

一种机载同构型双余度通道总线通信方法研究

王晓航¹ 罗德杰¹ 宋 丫¹

WANG Xiaohang LUO Dejie SONG Ya

摘要

余度通道控制管理技术是非常重要的设计方法,可以提高数据采集的控制与管理水平,在机载产品应用领域发挥非常重要的作用。同构型余度控制管理涉及到同构型设计下两个通道的数据交互,首先通过对双余度通信模式下,双通道总线不同的故障模式分析,实现机载双余度通道产品的总线通信设计,然后阐述了与上位机的数据交互流程,从数据流及通道故障切换角度对双余度通道切换方法进行了说明。

关键词

同构型; CCDL; 双余度; 总线通信

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.01.032

0 引言

各行各业的产品在设计要求上不尽相同,机载电子产品在机载电子系统中的应用有更高的要求,普通的单余度产品设计在安全性及可靠性等方面有不足之处。受到时间、空间、震动以及可能的外部恶劣环境影响,一些产品需要更高可靠性、更具安全性的系统以保障产品在系统长期复杂环境下的综合稳定性。面对以上问题,可以在产品设计上进行改进。双余度产品设计比单余度设计具有更高的可靠性及安全性,在以上几个方面更具有优势。

同构型双余度模型设计不仅具有双余度模型设计的安全性、可靠性等优点,同时也增加了系统容错能力^[1],可以实现系统故障重构功能,降低了产品设计的复杂度。CCDL交叉通道链路数据传输是双通道之间数据传输的有效手段^[2]。通过内部交叉传输通道进行数据交互,不仅可以实现机载产品的高性能内部数据共享,也可以对产品及系统内部的管控

逻辑、系统数据集成等能力进行提升。

1 同构型结构模型设计

1.1 余度技术

余度技术是同构型结构模型设计的基础,在硬件设计层面,通过使用完全相同的元器件、电路设计、模块设计以及结构设计,同一台产品实现双通道的硬件相同。除了设计层面的相似设计,在实际应用中,也应结合产品研制过程中的重量、体积、安装位置等要素,建立同构型架构,建设余度通道模型系统。

软件设计层面,可通过通道信号,对同一台产品的通道进行区分,以保证同一软件状态下,基于同构型双余度硬件产品在使用时的一致性。软件的余度处理一般分为冗余并列型或备份转换型^[3]。冗余并列型产品的余度管理技术指的是,在产品运行过程中,冗余的架构同时并行开展计算及数据处理工作,各自并行工作时相对独立,不会受到冗余通道的数据干扰,数据实时性较高。备份转换型产品在工作时

1. 航空工业西安航空计算技术研究所 陕西西安 710065

[5] 韩旭,章康宁,郑海祥.超声换能器的“电感-变压器”阻抗匹配模型研究[J].声学技术,2015,34(4):380-384.

[6] 汪明,姚成章.一种超声换能器阻抗匹配的研究[J].电声技术,2015,39(12):46-48.

[7] 徐晓伟.压电超声换能器的阻抗匹配分析[J].压电与声光,2014,36(5):745-747.

[8] 谈聪,董添奇.基于超声流量计的动态阻抗匹配系统设计[J].信息技术与信息化,2023(1):54-57.

[9] 孟恩林,刘桐,李丽华.基于匹配圆的一种 Smith 圆图

分区算法[J].计算机与数字工程,2018,46(10):1962-1965+2093.

[10] 马淑欣,杨璐霞,韩丙辰,等.水声信号处理中的高阶有源带通滤波电路设计[J].湖北大学学报(自然科学版),2023,45(4):593-599.

