集器的主要接口和功能设计如图 2 所示。

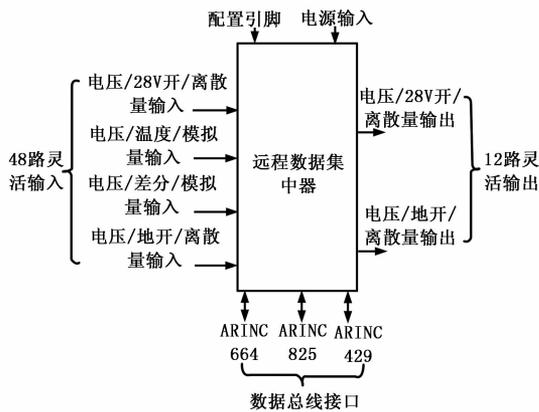


图 2 远程数据采集器接口及功能设计

图 2 给出了远程数据采集器的外部接口, 其中, 配置引脚实现管脚编程功能, 采集器通过查询管脚编程来选用启动相应配置来运行, 支持不同的应用场景, 提高采集器的配置灵活性。在输入接口中, 提供了包含 28 V 开信号、温度信号、差分电压信号和地开信号等 48 路输入接口, 在输出接口中, 提供了包含 28 V 开信号和地开信号的 12 路输出接口, 在网络和数据总线接口中, 提供了双路 ARINC664 总线接口、多路的 ARINC825 和 ARINC429 总线接口。

在接口设计中, 通过设计配置引脚和多路总线、多路输入输出接口来保证远程数据采集器的灵活性。在实际航电网络中, 需要配置较多的远程数据采集器, 每个采集器根据位置、功能不同有不同的配置信息, 将网络中所有采集器的配置制作成一个大的配置表, 而通过配置引脚去选择某个固定位置和功能的远程数据采集器所执行的配置表, 而配置引脚根据不同的位置是固定的, 因此, 通过配置引脚可实现远程数据采集器在飞机上的灵活互换; 远程数据采集器设计了灵活的多路总线及输入输出接口, 在使用中, 可时期灵活地互连网络中各种传感器、作动器和总线。

1.2 基于 PCI 总线的集成设计

远程数据采集器集成了各种总线、离散量和模拟量接口, 本文采用模块化方法来进行设计, 将远程数据采集器的各部分接口、功能划分到不同的模块, 各部分模块通过 PCI 总线连接在一起, 构成一个一体的多模块架构远程数据采集器。通过这种方法, 一方面, 使得各部分功能相对独立而互不影响, 将局部的故障隔离到模块一级, 而不会蔓延对整个产品造成影响, 另一方面, 模块化的结构使产品的各个部件可灵活进行互换, 当某个模块出现问题时, 只需要对单个模块进行更换, 而不需要对整个产品进行更换。通过这种设计, 提高了远程数据采集器的可靠性和可维护性。本文基于 PCI 总线的远程数据采集器设计如图 3 所示。

图 3 中, 基于模块化的思想, 将远程数据采集器划分为主处理模块、AFDX 模块、ARINC825 模块、ARINC429 模块和 I/O 处理模块 5 个部分, 这 5 个模块之间通过 PCI 总线连接。主处理模块实现远程数据采集器的主处理功能, 采用 PowerPC 处理器为核心搭建, 外围配置 SDRAM、FLASH 等存储器资源, 选用 PowerPC109 作为 PCI 桥芯片, 支持挂载 7 个 PCI

