

一种改进 AS5643 节点传输效率和容错性的方法研究

楼晓强,田 泽,蔡叶芳

(中航工业西安计算技术研究所,陕西 西安 710068)

摘 要:1394B 作为成熟的商用总线,具有传输速率高、传输距离远、传输介质丰富等特点,并支持物理闭环拓扑,具有一定的冗余可靠性。SAE AS5643 在 1394B 总线的基础上,从实时性和确定性的角度出发,对 1394B 总线应用进行了一系列的扩展和约束,使 1394B 总线能够满足航空等领域的应用要求,但 AS5643 未能对传输效率和容错性进行详细的规定。文中研究和分析了 AS5643 标准定义的数据结构和传输特性,结合 1394B 总线协议的相关规定,提出了改进总线传输效率和容错性的措施。最后,利用 FPGA 逻辑和 Link/PHY 芯片实现了 AS5643 定义的 CC/RN 功能节点。经测试表明,文中提出的改进措施能够有效提高 CC/RN 功能节点的传输效率和容错性。

关键词:1394B; AS5643; 确定性; CC/RN 功能节点

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)03-0054-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.03.013

Research on an Improved Method of Transmission Efficiency and Fault Tolerance of SAE AS5643

LOU Xiao-qiang, TIAN Ze, CAI Ye-fang

(Aeronautics Computing Technique Research Institute, Xi'an 710068, China)

Abstract: As a commercial bus, 1394B has the advantage of high speed, long transmission distance and abundant transmission medium. 1394B also supports physical loop-connection detection, so it has a certain redundant reliability. SAE AS5643 imposes a series of constraints on 1394B considering real-time and determinism, to meet requirements of aerospace application. But transmission efficiency and fault tolerance are not discussed in detail. In this paper, research the analyze the data structure and transmission characteristics defined by AS5643, then bring forward measures to improve transmission efficiency and fault tolerance combined with the rules of 1394B. Finally, the implementation of CC/RN functional node with FPGA and Link/PHY chips is done. Tests show that these measures can improve transmission efficiency and fault tolerance of CC/RN.

Key words: 1394B; AS5643; determinism; CC/RN functional node

0 引 言

IEEE1394 又被称作“火线”,是 1986 年由美国 Apple 公司进行起草,并于 1994 年提出的高速串行总线标准。IEEE1394-1995 规范^[1]是 1394 总线最初的规范,定义了 1394 的总线结构、数据传输协议和传输媒介,其后不久推出了修正的 IEEE 1394a-2000 标准,补充了原先 IEEE1394-1995 标准中的不足^[2],增强了产品的兼容性,同时规定了增强性能的措施,并且对电源管理特性做了较大的改进。2001 年推出了 IEEE-1394B 规范^[3-5],它在 IEEE1394-1995 和 1394a-2000

的基础上,进行了大量改进和创新,引入了新的物理层连接方式和传输介质,大大提高了传输速率和传输距离,同时允许物理闭环拓扑的出现,增加了 1394 总线的冗余可靠性^[6]。IEEE1394-1995 和 1394a-2000 支持 100 Mb/s、200 Mb/s 和 400 Mb/s 的传输速率,而 1394B 支持的传输速率为 800 Mb/s ~ 1.6 Gb/s,使用塑料光纤时能提高到 3.2 Gb/s。

为了使 1394B 总线更加满足航空应用的可靠性和确定性,美国 SAE 组织提出了 1394B 总线的军用航空标准—SAE AS5643^[7-9]。SAE AS5643 在 1394B 总

收稿日期:2014-05-14

修回日期:2014-08-15

网络出版时间:2015-01-25

基金项目:国家“十二五”微电子预研项目(51308010601)

作者简介:楼晓强(1983-),男,硕士,研究方向为集成电路设计;田 泽,博士,研究员,研究方向为 SoC 设计、嵌入式系统设计、VLSI 设计。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150126.0924.001.html>

