

# FC 网络性能测试与研究

徐亚军, 张晓林, 郭蔡健, 熊华钢

XU Ya-jun, ZHANG Xiao-lin, GUO Cai-jian, XIONG Hua-gang

北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083

School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China

E-mail: xuyajun@ee.buaa.edu.cn

XU Ya-jun, ZHANG Xiao-lin, GUO Cai-jian, et al. Test and study of FC network performance. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(15): 137-139.

**Abstract:** The physical network capability of FC (Fibre Channel) needs to be tested to be sure that FC will communicate information properly in the future avionics system. One Upper Level Protocol of FC should be properly adopted for FC physical network testing. On FC testing system, LIP (Lightweight Internet Protocol) over FC is used. Based on LIP over FC, one FC test way that has adopted ping-pang arithmetic is proposed. Throughput and delay have been tested. Graphs of throughput and delay have been given and analyzed. SCI (Scalable Coherent Interface) is also one of the primary candidates of the future avionics system interconnection. Graphs of FC and SCI test result have been compared. When FC transmits bigger data block, delay is lower and throughput is bigger. So FC is adapted to transmit bigger data block in avionics system. Test result is used to evaluate network performance.

**Key words:** avionics; network; Fibre Channel(FC); testing

**摘要:** 为了研究光纤通道用于航空电子系统互连时的网络性能评价问题, 需要采用有效的手段对光纤通道网络性能进行测试。在采用轻量 IP 上层协议通信的光纤通道网络平台上, 提出了一种采用 ping-pang 算法进行光纤通道网络性能测试的方法。通过测试得到了光纤通道网络平均吞吐量和端到端平均延迟时间曲线, 并进行了分析。把测试结果和另一种航空电子系统互连首选协议可扩展一致性接口相比较, 通过比较发现: 光纤通道传输大数据包时具有低延迟、高吞吐量的特性, 适合航空电子互连系统中大数据块的传输。对于光纤通道网络性能测试的结果可以作为网络性能评价的重要依据。

**关键词:** 航空电子; 网络; 光纤通道; 测试

文章编号: 1002-8331(2007)15-0137-03 文献标识码: A 中图分类号: TP393

FC(光纤通道, 是 Fibre Channel 的缩写)的高带宽、低延迟、低位错率和灵活的拓扑结构<sup>[1]</sup>, 使得它能够很好地满足未来航空电子系统互连的要求。另外, FC 是一种完全开放的标准, 作为一种以 COTS 为基础的技术, 在标准开发过程以及作为产品的供应商方面, 有广泛的商业支持。因此, FC 成为未来航空电子系统互连的首选标准之一<sup>[2]</sup>。将 FC 用于航空电子系统时首先要对其进行网络性能的评价, 而网络性能评价中的数学分析方法和计算机仿真建模方法都在一定程度上依赖于网络的性能测试结果, 所以对于 FC 网络性能的测试与研究十分必要。

## 1 网络性能测试方法

网络性能测试是指通过一定的测量设备或一定的测试程序直接从实际的物理网络平台测得各项性能指标或与之密切相关的度量, 然后经过一些简单的运算求出相应的网络性能指标。网络测试方法和测试手段是网络性能测试的关键。从航空电子互连系统的设计和使用角度来看, 网络性能测试中最主要

的技术指标是网络吞吐量和消息的端到端时间延迟特性, 在航空电子综合化系统中, 人们尤其关心网络中消息的端到端时间延迟特性。目前比较成熟的网络测试方法有两种: 数据包环回延迟测试和数据包单向延迟测试<sup>[3]</sup>。

数据包环回延迟测试的基本原理是通过网络数据包的往返延迟来评测网络的性能。往返延迟定义为消息源节点在  $T_1$  时刻将数据包发送给消息的目的节点, 驻留在目的节点的测试软件收到数据包后马上把消息返回源节点, 消息的源节点在  $T_2$  时刻收到该返回消息, 则消息的往返时延  $R_{TT}=T_2-T_1$ 。虽然  $R_{TT}$  不能精确地反映出网络的单向延迟时间, 因为网络中源节点和目的节点之间的往返路径存在差异, 但是对于实时交互性比较频繁的网络应用来说  $R_{TT}$  能够反映出网络实际的通信效率, 延迟的变化可以反映出网络吞吐量的变化。而延迟的最小值又反映出了网络在最小负载情况下的性能, 在网络要求不是很高的情况下可以用来估算消息的单向传输延迟以及推导出其他性能参数。