【作者简介】

孙文凯(1999—),男,湖北随州人,硕士研究生,研究方向:信号检测与控制。

(收稿日期:2023-08-03)

只有一个通道或系统正常工作，另外一个通道作为备份，不进行实时工作，当主通道发生故障时，备份通道根据设计要求，进行主备切换，接管主通道工作。主备切换中的备用通道又分为冷备份和热备份两种不同的方式，在双余度系统设计中，备用通道只能为冷备份或热备份其中的一种，在三余度、四余度等更高级别的余度管理设计中，更可以选择冷备份加热备份的模式进行多余度管理。

1.2 同构型双余度设计

同构型双余度的余度模型方案，每个设备内包含两个同构型的独立通道，可以根据产品实际的功能设计，结合运行环境选择采用哪种余度运行处理模式。在 IO 层面主控及副控通道各包含了独立的输入接口、输出接口，满足产品设计所要求的一般性功能，对产品外部的信号进行采集、输出。通过数据采集，多片数据采集处理器之间的数据传输通过并行或串行的方式，可以实现数据的快速传输^[4]，满足产品使用的一般或高性能要求。

当采用备份转换型处理模式运行时，同构型的两个通道一个为主控，另一个为副控。正常工作模式中仅主控通道运行，若采用的是冷备份模式，则此时仅主控通道通电工作，备份通道仍处于离线状态，全部工作由主控通道完成，当发生故障时，再启动备份通道，由备份通道继续工作。若采用的是热备份模式，则此时双通道均正常运行，仅当主控通道与上位机通信时，备用通道处于单独工作模式，不参与和上位机的数据交互，备用通道产生的数据信息对主控通道没有影响，当主控通道故障时，备份通道可直接进行接管，此时备份通道转换为主控通道，提高数据有效性。

当采用冗余并列型处理模式运行时，产品双通道均正常工作，双通道所产生的数据通过 CCDL 交叉传输总线进行互传，双通道软件内部根据余度策略完成数据处理，处理结果均通过总线上传至上位机，上位机根据自身的余度策略进行更进一步的数据处理。

因此，同构型双余度模型产品的余度方案采用冗余并列型处理模式更为有效，可以充分发挥同构型设计在双余度控制管理设计中的优势，完成检测机载计算机系统的故障，并隔离故障部件等余度管理的基础功能^[5]。完整模型方案如图 1 所示。余度模型方案一般从硬件层面或硬件加软件结合的方式设计，对产品故障信号进行判断及处理，进行余度通道进行冷备份启动或热备份的切换。软件层面在余度模型的功能之上，可以根据余度方案数据的特性，对数据进行汇总处理，最后通过总线通信模块，实现与其他产品的协议通信。软件内包含余度切换功能的功能模块分解如图 2 所示。

