

基于信令降频方法的光纤交换网通信协议 FCSP-RTF 的研究

刘君瑞 樊晓桢 康继昌

(西北工业大学计算机学院 西安 710072)

摘 要 针对集群等通信中需频繁使用控制帧系统的网络通信需求,设计了一种基于信令降频方法的高效光纤交换网通信协议 FCSP-RTF(the high-speed Fibre Channel Switch Protocol based on Reducing the Token's Frequency)。该通信协议在“信令寻径”技术的基础上对信令帧进行降频编码,使交换机无需降频器件就能够直接识别高频信令信号,高效完成交换工作;FCSP-RTF 协议精简了通信帧格式,提高了通信协议的效率。实验结果显示,FCSP-RTF 协议帧结构简单,实现容易,基于此协议的千兆光纤交换网通信效率和可靠性高,实现成本大大降低。

关键词 信令寻径,串并转换,信令降频码,FCSP-RTF

中图分类号 TP393.02 **文献标识码** A

Research of the FCSP-RTF Based on Reducing the Token's Frequency

LIU Jun-rui FAN Xiao-ya KANG Ji-chang

(College of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract In order to acquire high communication performance in high-speed fibre channel switch network, the high-speed fibre channel switch protocol based on reducing the token's frequency, named as FCSP-RTF, was put up. On the basis of the token-routing technology, FCSP-RTF codes the token frames with the reducing-frequency code, so the switch can extract the information of token without the serial-to-parallel converter, and fulfill the work of switch quickly and correctly; and FCSP-RTF also simplifies its frames, so that the higher communication efficiency is achieved. The results show that the structure of the FCSP-RTF frame is simple and the implementing of FSP-RTF is easy, and the communication performance and the reliability of the fibre channel switch network are greatly improved while it's costs are significantly lowered.

Keywords Token-routing, Serial-to-parallel, Reducing-frequency code, FCSP-RTF

1 引言

FC 是为适应广泛应用而制定的数据传输协议,对于 Cluster 系统等通信中需频繁使用控制帧(通常非常短)的场合其效率非常低下。笔者通过分析此类应用的特点,在原项目成果“先锋信令寻径式交换网络”的基础之上提出信令降频的编码方法,使交换机的工作无需信号降频器件就能克服网络规模扩大给交换机带来的实现难题。另外,笔者还设计了更适用于此类应用的基于信令降频方法的光纤通信协议 FCSP-RTF。实验证明,这种通信协议使交换机能够更快、更准确地完成交换工作,显著简化了交换机的结构,克服了交换机的设计难题,并且精简的帧格式大大提高了网络的通信效率。

2 信令降频方法

信令降频方法是在西北工业大学计算机学院康继昌教授的“信令寻径(Token-Routing)”技术[专刊公开号 CN129 9204A]基础上提出的,此方法对信令进行降频编码,使交换机无需信号降频器件(如串并转换器)也能够正确完成交换工

作,从而使得交换机结构得到简化,通信性能得到提高。

2.1 信令降频方法的编码规则

信令降频方法的思想是在高速信号传输过程中连续发送相同的信号,以达到信号频率降低的效果。比如,在千兆信号中连续出现 10 个‘1’,这时信号‘1’的频率相当于 100M。在高速信号通信中,发送设备多采用“8b/10b”编码方法对 8 位的用户数据进行 10 位编码后发送,以提高信号传输质量。鉴于此,信令降频方法中的编码也是 10 位,有两种编码形式:“1111100000”和“0000011111”。从降频码的编码序列中可以看到有连续的 5 个‘1’和 5 个‘0’,降频码中信号‘1’和‘0’的频率就相当于初始信号频率的五分之一。因此,降频后信号的采样时钟频率至少可以降低为原采样时钟频率的五分之一。

2.2 信令降频方法的编码特点

信令降频编码有以下几个特点:

(1)这种信令降频编码方法使信令信号频率成倍下降,因此对于信令的识别无需串并转换器件进行信令信号的串并转换工作。

到稿日期:2009-09-16 返修日期:2009-12-02

刘君瑞(1978—),女,博士生,讲师,主要研究方向为高性能网络、集群计算,E-mail:liu.junrui@nwpu.edu.cn;樊晓桢(1964—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为微处理器系统结构、集成电路设计;康继昌(1930—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为高性能计算、并行计算。