与数据包单向延迟测试相比较,  $R_{TT}$  的计算相对简单, 计算

的时间都是相对于同一台计算机上的本地时钟,因此不存在时间同步的问题。本文采用 ping-pang 算法来实现数据包环回延迟测试。

## 2 FC 网络性能测试平台

FC 测试平台由节点计算机、FC 接口卡、FC 交换机和多协议分析仪组成, 组建成为带分析仪测量的 FC 交换网络结构, 如图 1 所示。

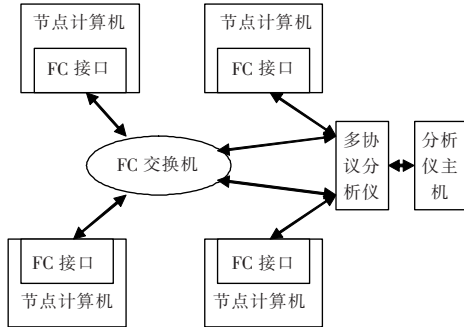


图 1 光纤通道测试平台

节点计算机采用 HP 品牌的 PC 机;FC 网络接口卡采用 Emulex 公司的 LightPulse™ LP9002L 型号 FC 接口卡;FC 交换机采用 Brocade 公司的 SilkWorm 3250 型号 FC 交换机;FC 测试设备采用 I-TECH 公司的 Satellite PowerFrame 多协议分析仪。

对于 FC 网络而言,进行网络性能测试的一项关键技术就是设计一种有效的光纤通道上层协议,在实际搭建的 FC 网络平台上采用该协议进行数据传输,然后通过测试程序和测试设备来实现 FC 网络性能测试。

LightPulse™ LP9002L 型号 FC 接口卡支持 IP 上层协议,在最高层提供 IP 上层协议映射。在 IP 上层协议接口驱动的基础上通过插入中间层驱动的实现方法,可以对 IP 上层协议进行简化,即采用 IP 协议的 MAC 地址来标识通信端口,进行点到点的通信,实现一种 FC 轻量 IP(Internet Protocol)上层协议。FC 轻量 IP 上层协议具有通信模式简便、灵活,短消息传输效率高,以及通信端口标识易于实现等特点,使其适用于 FC 网络性能测试<sup>[4]</sup>。

## 3 FC 网络性能测试与研究

### 3.1 性能评价指标<sup>[5]</sup>

平均吞吐量  $C$ : 在时间  $T$  内, 节点成功发送的消息为  $M$  Bytes, 则网络的平均吞吐量  $C=M/T$ ;

平均传输延迟  $\tau$ : 消息在  $T_1$  时刻从源节点产生, 向目的节点发送, 目的节点收到消息后立即返回该消息, 返回消息在  $T_2$  时刻全部到达源节点, 则消息的平均传输延迟  $\tau=(T_2-T_1)/2$ 。

### 3.2 ping-pang 测试方法

数据包环回延迟测试的基本原理是通过计算机网络数据包的往返延迟来评测网络的性能。采用 ping-pang 测试方法就是让数据包在两个网络节点之间往返, 然后以发送节点时钟为基准, 测量端到端平均吞吐量和平均传输延迟。该方法的好处是测试的时间基准可以采用发送节点本地时钟。测试节点  $A$  和  $B$  之间消息延迟测试的 ping-pang 算法如表 1 所示(节点  $A$  发送消息, 节点  $B$  接收消息)<sup>[6]</sup>。

表 1 ping-pang 延迟时间测试算法

节点 A (发送消息)	节点 B (接收消息)
<pre> start_time=getLocalTime(); //测试开始时间 for(i=0;i&lt;count;i++) { 向节点 B 发送 m Bytes 消息   从节点 B 接收 m Bytes 消息 } end_time=getLocalTime(); //测试结束时间 latency= (end_time-start_time)/(2*count);                     </pre>	<pre> for (i=0;i&lt;count;i++) { 从节点 A 接收 m Bytes 消息   向节点 B 发送 m Bytes 消息 }                     </pre>

