

SpaceWire 路由器动态加权轮询仲裁器的设计与实现

李硕佳,王剑峰,王竹平

(西安微电子技术研究所,陕西 西安 710054)

摘 要: 研究了 SpaceWire 路由器中使用的仲裁机制,提出了一种动态加权轮询仲裁算法,并且依据这一算法设计了仲裁器模块.动态加权轮询仲裁算法是基于优先级算法和轮询算法混合的仲裁策略,它的特点是避免了优先级算法中,高优先级的端口在提出数据转发请求后独占输出端口的情况,同时也解决了轮询算法中各个端口获取服务的权重过于平均的问题,路由器可以根据与之连接的不同有效载荷的性能要求,分配基础权重,具有较高实时性要求的有效载荷能及时转发数据,降低延迟时间.最后介绍了仲裁器模块的设计与实现.

关键词: SpaceWire 路由器;动态加权;轮询;仲裁器

中图分类号: TN919

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)11-0124-04

The Design and Implementation of Dynamic Weighted Round-Robin Arbiter in SpaceWire Router

LI Shuo-jia, WANG Jian-feng, WANG Zhu-ping

(Xi'an Microelectronics Technology Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: This paper investigates arbitration algorithms of SpaceWire router, offers an dynamic weighted round-robin arbitration algorithm, the writer of this paper designs arbiter module according to the algorithm. It is based on priority and round-robin algorithms. The characteristics of the new algorithm is to avoid high-priority router ports will dominate the output port in the priority algorithm, and to resolve the problem that priority coefficients are excessively average. The new algorithm make router could admeasure priority coefficients according to the performance requirement of payloads, so the high real-time payloads can transmit data in time and reduce delay-time. The paper explains the design and implementation of arbiter module as the end.

Key words: SpaceWire router; dynamic weighted; round-robin; arbiter

1 引言

SpaceWire 是一种高速、点对点、全双工的串行网络总线,这项技术是 ESA(欧洲太空局)为解决高速数据传输问题而提出的,SpaceWire 技术容错能力较强,具有很好的灵活性与可靠性.路由器是 SpaceWire 网络总线的重要组成部分,它能够将多个节点连接在一起,每个节点连接一个有效载荷,路由器从某一个节点接收数据包,根据包头中的目的地转发到其他节点.

SpaceWire 路由器采用的是“虫洞路由”算法,当多个接收端口向同一个发送端口提出转发请求时,

需要发送端口提供仲裁机制以决定响应请求的顺序.协议 ECSS-E-50-12A 中提出了 3 种可供选择的仲裁方式:优先级仲裁算法、轮询仲裁算法、随机仲裁算法^[1].基于优先级的仲裁虽然能够保证高优先级端口及时获得数据转发服务,但是极易导致低优先级端口很长时间得不到响应.而轮询仲裁和随机仲裁虽然能够使得各个端口获得公平的数据转发权利,但是由于 SpaceWire 网络总线上有效载荷对实时性要求不尽相同,公平转发权没有考虑到这一点,造成某些高实时性的设备无法及时转发数据^[2].因此在设计实现 SpaceWire 路由器的过程中,就需要一种兼顾公平性和优先级的仲裁算法来满足各种有

效载荷对数据转发的要求.因此本文提出了一种动态加权轮询仲裁算法,并且通过硬件描述语言加以设计和实现.

2 SpaceWire 路由器仲裁机制

2.1 虫洞路由

SpaceWire 路由器采用了“虫洞路由”算法^[1].这种路由算法是一种特殊的数据包路由形式.进入路由器的每个数据包都包含一个包头、一个或多个数据 Cargo 以及一个包结束标志(EOP 或者 EEP),如图 1 所示.包头中保存着目标地址,当路由器接收到数据包时,通过检查包头中的目标地址,决定把该数据包转发到哪个输出端口^[3].如果这个输出端口是空闲的,路由器就建立一条从输入端口到输出端口的链接,数据包沿该链接从输入端口转发到输出端口,并且这个发送端口都被置为忙状态.如果这个端口为忙状态,那么接收到数据包的端口将停止接收数据包,直到所请求的输出端口变为空闲状态并且为其提供服务.如果路由器启动了“组适应”功能,在一个转发端口被占用的情况下,可以通过其它“组适应端口”进行转发,以尽可能减少等待时间.