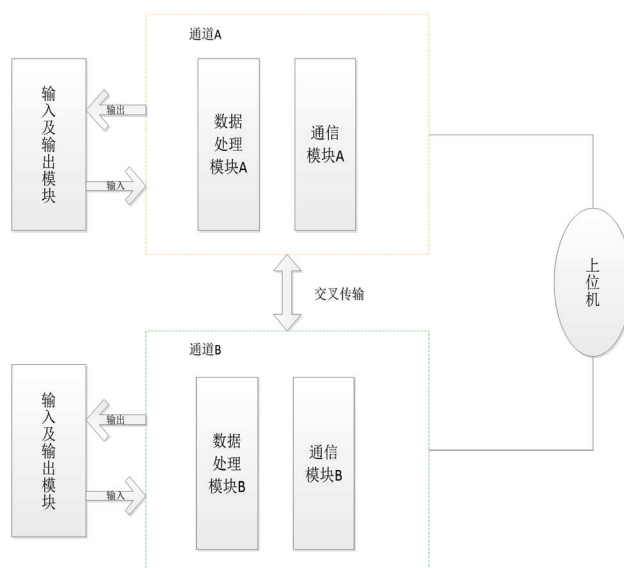


图 1 同构型双余度模型设计方案

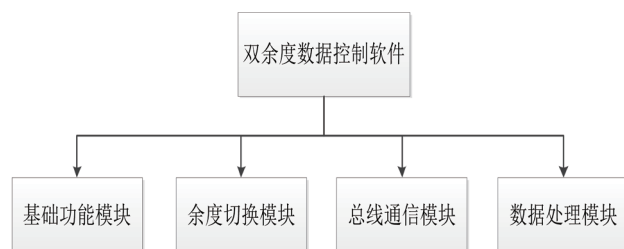


图 2 软件功能模块说明

同构型双余度模型设计方案中除了满足功能设计要求必备的模块设计，还有一个核心要素为同构型双余度间的 CCDL 交叉传输设计。A、B 通道为同构型设计，但在实际应用中，即使同构型设计的产品接收的总线数据也不一定完全对称。基于此，为使双余度产品双通道获得所有数据，实现余度控制，需要将总线数据、余度综合后的数据进行交叉传输。CCDL 交叉传输通过总线完成，因为该传输只是两个通道之间的数据交互，不涉及复杂的拓扑结构。机载产品设计对运行过程中数据的实时性以及稳定性有较高的要求，可以选择拓扑简单、准确率高、速率快的通信总线进行 CCDL 设计^[6]。

2 总线通信

2.1 总线通信介绍

随着微电子技术、数字技术、大容量数据、高速通信的广泛应用，航空航天电子设备也正在向小型化、综合化、系统化、智能化发展^[7]。应用最为广泛的总线技术有 CAN 总线、ARINC429 总线、RS422A 总线、1553B 总线以及 1394B 总线等。每种总线技术都有其各自的优点及缺点，在实际应用中需要对各种通信总线的优缺点进行合理分析、充分利用，发挥出通信总线的实用优势。机载产品在使用总线通信进行

产品设计时，需要对设计要求、设计规范等进行详细的考量。在满足设计要求的同时，对总线速率、拓扑结构设计复杂度、稳定性、安全性及冗余性等方面进行对比。

本文同构型双余度模型的总线通信设计中，产品与外部上位机具有总线通信能力，应选取具有拓扑能力、减少各产品设备之间的连线总量、可对需要通信的各级产品形成分布式排布的数据总线进行设计^[8]，如1553B总线、1394B总线等。产品内部双通道间CCDL交叉传输也由总线通信完成，与外部上位机通信总线的要求不同，应考虑协议简单、构建方便的数据总线进行设计^[9]，如CAN总线、RS422A总线等。

2.2 总线通信模式设计

同构型双余度模型设计的余度思想不仅体现在产品设计上，在进行总线数据通信模式设计时也应充分发挥其优势。其工作模式应分为正常工作模式以及故障模式等。正常工作模式为当双通道正常工作时，双通道接收各自通道的总线数据，采集双通道的离散量、模拟量等输入接口信号，并通过交叉传输将总线数据及状态信息传送至对方通道，双通道对数据进行综合，根据综合后的数据进行总线和硬线输出。

故障模式1，当一个通道与上位机的上行通信总线出现故障。以A通道为例，产品中的A通道与上位机通信的上行总线出现故障，如图3所示。此时A通道的输入信号在数据处理模块进行数据处理后，无法通过自身通道的通信总线上传至上位机，但上位机向产品发送的指令仍然可以通过总线传达至A通道，因此A通道仍然可以进行输出数据处理。A通道将输入数据、输出数据均处理完毕后，再通过CCDL交叉传输，将处理后的数据发送至对方通道，由B通道将A通道处理过后的数据通过总线上传至上位机，完成产品的完整功能。

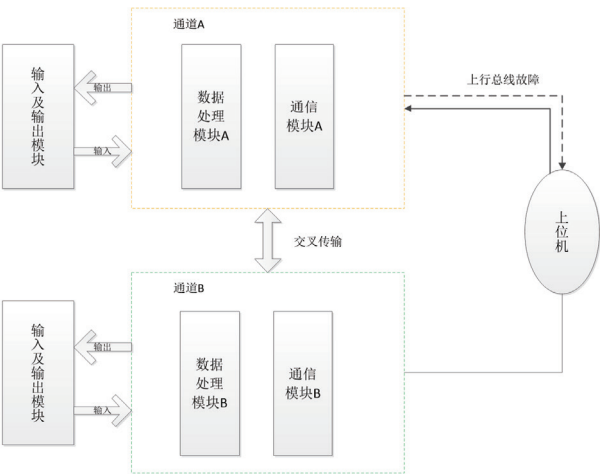


图3 故障模式1处理示意图

故障模式2，当一个通道与上位机的下行通信总线出现故障。以A通道为例，产品中的A通道与上位机通信的上行

总线出现故障，如图4所示。此时A通道无法接收来自上位机的控制指令，总线的通断状态为下行数据流中断，产品可以通过总线将数据上传至上位机，但上位机下发的指令及关键数据无法传达至产品。为了保证输出信号数据的正常处理，通过CCDL交叉传输，获取上位机发送至B通道的指令信号，对输出信号数据进行处理后正常输出。输入信号数据在自身通道处理完毕后，共同通过A通道完好的上行总线，将数据发送至上位机，完成产品的完整功能。