(2)降频后的信令信息的采样时钟频率至少可以降低为原采样时钟频率的五分之一。可采用有限状态自动机 FSM 依次检测信令帧头、信令码信息和目标地址。可采用多个不同相位的时钟控制多个相同机制的有限状态自动机来解决交换机时钟与串行信号之间的相位随机现象带来的信令检测遗漏问题。

(3)降频码的两种编码序列均为 10 位,并且‘1’和‘0’个数均衡,这与 8B/10B 编解码机制以及高速信号的传输约定一致。

3 基于信令降频方法的高效光纤交换网通信协议 FCSP-RTF

3.1 FCSP-RTF 协议体系结构

FCSP-RTF 协议的体系结构分为 5 层,各层的设计思路如下:

(1)FCSP-RTF-0 物理层:选用单膜光纤和 Finisar FTRJ 光收发器,保证 1.25Gbps 的波特率,误码率低于 10^{12} ,与 FC 标准一致。

(2)FCSP-RTF-1 传输协议层:采用 Mindspeed21110 器件,其内部集成了多组独立的收发通道,具有时钟恢复、速度匹配、数据同步等功能,能够完成 8B/10B 编码。

(3)FCSP-RTF-2 信号协议层:使用专用的精简帧结构,实现“端到端”的 class1 服务。

(4)FCSP-RTF-3 通用服务层:实现了广播、多播等功能。

(5)FCSP-RTF-4 协议映射层:可根据集群系统需要设计其他上层协议到本协议的映射。

3.2 FCSP-RTF 协议帧格式

考虑集群系统应用的需要,最终 FCSP-RTF 中 FCSP-RTF-2 层把通信帧分为 3 类:信令帧(Token Frame,又称命令帧)、信令应答帧(Token Acknowledgement Frame)和数据帧(Data Frame)。

(1)信令帧。本通信协议中信令包括以下 5 种:

① ECR(Establish Channel Rquest):建立信道请求或申请信道请求;

② RCR(Remove Channel Rquest):撤销信道请求或拆除信道请求;

③ BC(Broadcast):广播;

④ RBC(Remove BC):撤销广播。

⑤ PHQ(Seize):抢占。

信令帧的格式如图 1 所示,它由帧头 Header、信令码 COM 和目标地址 D_ID 3 个域组成,没有数据域。由于在通信过程中,只有信令帧需要被交换机识别解释,信令应答帧和数据帧都由节点机解释,而节点机网卡具有信号降频器件,因此本通信协议中只对信令帧进行降频编码。为了使信令帧和数据帧能够正确区分,本通信协议中设定信令帧帧头为两种信令降频编码的排列:“1111100000,0000011111,1111100000,0000011111”。由于信令码 COM 和目标地址 D_ID 也需要在高频状态下检测,因此对之也使用信令降频编码进行编写。本通信协议中初步设计了 5 种信令码,因此在信令帧中预留 30 位由两种信令降频编码进行组合来描述不同的信令类型,如图 1 所示。信令中 ECR、PHQ 需要目标端口标号,在 16 端口交换机中信令帧格式中设置 40 位,由两种信令降频编码的

16 种组合来表示每个目标端口信息。对于更大规模的交换机,可以通过在通信协议中增加 D_ID 位数来描述更多的端口信息。

从图 1 可知,信令中没有源地址信息,即未指明信令是由哪个端口发出来的。这是由于原项目信令寻径式交换机中,每个端口均对应一个专门的通道处理器。当某个端口有信令请求时,对应的通道处理器会自动生成相应的端口号,因此信令中无需源地址信息。

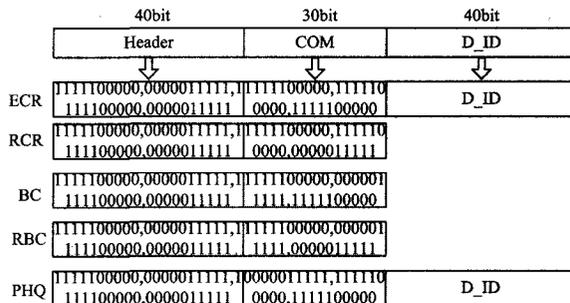


图 1 FCSP-RTF 协议信令帧格式

对比原信令帧格式可以看出,使用信令降频方法后信令帧格式非常精简,信令帧最大长度仅为 11 字节,通信效率大大提高。

(2) 信令应答帧(Token-Ack Frame)。信令应答帧用于向结点返回信令执行情况的响应信息,与信令帧类似,没有数据域。它与信令帧的区别在于:信令帧是由结点机发向交换机的,需要交换机解析信令内容并作出相应处理,因此采用降频方法进行编码;而信令应答帧是由交换机发给结点机的,是交换机向结点返回信令执行情况的应答信息,由节点机解释。由于每种信令执行都有两种结果:①信令被交换机成功处理;②目标端口处于忙状态,因此 FCSP-RTF 采用 10 个不同 K 码描述上述 5 种信令的所有信令应答帧。具体格式如下:

- ① ECR_Ack_Accepted;K28.0
- ② ECR_Ack_Busy;K28.1
- ③ RCR_Ack_Accepted;K28.2
- ④ RCR_Ack_Busy;K28.3
- ⑤ BC_Ack_Accepted;K28.4
- ⑥ BC_Ack_Busy;K28.5
- ⑦ RBC_Ack_Accepted;K28.6
- ⑧ RBC_Ack_Busy;K28.7
- ⑨ PHQ_ACK_Accepted;K27.7
- ⑩ PHQ_ACK_Busy;K23.7

由于信令寻径式交换机中每个端口均对应一个专门的通道处理器,因此信令应答帧也无需附带任何地址信息,可直接发送到相应的节点。

(3) 数据帧(Data Frame)。数据帧用于结点间正常的通信。FCSP-RTF 协议借助两个 K 码表示数据帧的开头和结束,其格式如图 2 所示。EOM(End Of Message)是“消息块结束标志”,值为‘1’表示该帧是本次消息块的最后一帧。EOP(End Of Packet)是“包结束标志”,分包传输时值为‘1’表示该帧是本包数据的最后一帧。在 FCSP-RTF 中,数据帧的有效载荷(Payload)最大为 2k 字节,即 512 个字,其长度由 Header 字段的 Length 来表明(以字为单位)。若有效载荷末尾不足一个字,则网卡自动产生填充字节(Fill Bytes),填充字

节的个数由帧头的 Fill_Byte_Num 字段表明。CRC 是对 Header 和数据域进行校验,其生成多项式采用 IEEE 802.3 CRC-32 标准。由于数据帧均在已建立好的专用信道上进行传输,交换网络不进行干预,因此它无需源地址和目标地址信息。

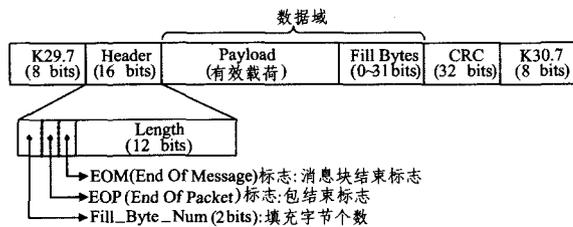


图2 FCSP-RTF 协议数据帧格式

综上,虽然 FCSP-RTF 帧的控制字段非常少,信息非常简单,但它们能够高效可靠地通信而不会发生混淆。

4 FCSP-RTF 协议通信性能分析

4.1 FCSP-RTF 协议与 FC 协议帧效率比较

已知 FCSP-RTF 和 FC 协议中数据帧的最大长度均为 2k 字节,即 512 个字。图 3 用直观的曲线来说明净荷长度 $i=1,2,\dots,512$ 时 FCSP-RTF 数据帧效率、FC 协议数据帧最小效率和最大效率的对比情况。

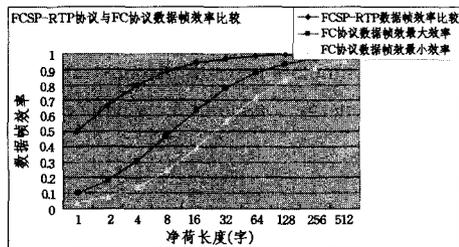


图3 FCSP-RTF 数据帧与 FC 协议数据帧效率比较

假设数据帧各种载荷长度的概率相同,经计算 FC 协议数据帧的最小平均效率,即带可选头时的平均效率为 85.11%,最大平均效率,即不带可选头时的平均效率为 92.96%;而 FCSP-RTF 数据帧的平均效率则高达 98.86%,比 FC 协议帧的最小平均效率高 13.75%,而比其最大平均效率还高 5.90%。