次重复测试并取平均值的方法,在实际测量中,将循环次数设为 10 000,数据包长度从 1 KBytes 开始,按照 1 KBytes 增长直到 220 KBytes,得到如图 2 所示的网络平均吞吐量和平均消息延迟。

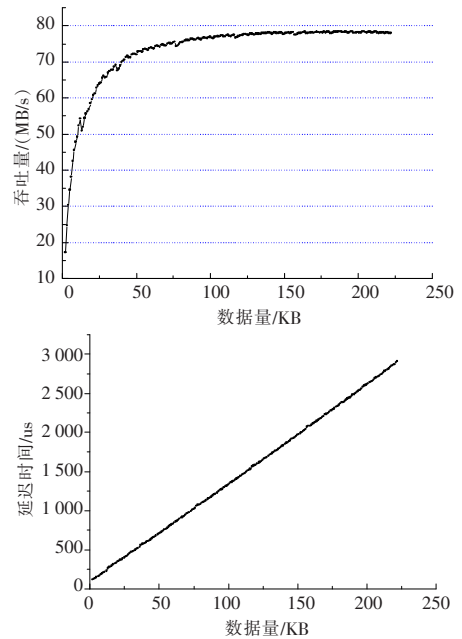


图 2 FC 网络平均吞吐量和平均延迟时间

从图 2 可以看出,当数据包长度小于 60 KBytes 时,网络平均吞吐量随消息长度变长而快速增大;当数据包长度超过 60 KBytes 之后,网络平均吞吐量随消息长度变长而缓慢增大;当数据包长度超过 200 KBytes 之后网络吞吐量迅速升至最大吞吐量,并且保持基本不变,网络持续吞吐量达到 78 Mbps。

FC 网络平均吞吐量主要决定于 FC 最大传输速率影响。在 1 Gbps 的传输速率情况下,FC 网络吞吐量的理论峰值为:

$$\frac{1 \text{ Gbps}}{10 \text{ bits/Byte}}=100 \text{ Mbps}$$

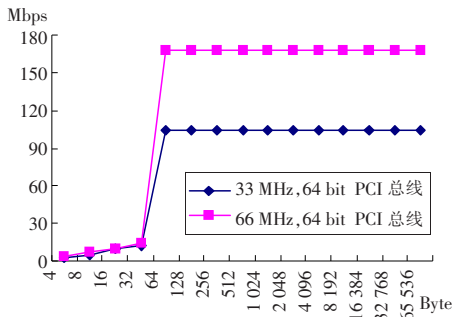
本测试采用 1 Gbps 进行数据传输,所以 FC 网络吞吐量的理论峰值为 100 Mbps。在实际测试中,由于 FC 协议以及 PCI 总线协议开销的影响,网络吞吐量不可能达到上述的理论峰值。在 FC 协议和系统总线确定的情况下,采用 ping-pang 方法测试的网络吞吐量主要受到节点机处理器和主板芯片组的影响。

网络应用层的端到端通信延迟是网络提供给用户的真实性能,也是衡量 FC 能否满足航空电子环境要求的重要性能指标,从图 2 的测试结果来看,FC 网络的端到端延迟时间随着数据包长度线性增加。

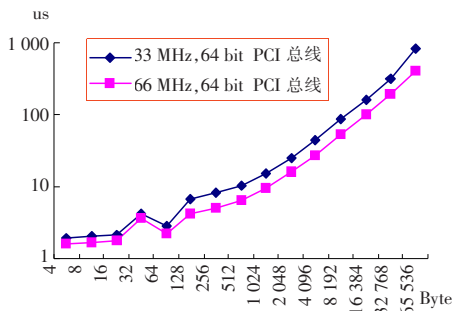
为了消除在一次测试中测量结果波动的影响,可以采用多

### 3.3 FC 网络和 SCI 网络性能比较

SCI(可扩展一致性接口,是 Scalable Coherent Interface 的缩写)也是未来航空电子系统互连的首选标准之一。姜震曾经在文献[3]中给出了对 SCI 网络采用 ping-pang 方法测量,得到的平均吞吐量和平均延迟,如图 3 所示。