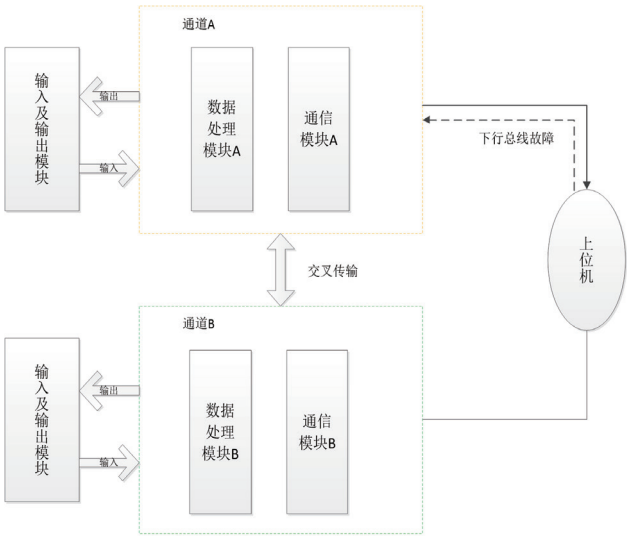


图4 故障模式2处理示意图

故障模式3，当一个通道的总线通信模块出现故障。以A通道为例，A通道中的总线通信模块故障，因总线通信数据流的正常运行需要总线通信模块进行物理层的运行支撑，当总线通信模块故障时，该通道的总线通信也随之中断，如图5所示。

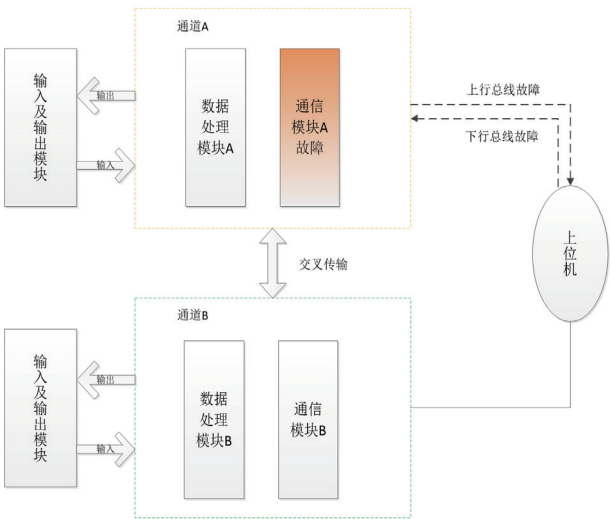


图5 故障模式3处理示意图

图5中A通道的总线通信模块故障，此时A通道的上行、下行数据通信能力完全丧失。A通道通过CCDL交叉传输信

号通知对方通道,此时B通道获取到A通道的故障信号,进行总线数据选择,将接收到的上位机指令通过CCDL交叉传输发送至A通道。A通道通过从B通道获取的上位机指令完成输出信号的数据处理。A通道本身的输入数据,在A通道的数据处理模块完成处理步骤后,通过CCDL交叉传输到B通道,B通道获取到双通道的全部数据后,结合通道故障信号,将A通道信息及B通道自身的数据信息,共同上传至上位机,完成产品的完整功能。

机载系统及产品设计中,对于冗余度控制管理及数据的冗余安全性等有较高的要求。基于同构型双冗余度模型设计的机载产品结合总线的冗余策略、故障模式切换等功能应用,可以很好地在机载产品中同构型双冗余度模型理念的优势发挥出来。