4.2 FCSP-RTF 通信效率分析

设 $T_{Setup-Channel}$, $T_{Data-Transfer}$ 和 $T_{Remove-Channel}$ 分别为 FCSP-RTF 建立信道、数据传输和撤消信道时间, $E_{FCSP-RTF-Comm}$ 为 FCSP-RTF 的通信效率,则有

$$E_{FCSP-RTF-Comm} = \frac{T_{Data-Transfer}}{T_{Setup-Channel} + T_{Data-Transfer} + T_{Remove-Channel}} \quad (1)$$

式中, $T_{Setup-Channel}$ 和 $T_{Remove-Channel}$ 是固定的,它们和通信量无关; $T_{Data-Transfer}$ 是动态变化的,它与所传输的数据帧数成正比。若建立一次信道之后传输的数据帧越多,即 $T_{Data-Transfer}$ 越大,则平均每帧所用的信道建立和撤消时间就越小,整个网络的通

信效率就越高。当 $T_{Setup-Channel} + T_{Remove-Channel} \ll T_{Data-Transfer}$ 时, $E_{FCSP-RTF-Comm}$ 可接近 100%。对于 FCSP-RTF 而言,由于面向的集群系统,如天气预报、基因计算应用,其通信量非常巨大,通常一次数据传输的时间很长,其信道建立时间和撤消时间几乎可以忽略不计,通信总时间绝大部分都用于数据传输,因此其通信效率很高。

而“存储-转发”式网络则不同。由于每帧平均所需的总传输延迟和每帧寻径平均所需的时间与传输的帧数无关,因此效率不会随着通信量的增大而提高,而是保持一个相对稳定的值。

由以上分析可以得知,在集群等通信需频繁使用控制帧的网络中,FCSP-RTF 帧级通信协议具有比 FC 协议更优秀的通信性能。

结束语 本文通过分析 FC 通信协议在高性能集群网络应用中的不足,在“信令寻径式先锋网”基础上提出了信令降频方法,设计了基于此方法的通信协议 FCSP-RTF。FCSP-RTF 协议具有帧格式短、控制简单、通信效率高等特点,能够有效地对短消息数据包通信进行优化,对提高整个集群系统的性能具有重要意义。信令采用降频方法进行编码,简化了网络中交换机的结构,使交换机无需信号降频器件就能够识别高频信令信号并做出正确处理。实验表明,FCSP-RTF 是一种适合集群等通信中需频繁使用控制帧系统的高效率、低开销的通信协议。

参考文献

- [1] ANSI. Fiber Channel Physical and Signaling Interface Standard (FC-PH)[S]. Rev 4. 3, June 1994; 17-33
- [2] ANSI. Fiber Channel Framing and Signaling Standard (FC-FS) [S]. Rev 1. 8, March 2003; 19-36
- [3] ANSI. Fiber Channel Fabric Standard[S]. Rev 3. 3, Oct. 1997; 9-16
- [4] Yang Yang, Blum R S. Energy-efficient Routing for Signal Detection under the Neyman-Pearson Criterion in Wireless Sensor Networks[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Information Processing in Sensor Networks. 2007(4); 303-312
- [5] 张万生,王健. 高速高精度数据采集系统设计与实现[J]. 核电子学与探测技术, 2007(9): 809-812
- [6] 张曦林,刘海涛,李道本. 高速率的符号干扰传输及其编码的检测译码[J]. 北京邮电大学学报, 2007(12): 60-64
- [7] 杨书杰,郭宗莲. 基于 FPGA 的高速数据采集系统研制[J]. 电力自动化设备, 2008(6): 93-96
- [8] 王伟,冯永茂,丁铁夫. 基于 FPGA 的高速数据传输芯片控制器设计[J]. 电子器件, 2008(6): 845-848
- [9] 倪永军,徐忠. 光纤通道协议技术分析与研究[J]. 信阳师范学院学报, 2006(10): 442-445
- [10] 雷艳静. 面向 MNWF 的信令寻径式光纤通道先锋交换网研究[D]. 西安:西北工业大学计算机学院, 2009; 14-32

(上接第 91 页)

- [9] Li Wei, Canini M, Moore A W. Efficient application identification and the temporal and spatial stability of classification schema[Z]. Elsevier North-Holland, Inc. New York, NY, USA, April 2009; 790-809
- [10] Canini M, Fay D, Miller D J, et al. Per flow packet sampling for

- high-speed network monitoring[C]//Proceedings of the first International Conference on Communication Systems and Networks(COMSNETS). January 2009; 1-10
- [11] Risso F, Baldini A, Bonomi F. Extending the NetPDL Language to Support Traffic Classification[C]//Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM apos;07. Nov. 2007; 22-27