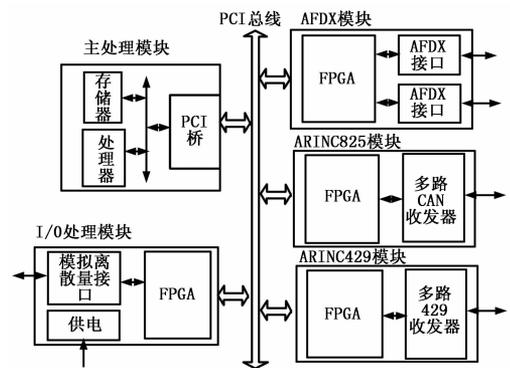


图 3 基于 PCI 总线的远程数据采集器设计

从设备, 主处理模块作为 PCI 的主设备同其它模块连接; 其它 4 个模块以 FPGA 芯片为核心实现, 在 FPGA 中采用 PCI 核的形式实现 PCI 从设备功能, 挂载于主处理模块的 PCI 桥下; AFDX 模块通过 FPGA 实现 AFDX 的协议层控制, 通过以太网收发器实现 AFDX 物理层功能, 对外提供冗余的两路 AFDX 总线接口功能; ARINC825 模块通过 FPGA 实现 ARINC825 总线协议的链路层控制功能, 配置多路的专用 CAN 收发器实现多路的 ARINC825 总线接口功能; ARINC429 模块通过 FPGA 实现 ARINC429 协议功能, 配置多路的 ARINC429 收发器实现 ARINC429 总线接口功能; I/O 处理模块实现远程数据采集器的离散量和模拟量采集和输出控制接口功能, 通过 AD 转换实现外部模拟信号的转换, 并输入至 FPGA 实现模拟量和离散量的采集和输出控制功能, 配置引脚作为外部的离散量输入, 也由 I/O 处理模块来进行采集, 远程数据采集器的供电处理由 I/O 处理模块完成, 外部输入 28 V 电源供电, I/O 处理模块对其进行 28 V 到 5 V 电压转换, 并通过 PCI 接口将转换后的 5 V 电压提供给其它各模块进行供电。

图 3 所示的 AFDX 模块、ARINC825 模块、ARINC429 模块和 I/O 处理模块均采用 FPGA 为核心进行设计, 其 FPGA 内部逻辑功能如图 4 所示。

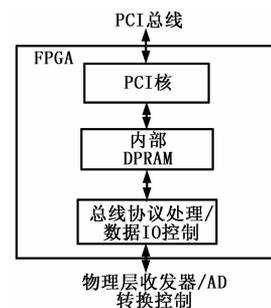


图 4 FPGA 内部处理设计

如图 4 所示, 在各总线通信模块及 I/O 处理模块中, FPGA 内部实现 PCI 核, 同主模块进行 PCI 总线通信, 各模块同主模块的通信方式采用共享双口的形式完成, 在 FPGA 内部实现一个内部双口 DPRAM, 用于主模块和各子模块的数据交互通信, 该 DPRAM 通过 PCI 总线向主模块开放。在 FPGA 内部实现对各总线的协议层控制和处理, 实现对模拟量和离散量的数据 I/O 采集和输出控制功能。

2 配置驱动数据转换设计

远程数据采集器在硬件设计上提供了较大的灵活性，在实际应用中，需要根据具体的场景对采集器进行配置，使其能够根据不同的场景完成不同的任务。

2.1 配置驱动的远程数据采集器

远程数据采集器可以理解为实现网络中各种类型总线、接口数据转换的网关设备，而该网关设备在设计上根据应用需求采用了接口最大集设计，而在实际使用过程中，每个远程数据采集器所用到的接口只是其自身所具有的接口的一个子集。为了保证远程数据采集器在应用中的灵活性、可互换性，采用配置驱动方式来完成远程数据采集器的功能。在同一个航电系统中，所有的远程数据采集器均采用配置驱动的方式运行，除其运行的配置表不同外，各远程数据采集器的软件、硬件、接口均保持一致。远程数据采集器依赖配置运行，实现不同的功能，在配置中，需定义要使用接口种类、接口数目和序号、数据格式及数据转换规则等。

2.2 配置设计

远程数据采集器基于配置来运行，需要设计配置工具针对不同的应用需求进行采集器的配置，远程数据采集器配置流程如图 5 所示。



图 5 远程数据采集器配置流程

如图 5 所示，远程数据采集器的配置输入为应用需求，即需要所定义的远程数据采集器完成的功能、性能需求，以此作为输入，首先进行接口选择配置，根据需求选择所需要用到的接口种类、接口序号和接口数量；进行选择后，需要进行数据消息定义，定义各输入输出接口的方向、传输速率、数据更新率、各消息字段长度等数据属性信息；数据定义完成后，需要定义转换规则，即该配置中，需要进行哪些接口之间的数据转换操作，定义转换的源端口和目的端口，转换中各接口消息字段的对应关系和转换中的运算规则；配置校验对所前面几步配置进行全局检查，判断是否有配置错误和流量超带宽等错误情况；最后一步进行配置生成，通过配置校验后，根据所配置的内容生成配置并输出文件，输出两种格式的文件，一种为 .bin 格式的二进制配置文件，用于加载到远程数据采集器上，通过采集器软件解析运行，一种为 .xml 格式的配置文件，主要便于对配置进行查看和分析。

3 软件设计及实现

远程数据采集器采用软件方式实现各接口数据的转换和传输，软件运行在图 3 所示的主处理模块，实现各总线接口的数据通信、数据接口的采集和控制、配置的解析和加载、根据配