(a) 网络平均吞吐量



(b) 平均消息延迟

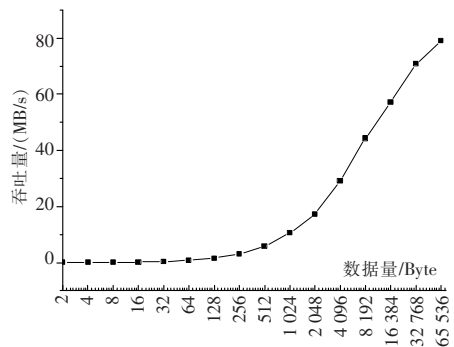
图 3 SCI 环型网络 ping-pang 测试性能

从图 3 中可以清晰地反映出 SCI 网络性能的测试结果。因为测试结果受到测试主机系统和网络传输速率的影响很大,所以测试结果的具体数值同 FC 不具有比较意义。但是图中曲线所反映出的趋势很有意义。本文参照图 3 中的测试数据包长度对 FC 进行测试,测试的吞吐量和延迟时间曲线如图 4 所示。

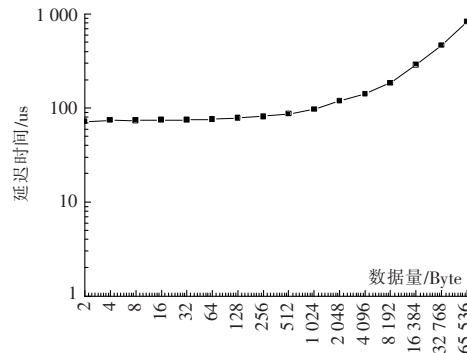
比较 FC 和 SCI 的延迟曲线可以看到,同样是 4 到 65 536 Byte 的数据量变化,FC 的延迟时间增加了一个数量级,而 SCI 增加了两个数量级还要多,SCI 的延迟曲线斜度远远大于 FC 的延迟曲线,这说明 SCI 网络在传输短消息方面具有十分明显的低延迟优势,当数据量增大后,延迟迅速增加;而 FC 则在传输大数据块方面具有延时小的优势。

从图 3 可以看出,在 SCI 网络中,当消息长度小于 64 Byte 时,网络平均吞吐量随消息长度变长而增大;当消息长度超过 64 Byte 之后,网络吞吐量迅速升至最大吞吐量,并且保持基本不变,在系统总线为 32 bit/33 MHz PCI 总线时,网络持续吞吐量达到 103 Mbps。对比图 4 中的 FC 吞吐量曲线,可以看到直到 65 536 Byte 的数据量,FC 的吞吐量还在增加,3.2 节中已经给出,FC 网络的吞吐量在数据量为 200 KB 时才达到最高值。这一比较说明,FC 传输较大的数据包时才能够充分发挥吞吐

量大的优势。



(a) 吞吐量



(b) 延迟时间

图 4 FC 网络 ping-pang 测试性能

## 4 结论

本文在采用轻量 IP 上层协议进行通信的 FC 交换结构网络平台上,通过 ping-pang 算法对 FC 网络性能进行测试,得到了 FC 网络的平均吞吐量和平均时间延迟等重要的性能指标。通过和 SCI 网络性能测试结果的比较,发现 FC 网络在传输大数据包时具有低延迟、高吞吐量的特性,适合航空电子系统中大数据块的实时传输。(收稿日期:2006 年 8 月)

## 参考文献:

- [1] NCITS/Project 1331-D Fibre channel framing and signaling[S].
- [2] Lt Col Chuck Pinney, JAST Avionics Lead. Joint advanced strike technology program, avionics architecture definition issues/decisions/rationale document[EB/OL]. (1994). ftp://ftp.jast.mil.
- [3] 凌军, 杨桂文. Internet 网络性能实时监测关键技术研究[J]. 武汉大学学报:理学版, 2001, 47(3): 324-326.
- [4] 徐亚军, 张晓林, 郭蔡健, 等. 一种光纤通道轻量 IP 上层协议[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(10): 1246-1249.
- [5] 姜震. 航空电子统一网络关键技术研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2004.
- [6] 郭蔡健. 光纤通道网络数据传输软件的设计与开发[D]. 北京: 北京航空航天大学电子信息工程学院, 2005.