线协议的基础上,对 1394B 总线的应用做出了扩展和约束,引入了匿名消息、垂直奇偶校验、STOF 消息等内容,可利用现有的商用 PHY/LINK 芯片实现相应的功能。

文中详细分析了 AS5643 对 1394B 总线做出的扩展和约束,针对 AS5643 未能详细规定的数据传输效率、总线初始化效率和容错性,提出了相应的改进措施,并利用 FPGA 实现验证了改进措施的正确性和有效性。

1 AS5643 标准分析

AS5643 在 IEEE1394B 协议的基础上,对其做了适当的扩展和约束,使其更加能够满足航空应用的可靠性和确定性要求,具体反映在以下几个方面。

1.1 物理连接方式的选择

1394 定义的物理层连接方式有两种:1394-1995 和 1394a-2000 定义的 DS 连接方式,以及 1394B 定义的 Beta 连接方式。AS5643 选择的是 Beta 连接方式,其相比于 DS 连接方式具有如下优势:

(1)DS 连接方式支持 100 ~ 400 Mb/s 的速度,而 Beta 连接方式支持 100 ~ 3 200 Mb/s 的速度,具有更高的传输带宽;

(2)DS 连接方式仅可使用电缆作为传输介质,而 Beta 连接方式可使用光纤作为传输介质,传输介质丰富,并具有更远的传输距离;

(3)Beta 连接方式允许环拓扑结构的形成,具有比 DS 方式更高的冗余可靠性。典型的环拓扑总线结构应用如图 1 所示。

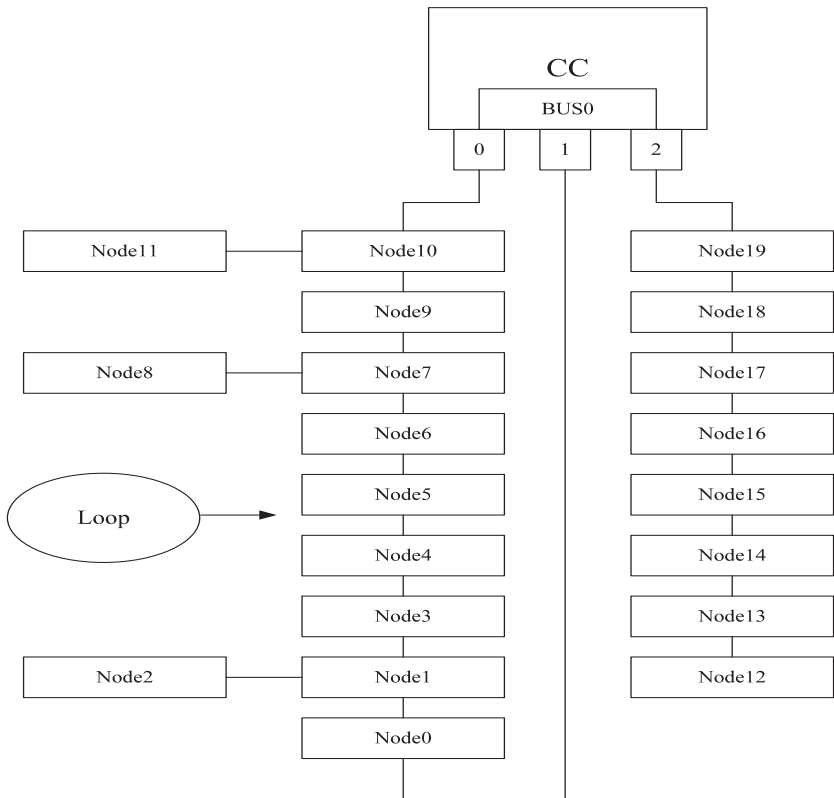


图 1 典型的环拓扑总线结构应用

1.2 数据包类型的选择

1394 协议中定义的数据包类型包括异步包、等时包和异步流包。

异步包是在异步周期内发起的数据包,适用于读写访问、命令控制,具有突发性。异步包以 1394 总线上每个节点的节点 ID 作为寻址目标,并要求目标节点在接收到后发送一个确认包。