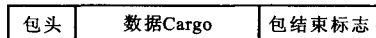


图 1 数据包结构图

如果在某一时刻,某一输出端口接收到多个端口提出的转发数据包请求,则需要通过仲裁机制决定为哪一个端口提供服务,没有获得服务的端口则继续等待.

2.2 SpaceWire 路由器仲裁算法研究

在本设计实现的路由器中每个 SpaceWire 链接接口都连接了一个“读逻辑模块”和一个“写逻辑模块”,读逻辑接收到数据包后,根据包头判断需要将其转发到哪个端口,写逻辑接收到转发来的数据包,并将数据包发送到 SpaceWire 链接接口上,读写逻辑相互配合实现对数据的转发,其中写逻辑模块的重要组成部分就是仲裁器^[4].

基于优先级的仲裁算法为每个提出请求的端口分配固定优先级,当写逻辑模块接到转发请求时,首先响应优先级高的端口.这种算法虽然保证了重要数据能优先通过路由器,但是由于优先级是固定的,所以很容易导致某一输出端口被独占,这样会使一些优先权低的设备长期得不到端口的响应无法转发数据.为了避免上述独占的现象,可以改用轮询仲裁算法代替优先级仲裁算法.所谓轮询仲裁算法是指

每次仲裁选择端口执行 $I = (i + 1) \bmod n$,其中 i 是上一次提供响应的端口号, n 是总的端口数量, I 是经过仲裁响应的端口号^[5].虽然轮询仲裁算法可以避免某一个输入端口长时间独占写逻辑.但是,在轮询仲裁算法中,每个端口获得响应的机会过于平均^[6],使得一些端口连接的有效载荷的高实时性需求得不到满足.因此,结合优先级算法和轮询算法,可以提出更有效的混合仲裁机制——动态加权轮询仲裁算法.

3 动态加权轮询仲裁算法

动态加权轮询的仲裁算法其思想如下:为每个端口动态的分配优先级,在仲裁时将端口按照优先级分组,优先级相同的分在同一组,如果写逻辑处于空闲状态则首先为优先级较高的组提供服务,同一组内因为拥有相同的优先级,所以要按照轮询的原则进行仲裁.由此可以看出动态加权轮询仲裁算法实际上是两种算法的结合,在组与组之间使用的是优先级仲裁,在组内部根据轮询算法进行仲裁,其算法的核心是动态的分配权重,而不是固定优先级.SpaceWire 写逻辑模块中的“控制模块”负责完成动态分配权重的功能,它依据的分配原则如下:

(1) 路由器初始化时,由用户根据每个 SpaceWire 端口所连接的设备的实时性和重要性,赋给每个端口优先级权重,这个称为基础权重,且规定基础权重必须大于 1.

(2) 一个端口每获得一次服务响应,则将其权重数值减 1.

(3) 如果一个数据转发请求具有组适应地址,但是主要转发地址和组适应地址所指向的输出端口都处于忙状态,此时这个请求则等待某一个输出端口变为空闲,与此同时将这个请求的权重值加 1.

(4) 当所有端口的权重减小为 0 时,则进入下一轮循环.

(5) 进入新一轮循环后,每个端口都恢复基础权重.

由以上的规则可以得出如下结论:设每个端口获得的基础权重为 $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 \cdots R_n$ 那么基础权重之和为:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

具有组适应地址的请求,由于所有请求的端口都处于忙状态,则必须等待,为避免长时间等待,为它的权重加 1. 设每个端口发生这种现象的次数为

$T_1, T_2, T_3 \cdots T_n$ 那么总次数为:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i$$

设每个端口获得写逻辑提供的服务的概率为 P_i , 则仲裁器完成一个完整的循环后, 即所有端口的权重系数都递减为零, 它们在这一次循环中获得服务的概率为:

$$P_i = \frac{R_i + T_i}{R + T}$$

由上式可以看出端口获得服务的概率与各端口的基础权重和发生“组适应等待”现象的次数有关。并且基础权重越大, 获得服务的概率越大, 又因为 T_i 为正整数所以:

$$\frac{R_i + T_i}{R + (T - T_i) + T_i} > \frac{R_i}{R + (T - T_i)}$$

即:

$$\frac{R_i + T_i}{R + T} > \frac{R_i}{R + (T - T_i)}$$

由以上不等式可以看出: “组适应等待”发生的次数越多获得服务的概率越大。这样用户能够赋予端口较高的优先级, 而且在路由器工作过程中, 某个端口发生“组适应等待”现象之后, 会获得较高的优先级, 可以尽快获得服务^[7]。