3 容错和影响性分析

同构型双冗余度模型设计通过总线实现CCDL交叉传输机制,对采集数据、总线数据等进行交叉传输,通过设置双层次的同构型双冗余度数据通道切换方法,在通道中通信数据处理模块发生故障时,使双冗余度的两个通道均可以在故障出现时做出合理处置。通信数据模块的故障处置方法可以保障产品运行时状态,使产品保持功能性的完整,同时也不影响运行效率以及性能^[10]。

从故障角度来看,一般产品的故障可以分为瞬时故障、永久故障。瞬时故障发生的时间为一瞬间,可以在短时间内迅速恢复。永久故障则是当前运行状态下不可恢复的硬件条件故障。瞬时故障的扰动可能为产品运行时外部的扰动等因素引起,同构型双冗余度模型设计条件下的总线传输机制,可以对瞬时故障进行数据表决,根据瞬时故障发生前后上下文的数据状态,将瞬时故障进行一定规模的屏蔽,提高产品数据稳定性。对于永久故障,同构型双冗余度模型设计也保障了在一路模块或总线出现不可恢复的永久故障时,确保产品可以在正常状态下继续运行,为安全提供支撑。

除了对采集数据进行CCDL交叉传输,同构型的冗余度设计也可以将上位机下发的总线数据进行交叉传输,在故障模式中使总线中包含的指令数据等信息可以有效执行。在数据的上行层面、下行层面对数据的完整性进行了综合统筹,双通道协同动作,提升了产品运行时数据的可靠性、完整性,加强了产品本身的容错能力和安全性。双冗余度设计的使用,通过提高产品在实际控制中的可靠及安全性应用,保证了产品所在的分系统、主系统的数据冗余度,同时也保证了产品数据、系统数据的连续性和实时性。

4 结语

本文在基于同构型双冗余度模型设计的基础上,描述了冗余度技术在同构型双冗余度模型上的应用,阐述了不同冗余度技术的优缺点及同构型模型的适应性。同时对产品运行时可能出现的多种故障模式进行了分析,通过描述双冗余度通道总线通信切换方法,对该切换策略下的故障容错模式、数据资源管理等方面进行了说明。该切换策略可以提升产品容错机制,完善产品数据容错重构功能,有效提升产品运行时的稳定性。在未来设计及实际应用场景中,可以根据同构型双冗余度模型设计的总线通信切换方法,对产品所在分系统、大系统的数据及功能设计进行冗余设计,加强产品的数据冗余及产品可靠性。

参考文献:

- [1] 王寅,刘宵辰,宋丫.基于同构型热备份的机载供电系统处理机设计[J].信息通信,2017,177(9):83-84.
- [2] 刘明,朱守园,王婷.一种双冗余交叉通道链路的设计与实现[J].航空计算技术,2019,49(1):106-111.
- [3] 李晓君,郝玉锴.非相似双冗余度机载告警计算机系统设计及实现[J].电光与控制,2017,24(2):60-63.
- [4] 李晋华,白鹏,卢光献.一种高速串行的FPGA间数据传输方法[J].电子设计工程,2019,27(6):147-151.
- [5] 王军强,朱章华.多冗余度机载计算机的冗余管理[J].弹箭与制导学报,2007,27(8):197-199.
- [6] 周江春,韩华,屈卫东.基于双CAN总线的船用动力装置监测系统[J].柴油机,2004(5):13-15+31.
- [7] 禄计划.机载总线技术发展研究[J].电子测试,2017(7):72-73.
- [8] 杨建新,刁平.机载双冗余1553B总线传输线路检测系统的设计与实现[J].计算机测量与控制,2008,16(11):1525-1527.
- [9] 邢达波,艾波.机载RS422总线采集技术应用研究[J].中国科技信息,2016(21):73-74.
- [10] 闫稳.机载供电系统双冗余度控制器的容错控制[J].航空计算技术,2010,40(4):86-88.

【作者简介】

王晓航(1993—),男,陕西咸阳人,硕士研究生,工程师,研究方向:机载机电系统管理及软件设计。

(收稿日期:2023-09-06)