等时包是在等时周期内发起的数据包,适用于音频、视频传输,具有等时性。等时包以通道号作为寻址目标,可进行广播和多播传输,不要求目标节点发送确认包。

异步流包的包格式与等时包一致,利用通道号进行寻址,但不要求目标节点发送确认包,其相比于异步包和等时包具有如下优势:

(1)异步包使用的节点 ID 在每次总线复位后都会发生变化,无法预先确定每个节点的 ID;而使用预先分配的通道号,即使发生总线复位,仍旧能够维持接收节点和通道的匹配;

(2)等时包的使用必须要求根节点发送 Cycle Start 包,一旦没有连续的等时请求,就会进入总线异步周期,从而必须要等待下一个 Cycle Start 包才能再次传输等时数据;而异步流包则不需要,不同节点间的

同步根据 AS5643 定义的 STOF 来进行,而 STOF 本身也属于异步流包。

1.3 同步与偏移的引入

AS5643 使用 STOF 包来进行总线上每个设备之间的同步,STOF 包由 CC 节点周期性的发送,发送周期可配置,例如 125 μs 、1 ms 等等。STOF 包是广播包,总线上每个节点在接收到 STOF 包后开始同步计时,实现了节点之间的同步。

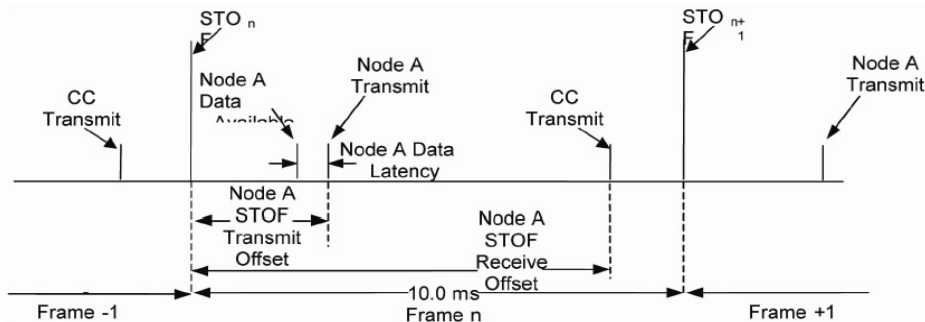


图 2 总线节点的发送接收偏移示意图

1.4 数据完整性的完善

1394 协议本身对数据包的校验包括 1394 头部 CRC 和 1394 数据 CRC。为了增加数据的完整性,AS5643 规定每个包数据包头必须增加纵向奇偶校验 (VPC),作为 CRC 校验之外的一个附加校验。VPC 算法简单,可由软件或硬件实现,提供了消息传输过程中额外的数据完整性保障。

2 针对 AS5643 标准的改进

通过上述的扩展和约束,AS5643 具备了高度的实时性和确定性,但未能在总线传输效率和容错性方面做出详细的规定。文中在满足 AS5643 标准的同时,结合 1394B 总线协议提出以下改进措施,以有效提升总线节点的传输效率和容错性。

2.1 使用优先请求

AS5643 使用的异步流包采用异步仲裁,可采用公平或优先请求实现。对于公平仲裁来说,每个节点在一个公平间隔内只允许发送一个异步流包,如果一个节点要连续发送数据包,那么必须经历一个仲裁复位间隔的时间。

当一个节点的发送偏移时间到达时,如果节点需要发送多个数据包,那么节点每发送一个数据包的时间为: $T = T_p + T_{arb}$ 。

其中, T_p 表示一个数据包在特定速度下进行发送需要的时间,与端口速度和数据包长度相关,例如在 100 Mb/s 发送一个 512 字节的数据包的 T_p 时间约为 40.96 μs ;而 T_{arb} 表示节点连续仲裁需要经历的仲裁复位间隔时间,其值为:

AS5643 为每个节点都预先分配发送偏移时间和接收偏移时间,偏移时间的计算是相对于每个 STOF 包而言的。每个节点必须按照自身的发送偏移时间开始发送,避免了 1394 总线节点的数据传输冲突;并且节点对接收到的数据包进行接收偏移时间检查,从而保证了总线的确定性。总线上节点的发送接收偏移示意图如图 2 所示。

$$((52 + 32 * \text{gap_count}) / \text{BASE_RATE}) + (4 * \text{gap_count} / \text{BASE_RATE})$$

其中, gap_count 默认值为 63, 1394 总线上每个节点的 gap_count 值必须保持一致; BASE_RATE 表示 1394 总线的基础速率,即 100 Mb/s。因此在 gap_count 取值 63 的时候, T_{arb} 时间为 23.2 μs 。

1394 协议定义了优先请求,允许节点在一个公平间隔内发起多次优先请求。如果采用优先请求来发送异步流包,那么节点连续发送数据包时,每发送一个数据包的时间为: $T = T_p + T_{sub}$ 。 T_{sub} 的取值为:

$$((28 + 16 * \text{gap_count}) / \text{BASE_RATE}) + (4 * \text{gap_count} / \text{BASE_RATE})$$

在 gap_count 取值 63 的时候, T_{sub} 时间为 12.88 μs ,比采用公平请求减少约 10 μs 的时间。如果每个节点连续发送 10 个数据包,那么可以减少 $(10 - 1) * 10 \mu\text{s}$,即每个节点约减少 90 μs 的时间,能够有效提高总线使用效率,从而增加节点的发送数据量。

2.2 取消速度协商

1394B 总线支持 100 ~ 3 200 Mb/s 的传输速率,当两个节点进行连接时,端口之间需要进行速度协商,将两者支持的最大速率中的较小值作为最终的端口连接速率。

速度协商是一个握手的过程,每个节点发送 speed tone 来表示自身支持的最大速率;在完成握手后,再次发送 speed tone 来表示速度协商完成。speed tone 的定义如图 3 所示。

在最好的情况下,两个最大速率相同的节点同时向对方发送 speed tone,此时完成速度协商的时间为

42.67 ms * 2, 为 85.34 ms。

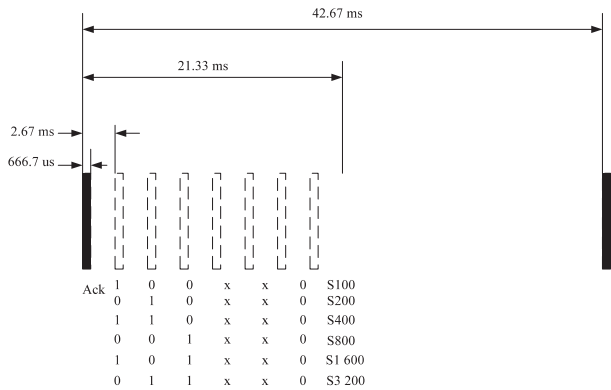


图3 speed tone 的定义图

对军用航空总线来说,它是一个比较确定的应用环境,在总线上所有节点具有相同最大速率的情况下,取消速度协商可以有效地减少总线初始化时间。对于商用的 PHY 芯片来说,无法取消速度协商的功能,但可以通过统一化总线中所有节点支持的最大速度,来减少速度协商的时间。

2.3 检查发送结束偏移

AS5643 为每个节点定义了发送偏移时间,当发送偏移时间到达时,节点开始发送自身的数据包。

如果节点发生故障,导致自身的发送一直未能完成时,会影响到其他节点的发送。为保证总线的确定性,可采用以下方法:

(1)为每一个发送的数据包定义一个发送偏移时间,例如第 N 个包的偏移时间为 $T_{offset} + (N-1) * (T_{arb} + T_{maxp})$ 。

其中, T_{offset} 为 AS5643 定义的发送偏移时间,而 T_{maxp} 为发送最大数据包时需要的时间;一旦第 N 个包超过它的偏移时间,则不允许发送;