动态加权轮询仲裁算法避免了固定优先级仲裁算法中独占写逻辑和轮询仲裁算法中获得服务概率过于平均的现象, 同时, 分配给每个 SpaceWire 端口不同的基础权重, 改善了路由器的性能, 提高了仲裁的灵活性。

4 仲裁器设计与实现

SpaceWire 路由器采用自顶向下的方法进行设计, 仲裁器模块是其中的一个关键组成部分。根据以上提出的动态加权轮询仲裁算法, 仲裁器的设计主要包含两个模块, 一个是仲裁模块, 另一个是仲裁控制模块。本设计针对的是一个八口 SpaceWire 路由器, 权重系数为 3 位, 设计框图如图 2 所示。

仲裁模块根据当前每个端口的权重系数, 对 8 个端口进行分组, 组之间采用优先级仲裁方式, 组内部采用轮询仲裁方式, 从而生成 grant 信号, 表示为哪一个端口提供服务。仲裁控制模块包含在写逻辑的控制模块中, 它主要负责接收并记录用户设置的基础权重, 接收读逻辑发送来的请求信号, 并且将请求信号转发给仲裁模块, 根据“动态加权轮询”仲裁算法中动态分配权重的原则, 产生每个端口的最新

的权重系数, 提供给仲裁模块使用。除此之外, 仲裁控制模块还要包含判断请求是否结束的功能, 只有在完成一个数据包的转发之后才能接收新的请求。

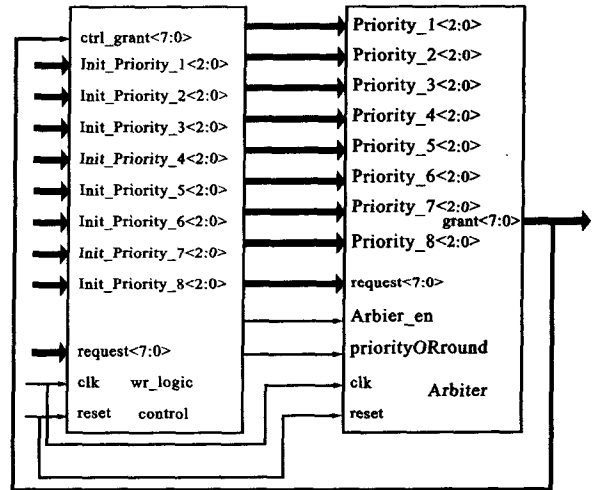


图2 仲裁器设计框图

5 仿真

动态加权轮询仲裁器的设计使用 Verilog HDL 编码实现, 以 ModelSim 6.2b 作为仿真平台, 对仲裁器的设计进行验证。

对权重系数的动态控制是由 wr_logic 中的控制逻辑实现的, 由图 3 可以看出控制逻辑根据每一个端口获得的服务响应次数和请求等待次数对权重系数进行加减操作, 动态地改变权重系数, 然后再经由 Arbiter 模块进行请求仲裁。

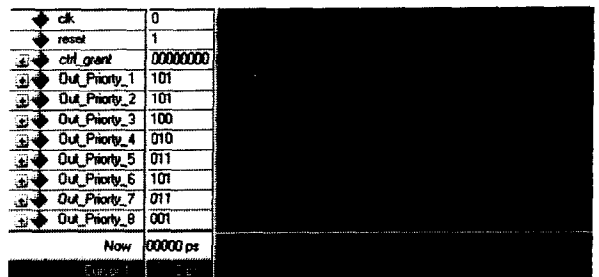


图3 写逻辑模块动态控制权重系数仿真波形

由图 4 可以看到, Arbiter 模块根据路由器中每个端口动态变化的权重系数进行服务响应。优先为权重系数大的端口提供响应, 在权重系数相等的情况下, 根据轮询法的原则进行仲裁。由此可知, 仲裁器模块可以根据权重系数和等待次数这两个标准进行仲裁, 这样既能避免高优先级的端口长期独占某一输出端口, 保证了公平性; 而且能够依据每个端口所连接的有效载荷对实时性的不同要求分配不同的

初始权重系数,并且可以在路由器运行时动态地分配权重,以保证达到所规定的实时性要求.从仿真结果可以看出设计能够正确实现预期功能,达到了SpaceWire 路由器中仲裁器的设计要求.