置的数据转换操作等功能。软件结构设计如图 6 所示。

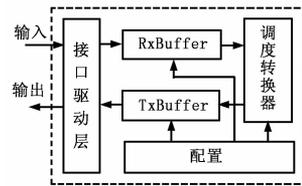


图 6 软件结构设计

如图 6 所示，远程数据采集器软件根据配置定义的规则，完成输入数据到输出数据的转换，配置定义了采集器的接收缓冲区、发送缓冲区的大小和深度，定义了针对不同类型数据的转换规则，在软件运行之初，首先完成配置解析，根据配置内容创建缓冲区和转换规则，当采集器外部有数据输入时，接口驱动层完成数据的接收并将数据传送至接收缓冲区，调度转换器不断地查询接收缓冲区，当接收到数据时，按照事先定义并已创建好的转换规则，对数据进行拆分和重组，将重组后的数据传送至发送缓冲区，通过接口驱动层向外发送出去，完成远程数据采集器的数据转换和传输功能。

在实现上，对底层各接口的通信驱动接口进行统一封装，采用多任务调度方式实现数据的转换和调度，根据转换规则定义，将规则按照类型进行分类，针对同一类端口和同一类转换规则，以任务的形式对其端口数据进行侦听，有数据接收后根据其转换规则对数据进行处理并转换传输。远程数据采集器软件划分了五个调度任务，分别为 AFDX 接收调度任务、AFDX 选择接收调度任务、ARINC825 接收调度任务、ARINC429 接收调度任务、模拟量离散量接收调度任务，通过这 5 个任务来实现远程数据采集器功能。

4 测试及验证

建立如图 7 所示的测试环境，对远程数据采集器的功能性能进行测试验证。

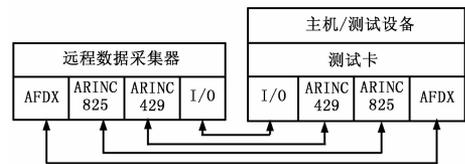


图 7 测试验证环境

如图 7 所示，测试验证环境包含测试设备和被测远程数据采集器，两者通过测试线缆连接，测试设备采用 PCI 机箱，内部集成 AFDX、ARINC825、ARINC429 和模拟量离散量 I/O 接口的测试板卡，同被测设备远程数据采集器连接，测试设备上运行上位机软件，可以向被测采集器注入各种类型消息，并实时监控采集器的输出消息。

建立覆盖远程数据采集器各类型端口数据转换的配置，包含 12 条转换规则和 34 个通信端口，每条规则配置 1 条输入消息，每个端口发送数据 100 条，对远程数据采集器的转换功能、时延参数进行了测试验证，其结果如表 1 所示。

表 1 中，技术时延为远程数据采集器的调度时延，即从采集器正确接收到数据到该数据被采集器发送出去的时间；转换时延为从测试设备端正确发出数据到正确捕获到转发数据的时

(下转第 1558 页)

长；然而只有两个移动终端网关能具有在只有 50 个节点的网络中的移动终端网关相同的功能。然而，如果采用并行传递，采用更有效的路由算法，在稠密网络中传递每一个数据包所消耗的能量会降低，因为移动终端网关能够扮演更重要的作用。

表 1 不同网络模式下的性能比较

Performance metrics		(a) A network of 50 sensor nodes					(b) A network of 100 sensor nodes				
		WSN w/o EB	WSN w/EB	CN w/ 1 MT	CN w/ 3 MTs	CN w/ 5 MTs	WSN w/o EB	WSN w/EB	CN w/ 1 MT	CN w/ 3 MTs	CN w/ 5 MTs
Network Lifetime (rounds)	FND	76.0	76.6	147.1	392.4	533.3	43.7	46.7	80.0	190.9	254.3
	HND	726.5	1 125.4	854.2	1 272.3	1 842.2	750.5	996.1	818.4	1 031.1	1 548.1
	LND	1 502.8	9 392.6	2 060.4	3 414.0	3 921.9	1 517.1	7 300.8	1 658.5	2 066.3	3 221.1
Energy Consumption (*10 ⁻³ J/round)		56.8	54.1	54.9	52.3	46.5	98.9	98.2	97.3	92.4	89.2
Delay (slots/round)		51.5	28.0	21.4	13.8	11.1	103.0	61.4	49.6	31.2	28.6
Throughput (packets/round)		42.3	45.3	43.2	45.7	46.7	71.3	83.2	73.9	83.9	86.4

4 结论

为了满足日益增长的 M2M 网络的需求，MCN 和 WSN 正逐渐走向融合。尽管在融合网络的演化过程中会面临许多的技术难题，比如网络结构的融合问题、空中接口的融合问题、协议的融合问题，融合已经成为一种必然的发展趋势，并且会带来许多优势。通过计算机仿真，我们知道在融合网络中，WSN 的平均延迟性能、吞吐量、网络寿命等都得到了明显的提高。

参考文献：

[1] 詹杰, 刘宏立, 刘大为, 等. 无线传感器网络中 DPC 安全定位算法研究 [J]. 通信学报, 2011, 32 (12): 8-17.