(2)为每个节点定义一个发送结束时间 T_{end} ,每当节点发送一个数据包时,都检查是否超过 T_{end} ,如果超过,则不允许发送。

3 功能实现

在对 AS5643 研究和分析的基础上,采用 Xilinx 公司的 FPGA 实现 AS5643 定义的功能,而 Link 和 PHY 功能则采用 Ti 公司的 Link/PHY^[10] 芯片实现,从而实现了 AS5643 定义的 CC/RN 功能节点^[11-14],并在实现时加入上述三个改进。整体实现结构如图 4 所示。

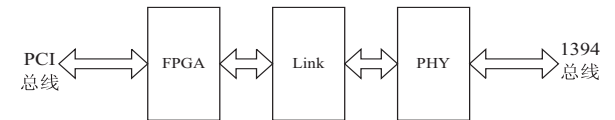


图4 CC/RN 功能节点实现

经测试表明,在采用优先请求后,当一个节点连续

发送消息时,每两个消息之间的间隔比之前减少了约 10 μs;而在引入发送结束时间检查后,总线上也不会出现超时发送的消息。因此,文中提出的改进措施能够提高 CC/RN 功能节点的效率和容错性。

4 结束语

SAE AS5643 对 1394B 总线做出了有意义的扩展和约束,使其能够满足军用航空的可靠性和确定性要求。文中针对 AS5643 应用的效率和容错性提出了改进措施,能够有效提高 CC/RN 功能节点的效率和容错性。

参考文献:

[1] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard for a high performance serial bus[S]. 1995.

[2] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard for a high performance serial bus – amendment 1 [S]. 2001.

[3] Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE standard for a high performance serial bus–amendment 2[S]. 2002

[4] Bai HaoWei. Analysis of a SAE AS5643 Mil–1394B based high–speed avionics network architecture for space and defense application[M]. [s. l.]:[s. n.],2005.

[5] 李世平,戴凡,汪旭东. IEEE–1394 (Fire Wire) 系统原理与应用技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.

[6] 万月亮,段大高,史洁琴,等. 航天电子系统 IEEE1394 总线可靠性模型研究[J]. 计算机工程与设计,2012,33(8): 2943–2946.

[7] Society of Automotive Engineers. IEEE1394B interface requirements for military and aerospace vehicle applications [S]. SAE Aerospace Standard 5643,2004.

[8] Society of Automotive Engineers. Frequentlyasked questions about IEEE – 1394B and SAE AS5643 [S]. SAE Aerospace Standard 5708,2004.

[9] 张喜民,徐 昇. 先进战斗机的综合飞行器管理系统综述[J]. 电光与控制,2011,18(11):1–6.

[10] IEEE 1394b three–port cable transceiver/arbitrator[M]. Texas: Texas Instruments,2006:8–13.

[11] 田 泽,李 娜,程国建. 飞行控制系统中 Mil–1394b 仿真节点实现[J]. 电脑知识与技术:学术交流,2011,7(5): 3120–3121.

[12] 张大朴,王 晓,张大为,等. IEEE 1394 协议及接口设计 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.

[13] 马 宁,王宣明,郑 斐. 飞机管理系统 1394 总线 AS5643 协议的设计与实现[J]. 航空计算技术,2013,43(6):122–124.

[14] 昶旭曦,寻建晖. 基于 FPGA 和 DSP 的 1394b 双向数据传输系统[J]. 物联网技术,2012,2(3):59–62.

一种改进AS5643节点传输效率和容错性的方法研究

作者：[楼晓强](#)，[田泽](#)，[蔡叶芳](#)，[LOU Xiao-qiang](#)，[TIAN Ze](#)，[CAI Ye-fang](#)

作者单位：[中航工业西安计算技术研究所, 陕西 西安, 710068](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015(3)

引用本文格式：[楼晓强](#). [田泽](#). [蔡叶芳](#). [LOU Xiao-qiang](#). [TIAN Ze](#). [CAI Ye-fang](#) 一种改进AS5643节点传输效率和容错性的方法研究[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(3)