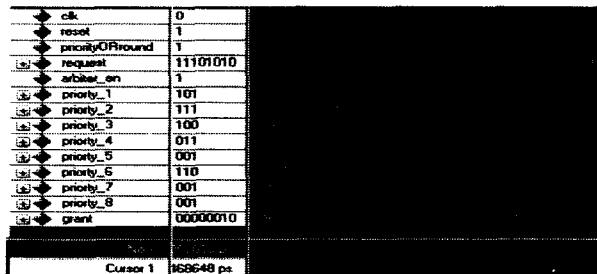


图4 仲裁模块仿真波形

6 结束语

文中提出动态加权轮询仲裁算法的目的在于:用户可以根据网络总线上不同的有效载荷实时性和数据传输量的需求,给路由器端口分配基础权重,以此保证高实时性有效载荷能够优先发送数据;同时避免了高优先级端口独占发送端口的现象.该算法不仅能应用于SpaceWire 路由器中,而且配合适当的控制逻辑,就可以应用于其它的有类似需求的队列处理事务中.采用了“动态加权轮询仲裁器”的SpaceWire 路由器产品正在设计开发中.

参考文献:

- [1] ECSS - E - 50 - 12A, Space Engineering: SpaceWire: Links, node, routers and networks[s]. European Space Agency, 2003:81 - 95.
- [2] Lan Julong, Wang Binqiang, Li Ou, et al. A scheduling algorithm using compensating round robin in packet - swtching broadband networks[J]. Journal of Electronics, 2002(19):139 - 145.
- [3] 杨晓强,高晔. NoC 系统设计的研究[J]. 微电子学与计算机,2008,20(7):176 - 179.
- [4] 张帆,曲晶,杨少波. 基于FPGA 的轮询合路的设计和实现[J]. 微计算机信息,2005,21(8/2):93 - 95.
- [5] 王涛. 一种可综合的轮转仲裁控制器设计[J]. 微电子学与计算机,2003,20(9):73 - 75.
- [6] 扈红超,伊鹏,郭云飞,等. 一种公平服务的动态轮询调度算法[J]. 软件学报,2008,19(7):56 - 64.
- [7] 余林琛,廖小飞. 一种新的应用层对等路由机制的研究[J]. 微电子学与计算机,2008,21(9):102 - 104.

作者简介:

李硕佳 男,(1983-),硕士研究生.研究方向为IC 设计及SOC 技术、实时嵌入式软件.

王剑峰 男,(1971-),博士,研究员.研究方向为IC 设计及SOC 技术.

王竹平 男,(1963-),研究员,硕士生导师.研究方向为空间计算机设计、自动测试技术、计算机冗余容错技术、实时嵌入式软件.

(上接第123 页)

示)和预测标准差,标准差为7.05dB.实验结果表明,使用改进的自适应遗传算法来进行场强传播损耗预测是非常有效的.同简单遗传算法相比,自适应遗传算法具有搜索速度快,收敛精度高等优点.

6 结束语

文中根据已有的场强传播损耗模型,将其转化为目标函数优化问题,运用自适应遗传算法寻求其全局最优值.算法中通过改进交叉算子和变异算子,使得杂交后代朝着有利于算法收敛的方向进行,并且使进化前期有明显的变异,而后期则趋于稳定状态,从而提高了收敛速度,并获得了全局最优解.实验结果表明,文中提出的方法进行场强传播损耗预测得到了较为满意的结果,在移动通信网络规划和优化中有着良好的应用前景.

参考文献:

- [1] 王少尉. 移动通信场强传播损耗预测算法研究[D]. 武汉:武汉大学,2004.
- [2] 钟翠明. 移动通信常用天线传播模型预测方法浅析[J]. 江西通信科技,2005(7):29 - 32.
- [3] 英海燕,王友波. 基于自适应遗传算法的模板匹配研究[J]. 微电子学与计算机,2008,25(1):163 - 165.
- [4] 吴涛,毕笃彦. 一种基于改进遗传算法的自适应区域生长法研究[J]. 微电子学与计算机,2008,25(4):90 - 92.

作者简介:

杨云 女,(1965-),教授.研究方向为移动通信网络优化、数据仓库与数据挖掘.

冯亚 女,(1985-),硕士研究生.研究方向为移动通信网络优化.