[2] Martusevicius V, Kazanavicius E. Self-localization system for wireless sensor network [J]. Elektronika Ir Elektrotechnika, 2010, 16 (10): 17-20.

[3] Feng W J, Bi X W, Jiang R. A novel adaptive cooperative location algorithm for wireless sensor networks [J]. International Journal of Automation and Computing, 2012, 9 (5): 539-544.

[4] Lin C, Xiong N, Park J H, et al. Dynamic power management in new architecture of wireless sensor networks [J]. International Journal of Communication Systems, 2009, 22 (6): 671-693.

[5] 何风行, 余志军, 刘海涛. 基于压缩感知的无线传感器网络多目标定位算法 [J]. 电子与信息学报, 2012, 34 (3): 716-721.

[6] 刘瑜, 衣晓, 何友. 高密度无线传感器网络分簇定位算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34 (8): 1581-1586.

[7] Yedavalli K, Krishnamachari B. Sequence-based localization in wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7 (1): 81-94.

[8] Blumenthal J, Grossmann R, Golatowski F, et al. Weighted centroid localization in Zigbee-Based sensor networks [A]. IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing [C], Madrid, 2007: 1-6.

[9] 刘影, 钱志鸿, 孙大洋. 基于参考点序列的无线传感器网络节点定位算法 [J]. 吉林大学学报: 工学版, 2012, 42 (2): 489-493.

(上接第 1554 页)

表 1 验证测试记录

序号	规则	转换功能	技术时延 (ms)	转换时延 (ms)
1	AFDX->A429 参数	正确	2	8
2	AFDX->A429 四发一收	正确	4	11
3	AFDX->A429 块	正确	5	17
4	AFDX->A429 四发选择	正确	3	9
5	AFDX->A825 参数	正确	2	7
6	AFDX->A825 块	正确	6	15
7	AFDX->模拟量离散量	正确	2	6
8	A429->AFDX 参数	正确	3	10
9	A429->AFDX 块	正确	1	数据更新率 +5
10	A825->AFDX 参数	正确	3	10
11	A825->AFDX 块	正确	1	数据更新率 +5
12	模拟量离散量->AFDX	正确	2	5

延。在表 1 中，远程数据采集器的技术时延基本在 3 ms 左右，而规则 2、3 和 6 技术时延较大，分析原因在规则 2 转换过程中，需要对 4 个 AFDX 端口的数据进行接收，并依次进行发送，需要占用较多的时间；规则 3 中，需要对 AFDX 数据进行拆分，并按照 ARINC429 格式进行多条 ARINC429 数据的发送；规则 6 同规则 3 类似，需要占用拆分并组合多条 ARINC825 数据的时间。转换时延加入了测试设备驱动层、物理层和采集器的驱

动层、物理层时延，因而时延较大，由于 ARINC429 和 ARINC825 总线底层数据的接收和发送采用查询的方式，因而查询过程需要耗费一定的时间，所以其转换时延较大。

表 1 中测试结果为在 12 条规则，每条规则 1 条消息，每条消息发送 100 条消息的情况下测得，可以分析出，当在复杂的应用环境中，随着规则数目的增加，每条规则消息数目的增加，远程数据采集器的技术时延会因为调度时延而增大，而转换时延相对固定，仅由于技术时延的增大而线性增大。

5 结论

文章针对先进飞机的航电系统架构，结合远程数据采集器的设计需求，基于模块化思想提出一种基于 PCI 总线的航电网络远程数据采集器设计，从接口设计、配置引脚和配置驱动 3 个方面保证了远程数据采集器的灵活性和可维护性，并通过试验的方法对采集器的功能、时延等参数进行了测试验证和分析，结果表明，文章提出的设计能够满足远程数据采集器的功能需求，并具备较小的时延。

参考文献：

[1] 熊华钢, 周贵荣, 李峭. 机载总线网络及其发展 [J]. 航空学报, 2006, 27 (6): 1135-1144.

[2] 孙欢庆. 民用飞机综合航电系统技术发展研究 [J]. 航空科学技术, 2010, (3): 6-8.

[3] 赵永库, 李贞, 唐来胜. AFDX 网络协议研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (12): 3137-3142.